

Guia RELACRE

22

VOLUME I



CÁLCULO DE INCERTEZAS



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

COMISSÕES
TÉCNICAS



RELACRE

ASSOCIAÇÃO DE LABORATÓRIOS
ACREDITADOS DE PORTUGAL



FICHA TÉCNICA

TÍTULO:

Guia RELACRE 22

CÁLCULO DE INCERTEZAS - ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

VOLUME I

EDIÇÃO: RELACRE

ISBN: (a ser atribuído)



Guia RELACRE 22

EDIÇÃO: FEVEREIRO 2021

VOLUME I



CÁLCULO DE INCERTEZAS



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS





COMISSÃO SETORIAL RELACRE - Acústica

O conteúdo deste documento é da responsabilidade dos especialistas, membros da referida CSR, que colaboraram na sua elaboração.

É intenção da RELACRE proceder à revisão deste documento sempre que se revele oportuno.

Todas as formulações apresentadas são suportadas pelas versões das normas referenciadas e em vigor à data da publicação deste documento.

Na elaboração da presente edição colaboraram:

Mário Mateus (Coordenador do GT)	ADAI/DEM UC
Jorge Fradique	INIAV
Fátima Inglês	INIAV
Ana Falcão	CCDR Norte
Santos Lopes	ACUSTIPROJETO



ÍNDICE

1	OBJETIVO E ÂMBITO	6
2	REFERÊNCIAS	6
3	NOMENCLATURA	7
4	INCERTEZA DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE AÉREO, PADRONIZADO, DE FACHADAS (NP EN ISO 16283-3)	13
5	INCERTEZA DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS, PADRONIZADO, (NP EN ISO16283-1)	17
6	INCERTEZA DO NÍVEL SONORO DE PERCUSSÃO, PADRONIZADO (NP EN ISO16283-2)	19
7	INCERTEZA DO NÍVEL DE AVALIAÇÃO, PADRONIZADO (NP EN ISO16032 E A NOTA 4 DO DOCUMENTO LNEC, 10 DE JULHO DE 2015)	27

1 OBJETIVO E ÂMBITO

Com a elaboração deste Guia, os autores propõem que este possa constituir um documento orientador, possibilitando aos Laboratórios de ensaio de acústica de edifícios que estes implementem, de forma harmonizada, os seus cálculos de incerteza. Para a utilização dos modelos apresentados, deve ser tido em conta o seu domínio de aplicação (espaço das situações em que ele deve poder funcionar), o qual fica desde logo fixado pelo conteúdo das hipóteses de base que serviram à sua caracterização e definição.

Os modelos valem por si mesmo e são válidos enquanto não existirem outros que se mostrem comprovadamente mais adequados e assim os venham substituir. Por este motivo este Guia não é um documento fechado, possibilitando a adoção de outras metodologias ou mesmo a sua adaptação para ter em conta a evolução das normas de ensaio. Da mesma forma, possibilita alterações, ou novas abordagens, às formulações dos cálculos de incerteza que venham a ser publicadas e sejam consensualmente aceites.

2 REFERÊNCIAS

- Documento LNEC - Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Avaliação acústica / critérios de amostragem, de 10 de julho de 2015;
- JCGM 100. 2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Paris: Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1), 2008.
- NP EN ISO 16032:2009 - Acústica; Medição do nível de pressão sonora de equipamentos de serviço em edifícios; Método de Engenharia (ISO 16032:2004);
- 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;
- NP EN ISO 16283-2 - Acústica; Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção; Parte 2: Isolamento a sons de percussão (ISO 16283-2:2015);
- NP EN ISO 16283-3 - Acoustics; Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements; Part 3: Façade sound insulation (ISO 16283-3:2016);
- NP EN ISO 12999-1 - Acústica; Determinação e aplicação das incertezas de medição em acústica de edifícios; Parte 1: Isolamento sonoro;
- NP EN ISO 3382-2 - Acústica; Medição de parâmetros de acústica de salas; Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes (ISO 3382-2:2008);
- ISO 717-1:2020 - Acoustics; Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation;
- ISO 717-2:2020 - Acoustics; Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation;

3 NOMENCLATURA

$A_t(f)$ [dB]	- Atenuação do som, de acordo com a curva de ponderação A, em frequência.
$D_{2m,f}$ [dB]	- Diferença de nível de uma fachada, por banda de frequência.
$D_{2m,f,j}$ [dB]	- Diferença de nível em cada seção da fachada, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$D_{2m,nT,f}$ [dB]	- Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada, por banda de frequência.
$D_{2m,nT,w}$ [dB]	- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.
$D_{nT,f}$ [dB]	- Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, por banda de frequência.
$D_{nT,f,j}$ [dB]	- Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
f [Hz]	- Frequência cíclica de uma componente harmónica do som.
j	- Posição de referência para a fonte sonora ou máquina de percussão, $j \rightarrow [1 \dots p]$
$K1$	- Coeficiente de correção tonal.
$L_{1,2m,f}$ [dB]	- Nível sonoro médio medido a 2m em frente da fachada, por banda de frequência.
$L_{1,2m,f,j}$ [dB]	- Nível sonoro médio medido a 2m em frente da fachada, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{1,f,j}$ [dB]	- Nível sonoro médio na sala emissora, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{2,f}$ [dB]	- Nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência.
$L_{2,f,j}$ [dB]	- Nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{A,f}$ [dB(A)]	- Nível sonoro médio contínuo equivalente do ruído particular do equipamento, ponderado A, por banda de frequência.
L_A [dB(A)]	- Nível sonoro contínuo equivalente global do ruído particular do equipamento, ponderado A.
$L_{Ar,nT}$ [dB(A)]	- Nível sonoro de ruído particular de equipamentos padronizado.
$L_{eq,f}(rf)$ [dB]	- Nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência.
$L_{eq,f}(rf),j}$ [dB]	- Nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{eq,f}(rf),Mj}$ [dB]	- Nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da máquina de percussão.
$L_{eq,f}$ [dB]	- Nível sonoro médio total na sala recetora, por banda de frequência.
$L_{eq,f,j}$ [dB]	- Nível sonoro médio total na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{Aeq,f,j}$ [dB]	- Nível sonoro médio total na sala recetora, ponderado A, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$L_{eq,f},Mj}$ [dB]	- Nível sonoro médio total na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da máquina de percussão.

$L_{eq,f}^*$ [dB]	- Nível sonoro de ruído de equipamentos medido na sala recetora e corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência.
$L_{i,f,Mj}$ [dB]	- Nível sonoro médio na sala recetora, resultante de uma ação mecânica de percussão normalizada, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência e para cada posição [j] da máquina de percussão.
$L'_{nT,f}$ [dB]	- Nível sonoro médio de percussão padronizado, por banda de frequência, resultante das várias posições de máquina.
$\overline{L'_{nT,f,Mj}}$ [dB]	- Média aritmética do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência, resultante das várias posições [j] de máquina.
$L'_{nT,f,Mj}$ [dB]	- Nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência, em cada posição [j] da máquina de percussão.
m	- Número de combinações independentes entre sistema microfone-fonte, na obtenção do tempo médio de reverberação.
N	- Número de combinações independentes entre sistema microfone-fonte, na obtenção do tempo médio de reverberação.
n	- Número de decaimentos em cada ponto de medição na obtenção do tempo médio de reverberação.
n	- Número de medições do nível sonoro.
$\bar{T}_{20dB,1000Hz}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 20dB, por banda de oitava de 1000Hz.
$\bar{T}_{20dB,2000Hz}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 20dB, por banda de oitava de 2000Hz.
$\bar{T}_{20dB,500Hz}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 20dB, por banda de oitava de 500Hz.
$\bar{T}_{20dB,f}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 20dB, por banda de frequência.
$\bar{T}_{30dB,f}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 30dB, por banda de frequência.
$\bar{T}_{500Hz,1000Hz,2000Hz}$ [s]	- Tempo de reverberação médio obtido a partir da média aritmética dos tempos obtidos por decaimentos de 20dB nas bandas de oitava de 500Hz, 1000 Hz e 2000Hz.
T_0 [s]	- Tempo de reverberação de referência.
$u(arr.)$ [dB]	- Incerteza padrão associada ao arredondamento.
$u(D_{2m,f})$ [dB]	- Incerteza combinada das diferenças de nível de uma fachada, por banda de frequência.
$u(D_{2m,nT,f})$ [dB]	- Incerteza combinada do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada, por banda de frequência.
$u(D_{2m,nT,f,j})$ [dB]	- Incerteza combinada do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$u(D_{2m,nT,w})$ [dB]	- Incerteza combinada do índice isolamento sonoro a sons de condução aérea, de uma fachada.
$u(D_{nT,f})$ [dB]	- Incerteza combinada do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, por banda de frequência.
$u(D_{nT,f,j})$ [dB]	- Incerteza combinada do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.

$u(L_{1,2m,f}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio medido a 2m em frente da fachada, por banda de frequência.
$u(L_{1,2m,f,j}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio medido a 2m em frente da fachada, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$u(L_{1,f,j}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio na sala emissora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$u(L_{2,f}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência.
$u(L_{2,f,j}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$u(L_{A,f}) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora, por banda de frequência.
$u(L_A) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro contínuo equivalente global, ponderado A, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora.
$u(L_{Ar,nT}) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro de ruído particular de equipamentos padronizado.
$u(L_{eq,f(rf)}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência.
$u(L_{eq,f(rf),j}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$u(L_{eq,f(rf),Mj}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da máquina de percussão.
$u(L_{eq,f}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio total na sala recetora, por banda de frequência.
$u(L_{eq,f,j}) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro médio total na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$u(L_{eq,f}^*) [dB]$	- Incerteza padrão do nível sonoro de ruído de equipamentos medido na sala recetora e corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência.
$u_a(L'_{nT,f}) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência, resultante das várias posições de máquina.
$u(L'_{nT,f,final}) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência e incluindo a componente de dispersão espacial.
$u(L'_{nT,f,Mj}) [dB]$	- Incerteza combinada do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência para cada posição $[j]$ assumidas pela máquina de percussão.
$u_b(L'_{nT,f,Mj,dpesp}) [dB]$	- Incerteza resultante da dispersão espacial dos níveis sonoros no interior da sala recetora, por banda de frequência e resultante das diferentes posições $[j]$ da máquina de percussão.
$u(son.) [dB]$	- Incerteza padrão associada ao sonómetro.
$u(\bar{T}_{20dB,f}) [s]$	- Incerteza padrão do tempo de reverberação médio, obtido por decaimentos de 20dB, por banda de frequência.
$u(\bar{T}_{30dB,f}) [s]$	- Incerteza padrão do Tempo de reverberação médio em segundos, obtido por decaimentos de 30dB, por banda de frequência.
$u(\bar{T}_{1000Hz}) [s]$	- Incerteza padrão do Tempo de reverberação médio em segundos, obtido por bandas de oitava centradas na frequência de 1000Hz.
$u(\bar{T}_{2000Hz}) [s]$	- Incerteza padrão do Tempo de reverberação médio em segundos, obtido por bandas de oitava centradas na frequência de 2000Hz.

$u(\bar{T}_{500\text{Hz}}) [s]$	- Incerteza padrão do Tempo de reverberação médio em segundos, obtido por bandas de oitava centradas na frequência de 500Hz.
$u(\bar{T}_{500\text{Hz},1000\text{Hz},2000\text{Hz}}) [s]$	- Incerteza padrão do Tempo de reverberação médio em segundos, obtido por bandas de oitava centradas nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.
$U(D_{2m,nT,f}) [dB]$	- Incerteza expandida do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada, por banda de frequência.
$U(D_{2m,nT,w}) [dB]$	- Incerteza expandida do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, de uma fachada.
$U(D_{nT,f}) [dB]$	- Incerteza expandida do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, por banda de frequência.
$U(L_{Ar,nT}) [dB]$	- Incerteza expandida do nível sonoro de ruído particular de equipamentos padronizado.
$U(L'_{nT,f}) [dB]$	- Incerteza expandida do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência.
$U(L'_{nT,f,final}) [dB]$	- Incerteza expandida do nível sonoro de percussão padronizado, por banda de frequência.
$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial T_{20dB,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada em ordem ao tempo de reverberação médio obtido por decaimentos de 20dB, por banda de frequência.
$\frac{\partial D_{2m,f}}{\partial D_{2m,f,j}}$	- Coeficiente de sensibilidade da diferença de nível média, de uma fachada em ordem diferença de nível, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$\frac{\partial D_{2m,f,j}}{\partial L_{eq,f,j}}$	- Coeficiente de sensibilidade da diferença de nível, de uma fachada em ordem ao nível sonoro médio na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$\frac{\partial D_{2m,f,j}}{\partial L_{eq,f(rf),j}}$	- Coeficiente de sensibilidade da diferença de nível, de uma fachada em ordem ao nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.
$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f(rf)}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada em ordem ao nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência.
$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de uma fachada em ordem ao nível sonoro médio total na sala recetora por banda de frequência.
$\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial D_{nT,f,j}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, em ordem ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado para cada posição [j] da fonte sonora e ambos por banda de frequência.
$\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial T_{20dB,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, em ordem ao tempo de reverberação médio, obtido por decaimentos de 20dB, por banda de frequência e para cada posição [j] da fonte sonora.

$\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f}(r,f),j}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, em ordem ao nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f,j}}$	- Coeficiente de sensibilidade do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, em ordem ao nível sonoro médio total na sala recetora por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$\frac{\partial L_A}{\partial L_{A,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro contínuo equivalente global, ponderado A, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora, em ordem a cada uma das suas componentes de frequência.
$\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}(r,f)}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro contínuo equivalente global, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora, em ordem ao nível sonoro médio residual na sala recetora e por banda de frequência.
$\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro contínuo equivalente global, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora, em ordem ao nível sonoro médio total na sala recetora e por banda de frequência.
$\frac{\partial L_{Ar,nT}}{\partial T_{500Hz,1000Hz,2000Hz}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro contínuo equivalente global, ponderado A, corrigido do efeito do ruído residual da sala recetora, em ordem ao tempo de reverberação médio em segundos, obtido por bandas de oitava centradas nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.
$\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial T_{20dB,f}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro de percussão padronizado, em ordem ao tempo de reverberação médio, obtido por decaimentos de 20dB, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da máquina de percussão.
$\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f,Mj}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro de percussão padronizado, em ordem ao nível sonoro médio total na sala recetora por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da máquina de percussão.
$\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f}(r,f),Mj}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro de percussão padronizado, em ordem ao nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da máquina de percussão.
$\frac{\partial L'_{nT,f,M}}{\partial L'_{nT,f,Mj}}$	- Coeficiente de sensibilidade do nível sonoro de percussão padronizado, em ordem ao nível sonoro médio, por banda de frequência, em cada posição $[j]$ da máquina de percussão.
$\sigma(L_{1,2m,f}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio medido a 2m em frente da fachada, por banda de frequência.
$\sigma(L_{1,f,j}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro na sala emissora, por banda de frequência considerando as várias posições $[j]$ da fonte sonora.
$\sigma(L_{2,f}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência.
$\sigma(L_{2,f,j}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio na sala recetora, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.

$\sigma(L_{eq,f(rf)}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência.
$\sigma(L_{eq,f(rf),j}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência e para cada posição $[j]$ da fonte sonora.
$\sigma(L_{eq,f(rf),Mj}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio residual na sala recetora, por banda de frequência considerando as várias posições $[j]$ da máquina de percussão.
$\sigma(L_{eq,f}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio total na sala recetora por banda de frequência.
$\sigma(L_{eq,f,j}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio total na sala recetora por banda de frequência considerando as várias posições $[j]$ da fonte sonora/máquina de percussão.
$\sigma(L_{i,f,Mj}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio na sala recetora, resultante de uma ação mecânica de percussão normalizada, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência considerando as várias posições $[j]$ da máquina de percussão.
$\sigma(L'_{nT,f,Mj}) [dB]$	- Desvio padrão do nível sonoro médio na sala recetora, resultante de uma ação mecânica de percussão normalizada, corrigido do efeito do ruído de fundo, por banda de frequência, considerando o conjunto das várias posições Mj , ocupadas pela máquina de percussão.

4 INCERTEZA DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE AÉREO, PADRONIZADO, DE FACHADAS (NP EN ISO 16283-3)

Caso A - consideração de apenas uma seção de fachada

$$D_{2m,nT,f} = L_{1,2m,f} - L_{2,f} + 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0}\right) \text{ dB}$$

ou

$$D_{2m,nT,f} = L_{1,2m,f} - 10 \cdot \log\left(10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0}\right) \text{ dB}$$

Se $(L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) \geq 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) \leq 6 \text{ dB}$

$$u(D_{2m,nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f}) + u^2(L_{2,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + 2 \cdot u^2(\text{son.}) + u^2(\text{arr.})}$$

Se $6 \text{ dB} < (L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) < 10 \text{ dB}$

$$u(D_{2m,nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}}\right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f}) + u^2(\text{son.})) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}(rf)}\right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f}(rf)) + u^2(\text{son.})) + \dots + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(\text{son.}) + u^2(\text{arr.})}$$

com:

$$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}} = \frac{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}; \quad \frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}(rf)} = -\frac{10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}; \quad \frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4,34}{\bar{T}_{20dB,f}}$$

$$u(L_{1,2m,f}) = \frac{\sigma(L_{1,2m,f})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{2,f}) = \frac{\sigma(L_{2,f})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{eq,f}) = \frac{\sigma(L_{eq,f})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{eq,f}(rf)) = \frac{\sigma(L_{eq,f}(rf))}{\sqrt{n}}$$

$$u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \quad u(\text{son.}) = 0,5 \text{ dB}; \quad u(\text{arr.}) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx 0,03 \text{ dB}$$

Caso B - consideração de j seções distintas de fachada, ou salas com mais de uma fachada

Nas situações em que for necessário dividir a área da fachada em j seções distintas, ou quando exista mais do que uma fachada, o isolamento sonoro a sons de condução aérea global, é calculado a partir da média das diferenças de nível, $D_{2m,f,j}$, com $j = 1 \dots p$, conforme a expressão (8) incluída na norma NP EN ISO16283-3 (E).

$$D_{2m,f} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p 10^{\frac{-D_{2m,f,j}}{10}} \right) \text{ dB}$$

No final o valor padronizado é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$D_{2m,nT,f} = D_{2m,f} + 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Para a determinação da incerteza $u(D_{2m,f})$, será tido em conta cada diferença de nível $D_{2m,f,j}$ que vem dada por:

Nota: A cada seção j de fachada corresponderá um mesmo número j de posição frontal da fonte sonora.

$$D_{2m,f,j} = L_{1,2m,f,j} - L_{2,f,j} \text{ dB}$$

ou

$$D_{2m,f,j} = L_{1,2m,f,j} - 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{eq,f,j}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),j}}{10}} \right) \text{ dB}$$

Se $(L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) \geq 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) \leq 6 \text{ dB}$

$$u(D_{2m,f,j}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f,j}) + u^2(L_{2,f,j}) + 2 \cdot u^2(\text{son.})}$$

Se $6 \text{ dB} < (L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) < 10 \text{ dB}$

$$u(D_{2m,f,j}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f,j}) + \left(\frac{\partial D_{2m,f,j}}{\partial L_{eq,f,j}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f,j}) + u^2(\text{son.})) + \left(\frac{\partial D_{2m,f,j}}{\partial L_{eq,f(rf),j}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f(rf),j}) + u^2(\text{son.}))}$$

Considerando as j seções ou fachadas distintas, a incerteza da média das diferenças de nível $D_{2m,f}$, será dada por:

$$u(D_{2m,f}) = \sqrt{\sum_{j=1}^p u^2(D_{2m,f,j}) \cdot \left(\frac{\partial D_{2m,f}}{\partial D_{2m,f,j}} \right)^2} = \sqrt{u^2(D_{2m,f,1}) \cdot \left(\frac{\partial D_{2m,f}}{\partial D_{2m,f,1}} \right)^2 + \dots + u^2(D_{2m,f,m}) \cdot \left(\frac{\partial D_{2m,f}}{\partial D_{2m,f,m}} \right)^2}$$

com $j \rightarrow [1 \dots p]$

$$\frac{\partial D_{2m,f}}{\partial D_{2m,f,j}} = \frac{10^{\frac{-D_{2m,f,j}}{10}}}{\sum_{j=1}^m 10^{\frac{-D_{2m,f,j}}{10}}};$$

Nestas condições o modelo de cálculo da incerteza deve ser adaptado às expressões acima apresentadas, resultando a expressão

$$u(D_{2m,nT,f}) = \sqrt{u^2(D_{2m,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(arr.)}$$

Em que:

$$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4,34}{\bar{T}_{20dB,f}}; u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; u(arr.) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx 0,03 \text{ dB}$$

Incerteza expandida:

Nas situações configuradas no Caso A e no Caso B a incerteza expandida vem igual a

$$U(D_{2m,nT,f}) = 1,96 \cdot u(D_{2m,nT,f})$$

Notas:

- 1) Para a definição dos parâmetros **n** e **N** da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação;
- 2) De acordo com a norma NP EN ISO 12999-1:2015, assume-se que os valores da mensuranda seguem uma distribuição Gaussiana. Considerou-se um fator de cobertura igual a 1,96, o que confere ao intervalo bilateral um nível de confiança de 95%. Outros fatores poderão ser considerados desde que sigam os valores indicados na norma NP EN ISO 12999-1:2015;
- 3) A determinação da incerteza do índice $D_{2m,nT,w}$, poderá ser obtido adotando o seguinte procedimento (anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015):
 - a) À curva real de isolamento $D_{2m,nT,f}$, padronizada, são adicionados os valores de incerteza $u(D_{2m,nT,f})$;
 - b) De acordo com a norma ISO 717-1:2020 ajustar a nova curva $[D_{2m,nT,f} + u(D_{2m,nT,f})]$ à curva de referência com incrementos de 0,1dB. Obter neste primeiro passo o respetivo valor do índice padronizado, $D_{2m,nT,w (+u)}$;
 - c) À curva real de isolamento $D_{2m,nT,f}$, padronizada, são subtraídos os valores de incerteza $u(D_{2m,nT,f})$;
 - d) Ajustar agora a curva resultante $[D_{2m,nT,f} - u(D_{2m,nT,f})]$ à curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-1:2020, com incrementos de 0,1dB. Obter neste segundo passo o respetivo valor do índice padronizado, $D_{2m,nT,w (-u)}$;

- 4) O valor correspondente à incerteza para o índice $D_{2m,nT,w}$, será dado pela expressão sugerida no anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015:

$$u(D_{2m,nT,w}) = \frac{[D_{2m,nT,w (+u)}] - [D_{2m,nT,w (-u)}]}{2}$$

- 5) Os laboratórios que utilizem uma fonte omnidirecional, poderão utilizar apenas uma posição de fonte que cumpra os requisitos de diretividade do Anexo C da norma NP EN ISO16283-3, conforme indicado na seção 9.3. Nesta situação o cálculo de incerteza seguirá a metodologia apresentada para o caso A.

5 INCERTEZA DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS, PADRONIZADO, (NP EN ISO16283-1)

Considerando a nova formulação dada por esta norma, para cada $j \rightarrow [1 \dots p]$ distintas posições da fonte sonora deverá ser calculado cada $D_{nT,f,j}$

$$D_{nT,f,j} = L_{1,f,j} - L_{2,f,j} + 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

ou

$$D_{nT,f,j} = L_{1,f,j} - 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{eq,f,j}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),j}}{10}} \right) + 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Se $(L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) \geq 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) \leq 6 \text{ dB}$

$$u(D_{nT,f,j}) = \sqrt{u^2(L_{1,f,j}) + u^2(L_{2,f,j}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + 2 \cdot u^2(\text{son.}) + u^2(\text{arr.})}$$

Se $6 \text{ dB} < (L_{eq,f,j} - L_{eq,f(rf),j}) < 10 \text{ dB}$

$$u(D_{nT,f,j}) = \sqrt{u^2(L_{1,f,j}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f,j}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f,j}) + u^2(\text{son.})) + \left(\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f(rf),j}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f(rf),j}) + u^2(\text{son.})) + \dots + \left(\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(\text{son.}) + u^2(\text{arr.})}$$

com:

$$\frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f,j}} = \frac{10^{\frac{L_{eq,f,j}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f,j}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),j}}{10}}}; \quad \frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial L_{eq,f(rf),j}} = - \frac{10^{\frac{L_{eq,f(rf),j}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f,j}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),j}}{10}}}; \quad \frac{\partial D_{nT,f,j}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4,34}{\bar{T}_{20dB,f}}$$

$$u(L_{1,f,j}) = \frac{\sigma(L_{1,f,j})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{2,f,j}) = \frac{\sigma(L_{2,f,j})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{eq,f,j}) = \frac{\sigma(L_{eq,f,j})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{eq,f(rf),j}) = \frac{\sigma(L_{eq,f(rf),j})}{\sqrt{n}}$$

$$u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \quad u(\text{son.}) = 0,5 \text{ dB}; \quad u(\text{arr.}) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx 0,03 \text{ dB}$$

Obtidas as diferenças padronizadas $D_{nT,f,j}$ para cada uma das $j \rightarrow [1 \dots p]$ posições distintas da fonte sonora deverá ser calculado a diferença padronizada global $D_{nT,f}$, cujo valor é dado por:

$$D_{nT,f} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p 10^{\frac{-D_{nT,f,j}}{10}} \right) \text{ dB}$$

Com base nesta última equação é possível determinar a incerteza combinada para a diferença padronizada global.

$$u(D_{nT,f}) = \sqrt{\sum_{j=1}^p u^2(D_{nT,f,j}) \cdot \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial D_{nT,f,j}}\right)^2} = \sqrt{u^2(D_{nT,f,1}) \cdot \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial D_{nT,f,1}}\right)^2 + \dots + u^2(D_{nT,f,m}) \cdot \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial D_{nT,f,m}}\right)^2}$$

com $j \rightarrow [1 \dots p]$, e em que:

$$\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial D_{nT,f,j}} = \frac{10^{-\frac{D_{nT,f,j}}{10}}}{\sum_{j=1}^m 10^{-\frac{D_{nT,f,j}}{10}}};$$

Incerteza expandida:

$$U(D_{nT,f}) = 1,96 \cdot u(D_{nT,f})$$

Notas:

- 1) Para a definição dos parâmetros n e N da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação;
- 2) De acordo com a norma NP EN ISO 12999-1:2015, assume-se que os valores da mensuranda seguem uma distribuição Gaussiana. Considerou-se um fator de cobertura igual a 1,96, o que confere ao intervalo bilateral um nível de confiança de 95%. Outros fatores poderão ser considerados desde que sigam os valores indicados na norma NP EN ISO 12999-1:2015;
- 3) A determinação da incerteza do índice $D_{nT,w}$, poderá ser obtido adotando o seguinte procedimento (anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015):
 - a) À curva real de isolamento $D_{nT,f}$, padronizada, são adicionados os valores de incerteza $u(D_{nT,f})$;
 - b) De acordo com a norma ISO 717-1:2020 ajustar a nova curva $[D_{nT,f} + u(D_{nT,f})]$ à curva de referência com incrementos de 0,1dB. Obter neste primeiro passo o respetivo valor do índice padronizado, $D_{nT,w (+u)}$;
 - c) À curva real de isolamento $D_{nT,f}$, padronizada, são subtraídos os valores de incerteza $u(D_{nT,f})$;
 - d) Ajustar a nova curva $[D_{nT,f} - u(D_{nT,f})]$ resultante à curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-1:2020, com incrementos de 0,1dB. Obter neste segundo passo o respetivo valor do índice padronizado, $D_{nT,w (-u)}$;
- 5) O valor correspondente à incerteza para o índice $D_{nT,w}$, será dado pela expressão sugerida no anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015:

$$u(D_{nT,w}) = \frac{[D_{nT,w (+u)}] - [D_{nT,w (-u)}]}{2}$$

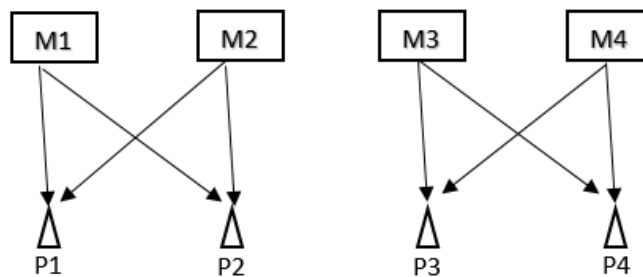
6 INCERTEZA DO NÍVEL SONORO DE PERCUSSÃO, PADRONIZADO (NP EN ISO16283-2)

Nota prévia

Os Laboratórios podem adotar uma das duas metodologias de medição a seguir ilustradas (4/5 posições de máquina; 6 ou mais posições de máquina), e que se consideram suportadas pela norma de ensaio. Com base na opção metodológica seguida, devem então considerar a utilização dos modelos matemáticos para o cálculo de incerteza que seguidamente se apresentam.

Caso A - Método 4/5 posições de máquina de percussão:

1. As medições são efetuadas considerando 4/5 posições distintas da máquina de percussão;
2. Para cada posição da máquina de percussão serão efetuadas 2 (duas) medições de nível sonoro, a que corresponderão duas posições distintas realizadas com o microfone colocado no tripé, ou seguro pela mão do operador que, neste caso o deverá manter (tanto quanto possível) numa posição fixa;



(exemplo para 4 posições distintas de máquina)

3. Efetuar as medições de som residual no interior da sala recetora, cujo número de posições devem permitir obter a dispersão espacial dos níveis medidos;
4. Medir o tempo de reverberação em bandas de terços de oitava, de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2;
5. Para cada posição de máquina calcular o valor da média energética dos espectros obtidos no passo 2, que nas expressões que se seguem são representadas por $L_{i,f,Mj}$ e $L_{eq,f,Mj}$;
6. Calcular o valor da média energética dos espectros obtidos no passo 3, assim como a respetiva dispersão espacial resultante;

7. Para cada posição j da máquina de percussão, calcular o nível de pressão sonora corrigido e padronizado, $L'_{nT,f,Mj}$;
8. Com base nos valores obtidos no passo 7, calcular o valor da média energética para o nível de pressão sonora padronizado, no interior da sala, $L'_{nT,f}$.

Considerando a formulação apresentada, considerando para cada $j \rightarrow [1 \dots p]$ distintas posições da máquina de percussão, deverá ser calculado cada $L'_{nT,f,Mj}$

$$L'_{nT,f,Mj} = L_{i,f,Mj} - 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

ou

$$L'_{nT,f,Mj} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{eq,f,Mj}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Nas expressões

Se $(L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) \geq 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) \leq 6 \text{ dB}$

$$u(L'_{nT,f,Mj}) = \sqrt{u^2(\text{son.}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f})}$$

Se $6 \text{ dB} < (L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) < 10 \text{ dB}$

$$u(L'_{nT,f,Mj}) = \sqrt{\left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f,Mj}} \right)^2 \cdot u^2(\text{son.}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f(rf),Mj}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f(rf),Mj}) + u^2(\text{son.})) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f})}$$

com:

$$\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f,Mj}} = \frac{10^{\frac{L_{eq,f,Mj}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f,Mj}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}}; \quad \frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f(rf),Mj}} = - \frac{10^{\frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f,Mj}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}}; \quad \frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = - \frac{4,34}{\bar{T}_{20dB,f}}$$

$$u(L_{eq,f(rf),Mj}) = \frac{\sigma(L_{eq,f(rf),Mj})}{\sqrt{j}}; \quad u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \quad u(\text{son.}) = 0,5 \text{ dB}$$

Nota1: Para a definição dos parâmetros n e N da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação.

Nota2: Não existindo, na norma NP EN ISO 16283-2, nenhuma referência ao modo como deve ser medido o ruído de fundo a ser contabilizado nas medições, se para cada posição de máquina ou globalmente para a sala, o nível sonoro $L_{eq,f(rf),Mj}$, assimila qualquer das formas. Contudo para ser coerente com a expressão acima apresentada considere-se o nível médio espacial no interior da sala recetora.

Os níveis sonoros padronizadas $L'_{nT,f,Mj}$, correspondentes a cada uma das $j \rightarrow [1 \dots p]$ posições distintas da máquina de percussão, permitem o cálculo do nível sonoro padronizada global $L'_{nT,f}$, cujo valor é dado por:

$$L'_{nT,f} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p 10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}} \right) \text{ dB}$$

A consideração desta última equação possibilita determinar a incerteza combinada para o nível sonoro padronizada global. Para o cálculo deste valor serão considerados os valores da incerteza obtidos para cada j distintas posições da máquina de percussão, assim:

$$u_a(L'_{nT,f}) = \sqrt{u^2(L'_{nT,f,M1}) \cdot \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,M1}} \right)^2 + \dots + u^2(L'_{nT,f,Mm}) \cdot \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,Mm}} \right)^2}$$

com:

$$\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,Mj}} = \frac{10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}}}{\sum_{j=1}^p 10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}}};$$

Nesta metodologia, atendendo a que em cada posição de máquina de percussão apenas são efetuadas duas medições de nível sonoro, considera-se ser adequado incorporar ainda a dispersão espacial dos valores na incerteza combinada final, $u(L'_{nT,f,final})$, para o que se deve considerar a respectiva incerteza padrão correspondente aos níveis $L'_{nT,f,Mj}$, dada pela seguinte expressão

$$u_b(L'_{nT,f,Mj,dpesp}) = \frac{\sigma(L'_{nT,f,Mj})}{\sqrt{j}} = \sqrt{\frac{1}{p(p-1)} \sum_{j=1}^p (L'_{nT,f,Mj} - \overline{L'_{nT,f,Mj}})^2}$$

em que:

$$\overline{(L'_{nT,f,Mj})} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p L'_{nT,f,Mj}$$

Finalmente

$$u(L'_{nT,f,final}) = \sqrt{u_a^2(L'_{nT,f}) + u_b^2(L'_{nT,f,Mj,dpesp}) + u^2(arr.)}$$

com $u(arr.) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx 0,03 \text{ dB}$

Incerteza expandida:

$$U(L'_{nT,f,final}) = 1,96 \cdot u(L'_{nT,f,final})$$

Notas:

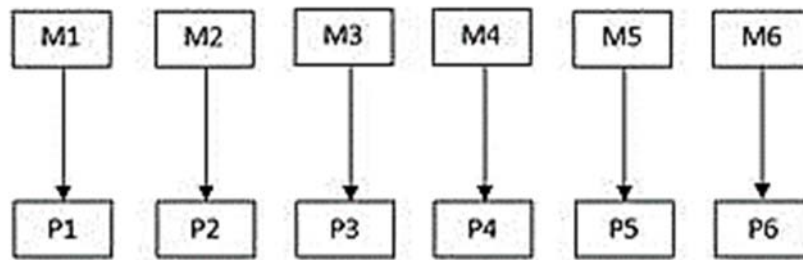
- 1) Para a definição dos parâmetros n e N da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação;

- 2) De acordo com a norma NP EN ISO 12999-1:2015, assume-se que os valores da mensuranda seguem uma distribuição Gaussiana. Considerou-se um fator de cobertura igual a 1,96, o que confere ao intervalo bilateral um nível de confiança de 95%. Outros fatores poderão ser considerados desde que sigam os valores indicados na norma NP EN ISO 12999-1:2015;
- 3) A determinação da incerteza do índice $L'_{nT,w}$, poderá ser obtido adotando o seguinte procedimento (anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015):
- À curva real de isolamento $L'_{nT,f,final}$, padronizada, são adicionados os valores de incerteza $u(L'_{nT,f,final})$;
 - De acordo com a norma ISO 717-1:2020 ajustar a nova curva $[L'_{nT,f,final} + u(L'_{nT,f,final})]$ à curva de referência com incrementos de 0,1dB. Obter neste primeiro passo o respetivo valor do índice padronizado, $L'_{nT,w (+u)}$;
 - À curva real de isolamento $L'_{nT,f,final}$, padronizada, são subtraídos os valores de incerteza $u(L'_{nT,f,final})$;
 - Ajustar a nova curva $[L'_{nT,f,final} - u(L'_{nT,f,final})]$ resultante à curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-1:2020, com incrementos de 0,1dB. Obter neste segundo passo o respetivo valor do índice padronizado, $L'_{nT,w (-u)}$;
- 4) O valor correspondente à incerteza para o índice $L'_{nT,w}$ será dado pela expressão sugerida no anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015:

$$u(L'_{nT,w}) = \frac{[L'_{nT,w (+u)}] - [L'_{nT,w (-u)}]}{2}$$

Caso B - Método 6 posições de máquina de percussão:

1. As medições são efetuadas considerando 6/ou mais posições distintas da máquina de percussão;
2. Para cada posição da máquina de percussão será efetuada 1 (uma) medição de nível sonoro, sendo esta realizada numa única posição realizada com o microfone colocado no tripé, ou seguro pela mão do operador que, neste caso o deverá manter (tanto quanto possível) numa posição fixa;



(exemplo para 6 posições distintas de máquina)

3. Efetuar as medições de som residual no interior da sala recetora, cujo número de posições devem permitir obter a dispersão espacial dos níveis medidos;
4. Medir o tempo de reverberação em bandas de terços de oitava, de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2;
5. Calcular o valor da média energética dos espectros obtidos no passo 3, assim como a respetiva dispersão espacial resultante;
6. Para cada posição j da máquina de percussão, calcular o nível de pressão sonora corrigido e padronizado, $L'_{nT,f,Mj}$;
7. E com base nos valores obtidos no passo 6, calcular o valor da média energética para o nível de pressão sonora padronizado, no interior da sala, $L'_{nT,f}$.

Considerando a formulação apresentada, considerando para cada $j \rightarrow [1 \dots p]$ distintas posições da máquina de percussão, deverá ser calculado cada $L'_{nT,f,Mj}$

$$L'_{nT,f,Mj} = L_{i,f,Mj} - 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Ou

$$L'_{nT,f,Mj} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{eq,f,Mj}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}} \right) - 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{20dB,f}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Se $(L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) \geq 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) \leq 6 \text{ dB}$

$$u(L'_{nT,f,Mj}) = \sqrt{u^2(\text{son.}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f})}$$

Se $6 \text{ dB} < (L_{eq,f,Mj} - L_{eq,f(rf),Mj}) < 10 \text{ dB}$

$$u(L'_{nT,f,Mj}) = \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f,Mj}}\right)^2 \cdot u^2(\text{son.}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f(rf),Mj}}\right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f(rf),Mj}) + u^2(\text{son.})) + \dots}{\dots + \left(\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f})}}$$

com:

$$\frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f,Mj}} = \frac{10 \frac{L_{eq,f,Mj}}{10}}{10 \frac{L_{eq,f,Mj}}{10} - 10 \frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}; \frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial L_{eq,f(rf),Mj}} = - \frac{10 \frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}{10 \frac{L_{eq,f,Mj}}{10} - 10 \frac{L_{eq,f(rf),Mj}}{10}}; \frac{\partial L'_{nT,f,Mj}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = - \frac{4,34}{\bar{T}_{20dB,f}}$$

$$u(L_{eq,f(rf),Mj}) = \frac{\sigma(L_{eq,f(rf),Mj})}{\sqrt{j}}; u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; u(\text{son.}) = 0,5 \text{ dB}$$

Nota3: Para a definição dos parâmetros n e N da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação.

Nota4: Não existindo, na norma NP EN ISO 16283-2, nenhuma referência ao modo como deve ser medido o ruído de fundo a ser contabilizado nas medições, se para cada posição de máquina ou globalmente para a sala, o nível sonoro $L_{eq,f(rf),Mj}$, assimila qualquer das formas. Contudo para ser coerente com a expressão acima apresentada considere-se o nível médio espacial no interior da sala recetora.

Os níveis sonoros padronizadas $L'_{nT,f,Mj}$, correspondentes a cada uma das $j \rightarrow [1 \dots m]$ posições distintas da máquina de percussão, permitem o cálculo do nível sonoro padronizada global $L'_{nT,f}$, cujo valor é dado por:

$$L'_{nT,f} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p 10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}} \right) \text{ dB}$$

A consideração desta última equação possibilita a determinação da incerteza combinada para o nível sonoro padronizado global. Para o cálculo deste valor serão considerados os valores da incerteza obtidos para cada $j \rightarrow [1 \dots p]$ distintas posições da máquina de percussão, assim:

$$u_a(L'_{nT,f}) = \sqrt{u^2(L'_{nT,f,M1}) \cdot \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,M1}}\right)^2 + \dots + u^2(L'_{nT,f,Mm}) \cdot \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,Mm}}\right)^2}$$

com:

$$\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L'_{nT,f,Mj}} = \frac{10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}}}{\sum_{j=1}^p 10^{\frac{L'_{nT,f,Mj}}{10}}};$$

Nesta metodologia, atendendo a que em cada uma das $j \rightarrow [1 \dots p]$ posições de máquina de percussão apenas é efetuada uma medição de nível sonoro, considera-se ser adequado incorporar ainda a dispersão espacial dos valores na incerteza combinada final, $u(L'_{nT,f,dp esp})$, para o que se deve considerar a respetiva incerteza padrão correspondente aos níveis $L'_{nT,f,Mj}$, dada pela seguinte expressão

$$u_b(L'_{nT,f,Mj,dp esp}) = \frac{\sigma(L'_{nT,f,Mj})}{\sqrt{j}} = \sqrt{\frac{1}{p(p-1)} \sum_{j=1}^p (L'_{nT,f,Mj} - \overline{L'_{nT,f,Mj}})^2}$$

em que:

$$\overline{(L'_{nT,f,Mj})} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p L'_{nT,f,Mj}$$

Finalmente

$$u(L'_{nT,f,final}) = \sqrt{u_a^2(L'_{nT,f}) + u_b^2(L'_{nT,f,Mj,dp esp}) + u^2(arr.)}$$

Com

$$u(arr.) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} \approx 0,03 \text{ dB}$$

Incerteza expandida:

$$U(L'_{nT,f,final}) = 1,96 \cdot u(L'_{nT,f,final})$$

Notas:

- 1) De acordo com a norma NP EN ISO 12999-1:2015, assume-se que os valores da mensuranda seguem uma distribuição Gaussiana. Considerou-se um fator de cobertura igual a 1,96, o que confere ao intervalo bilateral um nível de confiança de 95%. Outros fatores poderão ser considerados desde que sigam os valores indicados na norma NP EN ISO 12999-1:2015;
- 2) A determinação da incerteza do índice $L'_{nT,w}$, poderá ser obtido adotando o seguinte procedimento (anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015):
 - a) À curva real de isolamento $L'_{nT,f,final}$ padronizada, são adicionados os valores de incerteza $u(L'_{nT,f,final})$;
 - b) De acordo com a norma ISO 717-1:2020 ajustar a nova curva $[L'_{nT,f,final} + u(L'_{nT,f,final})]$ à curva de referência com incrementos de 0,1dB. Obter neste primeiro passo o respetivo valor do índice padronizado, $L'_{nT,w (+u)}$;
 - c) À curva real de isolamento $L'_{nT,f,final}$ padronizada, são subtraídos os valores de incerteza $u(L'_{nT,f,final})$;
 - d) Ajustar a nova curva $[L'_{nT,f,final} - u(L'_{nT,f,final})]$ resultante à curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-1:2020, com incrementos de 0,1dB. Obter neste segundo passo o respetivo valor do índice padronizado, $L'_{nT,w (-u)}$;
- 3) O valor correspondente à incerteza para o índice $L'_{nT,w}$ será dado pela expressão sugerida no anexo C da norma NP EN ISO 12999-1:2015:

$$u(L'_{nT,w}) = \frac{[L'_{nT,w (+u)}] - [L'_{nT,w (-u)}]}{2}$$

7 INCERTEZA DO NÍVEL DE AVALIAÇÃO, PADRONIZADO (NP EN ISO16032 E A NOTA 4 DO DOCUMENTO LNEC, 10 DE JULHO DE 2015)

$$L_{Ar,nT} = L_A + K1 - 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{T}_{500\text{Hz},1000\text{Hz},2000\text{Hz}}}{T_0} \right) \text{ dB}$$

Com base na metodologia de ensaio e cálculo descrita na **Nota 2**, abaixo apresentada, considere-se:

$$L_A = 10 \cdot \log \left(\sum_{f=50\text{Hz}}^{10\text{kHz}} 10^{\frac{L_{A,f}}{10}} \right) \text{ dB}$$

$$L_{A,f} = (L_{eq,f}^* + At(f)) \text{ dB}$$

$$L_{eq,f}^* = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}} \right) \text{ dB}$$

$$\bar{T}_{500\text{Hz},1000\text{Hz},2000\text{Hz}} = \frac{\bar{T}_{20\text{dB},500\text{Hz}} + \bar{T}_{20\text{dB},1000\text{Hz}} + \bar{T}_{20\text{dB},2000\text{Hz}}}{3}$$

Se $(L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) > 10 \text{ dB}$ ou $(L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) \leq 4 \text{ dB}$

$$u(L_{eq,f}^*) = \sqrt{\left(\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f}) + u^2(\text{son.}))}$$

Se $4 < (L_{eq,f} - L_{eq,f}(rf)) \leq 10 \text{ dB}$

$$u(L_{eq,f}^*) = \sqrt{\left(\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f}) + u^2(\text{son.})) + \left(\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}(rf)} \right)^2 \cdot (u^2(L_{eq,f}(rf)) + u^2(\text{son.}))}$$

Com $u(L_{A,f}) = u(L_{eq,f}^*) \text{ dB}$, sendo $At(f)$ uma constante para cada banda de terço de oitava, resulta o valor da incerteza combinada o valor

$$u(L_A) = \sqrt{\sum_{f=50\text{Hz}}^{10\text{kHz}} \left(\frac{\partial L_A}{\partial L_{A,f}} \right)^2 \cdot u^2(L_{eq,f}^*) \text{ dB}}$$

Assim:

$$u(L_{Ar,nT}) = \sqrt{u^2(L_A) + \left(\frac{\partial L_{Ar,nT}}{\partial \bar{T}_{500\text{Hz},1000\text{Hz},2000\text{Hz}}} \right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{500\text{Hz},1000\text{Hz},2000\text{Hz}}) + u^2(\text{arr.}) \text{ dB}}$$

Considerando:

$$\frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}} = \frac{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{-\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}; \quad \frac{\partial L_{eq,f}^*}{\partial L_{eq,f}(rf)} = - \frac{10^{\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}{10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} - 10^{-\frac{L_{eq,f}(rf)}{10}}}; \quad \frac{\partial L_A}{\partial L_{A,f}} = \frac{10^{\frac{L_{A,f}}{10}}}{\sum_{f=50Hz}^{10kHz} 10^{\frac{L_{A,f}}{10}}}$$

$$u(L_{eq,f}) = \frac{\sigma(L_{eq,f})}{\sqrt{n}}; \quad u(L_{eq,f}(rf)) = \frac{\sigma(L_{eq,f}(rf))}{\sqrt{n}}$$

$$u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{1,90}{n})}{N \cdot 0,71 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \quad \text{para } f = [500Hz; 1000Hz; 2000Hz]$$

$$u(son.) = 0,5 \text{ dB}; \quad u(arr.) = \frac{0,5}{\sqrt{3}} \approx 0,3 \text{ dB}$$

$$\frac{\partial L_{Ar,nT}}{\partial \bar{T}_{500Hz,1000Hz,2000Hz}} = - \frac{4,34}{\bar{T}_{500Hz,1000Hz,2000Hz}}$$

$$u(\bar{T}_{500Hz,1000Hz,2000Hz}) = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{u^2(\bar{T}_{20dB,500Hz}) + u^2(\bar{T}_{20dB,1000Hz}) + u^2(\bar{T}_{20dB,2000Hz})}$$

Incerteza expandida:

$$U(L_{Ar,nT}) = 2 \cdot u(L_{Ar,nT})$$

Nota1: Para a definição dos parâmetros **n** e **N** da expressão $u(\bar{T}_{20dB,f})$, consultar a nota específica para o tempo de reverberação.

Nota2: Assume-se que a metodologia abaixo descrita, permite responder de forma coerente ao parâmetro definido pela legislação, na norma NP EN ISO16032 e na interpretação dada à Nota 4 do Documento LNEC, 10 de julho de 2015.

1. Determinar o canto mais ruidoso, exatamente nas condições estabelecidas pela norma NP EN ISO16032;
2. Determinar o número de medições a efetuar, exatamente nas condições estabelecidas pela norma NP EN ISO16032;
3. Efetuar as medições do ruído total, proveniente do funcionamento do equipamento a avaliar em bandas de terços de oitava, mas seguindo as restantes indicações da norma NP EN ISO16032;
4. Calcular o valor da média logarítmica dos espectros obtidos no ponto 3;
5. Efetuar as medições do ruído residual, no interior da sala recetora em bandas de terços de oitava, mas seguindo as restantes indicações da norma NP EN ISO16032;
6. Calcular o valor da média logarítmica dos espectros obtidos no ponto 5;

7. Efetuar as correções devidas em cada um dos valores médios (logarítmicos) das bandas de terço de oitava, observando os valores das correções descritos na norma NP EN ISO16032;
8. A cada uma das bandas de terços de oitava, médias e já corrigidas, aplicar as ponderações em frequência descritas para a curva A;
9. Investigar no espectro médio a existência de componentes tonais, seguindo para isso a metodologia descrita no nº2 do Anexo I, do Decreto-lei nº9/2007 de 17 de janeiro;
10. Calcular o valor global, L_A , através do espectro médio, corrigido do ruído residual e ponderado A;
11. Aplicar o fator K1, correspondente à correção tonal quando esta for devida;
12. Aplicar o fator de padronização considerando o tempo de reverberação médio, obtido com base nos valores centrados nas bandas de oitava de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.
13. O tempo de reverberação de referência corresponderá, T_0 , corresponderá a 0,5 segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento;
14. O valor final do nível de avaliação padronizado, $L_{Ar,nT}$, será apresentado arredondado à unidade.

Modelo matemático de cálculo para valores descritos em bandas de terços de oitava:

$$u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \text{ para decaimentos de 20dB}$$

$$u(\bar{T}_{30dB,f}) = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,52}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot \bar{T}_{30dB,f}}}; \text{ para decaimentos de 30dB}$$

Modelo matemático de cálculo para valores descritos em bandas de oitava:

$$u(\bar{T}_{20dB,f}) = 0,88 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,71 \cdot f \cdot \bar{T}_{20dB,f}}}; \text{ para decaimentos de 20dB}$$

$$u(\bar{T}_{30dB,f}) = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,52}{n}\right)}{N \cdot 0,71 \cdot f \cdot \bar{T}_{30dB,f}}}; \text{ para decaimentos de 30dB}$$

Nota:

Para qualquer das situações acima descritas, a determinação dos parâmetros **n** e **N** será efetuada de acordo com:

- Considerando 1 posição de fonte, 3 posições de microfone e 2 decaimentos em cada ponto de microfone então, considerar-se-á, **n=2** e **N=3**;
- Considerando 2 posições de fonte, 3 posições de microfone por cada posição de fonte e 2 decaimentos em cada ponto de microfone então, considerar-se-á, **n=2** e **N=6**.

Poder-se-ão tomar outros valores para os parâmetros **n** e **N**, devendo estes ser adaptados em função de qualquer outra combinação prevista na Tabela 1 da norma NP EN ISO 3382-2.