

Modelos de cálculo em acústica de edifícios

Opções de cálculo em aplicações informáticas das partes 1, 2 e 3 da Norma EN ISO 12354

Caso concreto: a aplicação CAEd

João Mariz Graça¹, Luís Santos Lopes² Maria Odete Domingues³

¹ *Arfised, lda*, Lisboa

joamarizgraca@sapo.pt

² *Acustiprojecto, lda*, Lisboa

acusti@mail.telepac.pt

³ *Acústica XXI, lda*, Lisboa

odomingues@acustica21.com

Introdução

As aplicações informáticas de métodos de cálculo contemplam diferentes opções, as quais podem resultar da interpretação de dados qualitativos do método, da simplificação dos dados de entrada ou da consideração de diferentes formulações (p. ex, simplificada ou detalhada).

Por vezes, as aplicações vão mais longe, extrapolando o método de cálculo para situações não explicitamente previstas no mesmo, porém respeitando o domínio de validade da formulação.

Na presente comunicação, aborda-se o estudo da aplicação informática *CAEd – cálculo acústico de edifícios*, na perspetiva das suas opções de cálculo, incluindo a que se refere à extrapolação da formulação da Norma EN 12354-2, relativa ao cálculo do isolamento sonoro aos sons de percussão quando o compartimento emissor é subjacente ao recetor. Neste caso particular, são comparados os resultados calculados pelo programa com os valores obtidos nos correspondentes ensaios *in situ*.

Palavras chave: acústica de edifícios; sons de percussão; norma EN 12354; cálculo acústico; isolamento sonoro.

Abstract

Different calculation options are considered in software programs, due to the interpretation of qualitative data of the model, simplification of entry data or the adoption of different formulations (simplified *versus* detailed).

Sometimes, software applications go further and extrapolate the calculation method to situations not included in the standard, although respecting the validity of the formulation domain.

This paper reports the analysis held on the *CAEd – building acoustical calculation* software, regarding its calculation options, including the one that considers the extrapolation of the Standard EN 12354-2 formulation, concerning the calculation of the impact sound insulation when the emission room is under the reception one. In this particular case, calculation results of the software are compared with the values obtained on the correspondent *in situ* tests.

Keywords: building acoustics; impact sound; EN 12354 standard; acoustical calculation; sound insulation.

1 Opções de cálculo

Concebido em linguagem *Prolog*, o programa *CAEd* reconhece automaticamente os caminhos de transmissão direta e marginal entre pares emissão / receção, alinhados ou desfasados, calculando os indicadores habitualmente utilizados na caracterização do desempenho acústico dos edifícios.

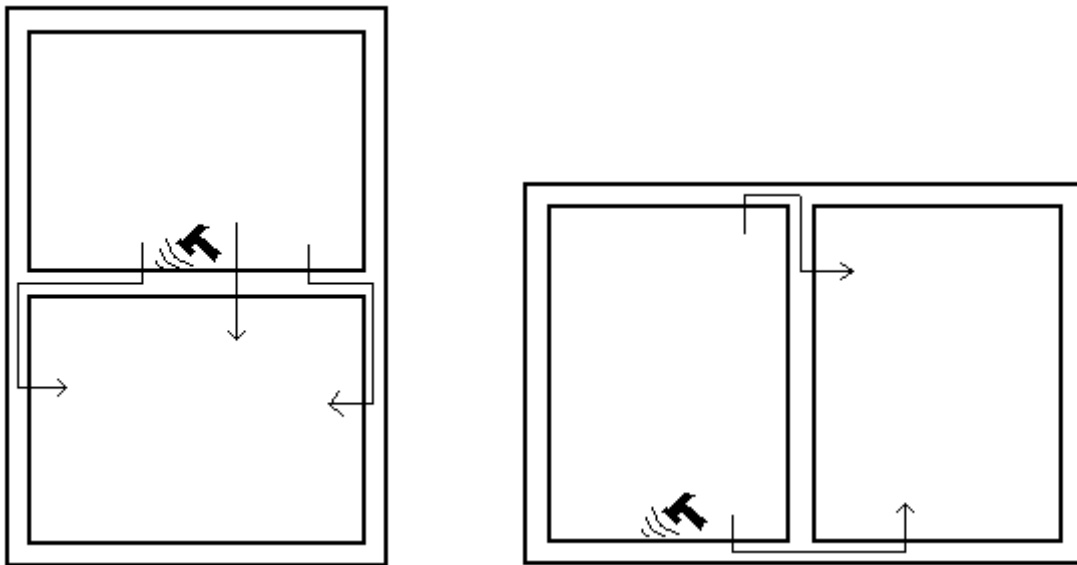
Tratando-se de uma aplicação dos princípios de cálculo da Norma EN 12354- partes 1, 2 e 3, o programa contempla as seguintes opções:

- i) Nas transmissões marginais envolvendo paredes duplas de alvenaria, o índice R_w considerado refere-se ao pano interior, enquanto a massa corresponde ao total da parede dupla (conforme recomendado na Norma Europeia de cálculo).
- ii) O utilizador pode 'interromper' caminhos de transmissão marginal, para atender a situações de completa dessolidarização entre elementos construtivos (p. ex. paredes relativamente a laje de teto, ou ligação parede dupla / parede dupla, executada com preceito).
Nestes casos, o utilizador selecciona a opção 'interrupção' no menú 'atribuir junção' e o programa atribui o valor $K_{ij} = 35$ dB, aos caminhos da aresta em causa, observando as seguintes particularidades:
 - nos pares horizontais, os 3 caminhos D_f , F_f e F_d são interrompidos;
 - nos pares verticais, não são interrompidos os caminhos D_f ou F_d , quando a emissão é, respectivamente, subjacente ou sobrejacente à receção (pois não é plausível a elevação da parede em relação pavimento), aplicando-se neste casos o valor K_{ij} de junção rígida em canto.
- iii) Os índices DR_w correspondentes a duplicações de elementos construtivos (elementos aligeirados do tipo gesso cartonado c/ lã mineral, revestindo elementos rígidos do tipo betão e alvenarias) não variam de valor, consoante processados em transmissão direta ou marginal.
- iv) Os índices DR_w correspondentes a duplicações de elementos construtivos, são somados linearmente, quando no mesmo caminho de transmissão, direto ou marginal, é introduzida duplicação em ambos os compartimentos, emissor e recetor.
- v) Em fachadas, o cálculo de isolamento não inclui a contribuição de transmissões marginais.
- vi) O programa contempla, ainda, o cálculo do isolamento a sons de percussão, para pares em que o compartimento emissor é subjacente ao recetor, conforme adiante explicitado.

2 Isolamento a sons de percussão (emissão subjacente à receção)

No domínio do isolamento sonoro aos sons de percussão, a maior parte das situações que envolve a quantificação do desempenho construtivo, refere-se a compartimentos emissores que apresentam localização sobrejacente ou adjacente aos compartimentos recetores.

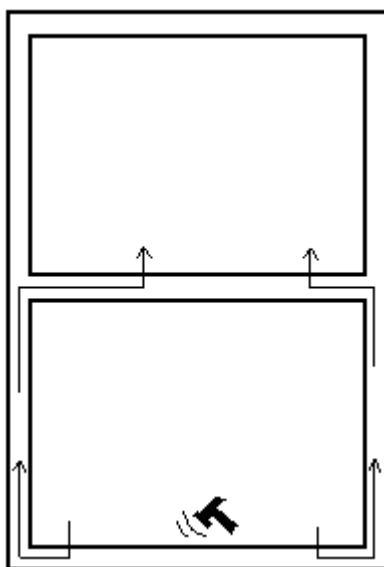
O método de cálculo introduzido pela Norma Europeia EN 12354-2 limita a consideração das transmissões marginais às junções de 1ª ordem, i. e. as que resultam da ligação construtiva entre o pavimento percutido e as paredes delimitadoras dos compartimentos. A figura seguinte ilustra as junções em causa e os respetivos caminhos de transmissão (isolamento):



No entanto, é sabido que são frequentemente reportadas situações de incomodidade por ruído, devida a estímulos sonoros de percussão com origem em compartimentos emissores subjacentes aos recetores. É o caso, p. ex., de estabelecimentos comerciais ou de serviços subjacentes a habitações. Nestes casos, o requisito regulamentar de isolamento aos sons de percussão, acolhido nas diversas legislações nacionais, costuma ser mais exigente do que entre habitações (devido à maior intensidade de estímulos de percussão próprios da atividade terciária), o que contribui decisivamente para que se não possa presumir a conformidade do desempenho construtivo, apesar do acréscimo de isolamento associado à localização subjacente do compartimento emissor.

Em face desta realidade, importa reconhecer a necessidade de quantificar o isolamento a sons de percussão, nas situações em causa. Ora, a formulação de cálculo da EN 12354-2 contem os princípios necessários para o efeito, havendo todavia que levar mais longe o seu processamento: em princípio até às junções de 2^a ordem.

A figura seguinte ilustra o processamento de cálculo para um compartimento emissor subjacente ao recetor, considerando as junções de 2^a ordem:



Com o objetivo de aferir a hipótese de consideração da transmissão sonora até às junções de 2^a ordem, concluindo pela sua adequação, ou não, ao cálculo do isolamento a sons de percussão nas configurações em

que o compartimento emissor é subjacente ao recetor, procedeu-se à comparação de valores assim calculados, relativos a 8 casos, com os resultados dos respetivos ensaios *in situ*.

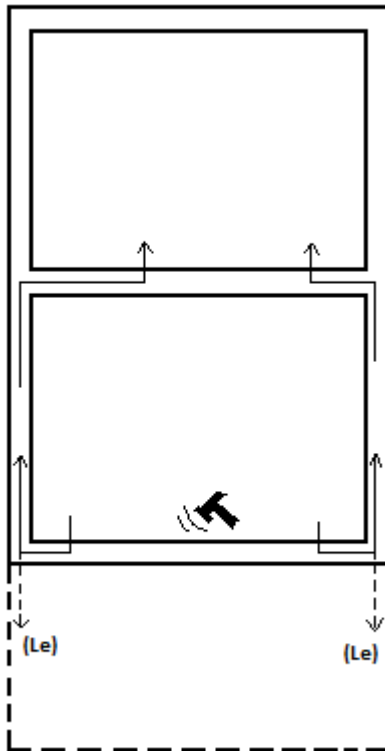
Os ensaios para determinação do isolamento aos sons de percussão incidiram sobre pares emissão-receção cujas características – na parte que interessa à influência no resultado final – variaram de acordo com o seguinte:

- vii) diferentes elementos constituintes (laje, pavimento final e paredes);
- viii) diferentes geometrias dos pares, incluindo pares alinhados e desalinhados, estes últimos em ambas as configurações de ‘T’ virado para a emissão e de ‘T’ virado para a receção;
- ix) diferentes dimensões

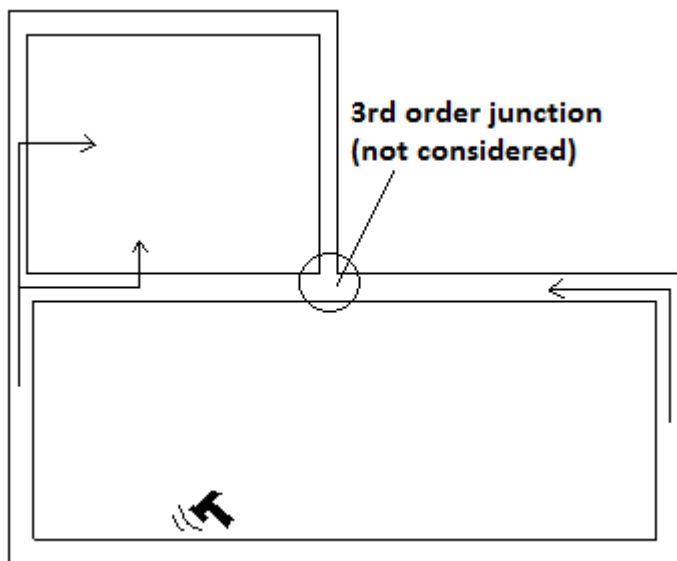
Estes ensaios, efetuados por um laboratório acreditado, foram executados de acordo com a metodologia da Norma ISO 140-7 e incluíram o despiste de eventual contaminação dos níveis sonoros de percussão pelo ruído aéreo gerado pelo funcionamento da máquina de percussão, tendo-se para este efeito seguido o procedimento recomendado na ISO 140-14.

Por sua vez, os cálculos foram efetuados com base na metodologia indicada no livro ‘Acústica nos Edifícios – J. Patrício’: trata-se de quantificar o campo marginal de 1ª ordem, estabelecido pela percussão do pavimento, mediante recurso ao parâmetro ‘k’ constante na tabela do método simplificado da EN 12364-2. Assim, nas expressões de cálculo dos $L_{n,ij}$, o programa substitui o valor, L_n , pelo valor do campo marginal, L_E , obtido pela expressão $L_E = 10\log[10^{(L_n+k)/10} - 10^{L_n/10}]$ e afetado do termo $10\log(I_{aresta}/I_{perimetro\ pav})$ relativo à parcela de 1ª ordem transmitida através da aresta em causa. Para contornar situações de indeterminação de isolamento decorrentes de $k=0$, o programa considera em tais casos, $k=0,5$.

A figura seguinte ilustra o princípio geral deste método de cálculo:



De referir, portanto, que ao considerar junções até à 2ª ordem, o cálculo não considera os caminhos que envolvem paredes de pares desalinhados, em configuração de ‘T’ virado para a receção, pois tal corresponderia a uma 3ª ordem de junções. A figura seguinte ilustra este tipo de situações:



A comparação entre os valores obtidos por cálculo e por ensaio *in situ*, é apresentada no quadro seguinte:

ref ^a ensaio	Emissão / Recepção	Valores medidos (L'nT,w)	Valores calculados (L'nT,w)
030	loja / suite (*)	46	44
037-1	cozinha / quarto	53	50
037-2	garagem / quarto (*)	57	53
036	balneário / escritório (*)	57	59
039-1	loja / sala 1º B	39	38
039-2	loja / sala 1º A	43	42
041	sala / gabinete (*)	56	59
041	sala / gabinete (*)	57	55
041	sala / gabinete (*)	57	55

(*) o pavimento percutido reveste laje térrea

3 Conclusões

Em primeiro lugar, os resultados do quadro acima evidenciam a relevância da transmissão de sons de percussão, nas configurações de emissão subjacente à receção, não se podendo dar por adquirido que o acréscimo de isolamento associado a esta configuração, seja suficiente, por si só, para assegurar a verificação dos limites habitualmente considerados na avaliação de desempenho neste domínio.

Os resultados calculados aproximam-se dos resultados medidos, não apresentando 'tendência' clara, afigurando-se que poderão constituir uma indicação sobre a necessidade, ou não, de prever medidas

adicionais de isolamento aos sons de percussão, em fase de projeto.

A comparação entre valores relativos a pavimentos assentes em lajes térreas, ou em lajes sobreelevadas, não permite derivar conclusão sobre a eventual influência do solo na atenuação da transmissão sonora, sendo que os valores, L_n e M , usados no cálculo, são independentes das condições de suporte da laje (terrea ou sobreelevada). No caso de lajes térreas, a incerteza de cálculo é mais elevada, em resultado da indefinição dos parâmetros, L_n e M , que lhe estão associados e que, à data, não são ainda bem conhecidos.

References:

Domingues, O. D. – **Buildings Acoustics. Floors and floor coverings impact sound insulation.** Lisboa: LNEC, 2008.

Patrício, J. – **Acoustics EN 12354-2: 2000 – Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 2: Impact sound insulation between rooms.** Brussels: CEN, 2000.

EN ISO 140-7: 1998 – **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.** Brussels: CEN, 2000.

EN ISO 140-4: 1998 – **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation.** Brussels: CEN, 2000.

EN ISO 140-13: 1997 – **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 13: Guidelines.** Brussels: CEN, 2000.

EN ISO 140-14: 2004 – **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 14: Guidelines for special situations in the field.** Brussels: CEN, 2004.
in Buildings. Lisboa, 2010.