

QUAIS OS TERMOS DE ADAPTAÇÃO ESPECTRAL MAIS AJUSTADOS PARA DIFERENTES AMBIENTES DE RUÍDO, NO INTERIOR E NO EXTERIOR DOS EDIFÍCIOS?

Diogo Mateus¹, Andreia Pereira¹

¹ ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
{diogo@dec.uc.pt, apereira@dec.uc.pt}

Resumo

A verificação de requisitos acústicos mínimos de isolamento a sons aéreos é realizada geralmente através da consideração de índices de isolamento, nomeadamente os parâmetros $D_{nT,w}$, R'_w , $D_{2m,nT,w}$. Em situações muito específicas, e em alguns países, já está prevista a consideração de termos de adaptação espectral, nomeadamente o C ou Ctr , mas, sobretudo, para fachadas ou para a verificação de classes superiores de isolamento. A inclusão ou não destes termos no critério de avaliação pode conduzir a fortes alterações nos requisitos efetivos de isolamento bem como no tipo de soluções construtivas a adotar.

Neste contexto, e com base num conjunto alargado de casos de estudo, pretende-se avaliar neste trabalho se deverão ser considerados os termos de adaptação espectral na avaliação de isolamento acústico de edifícios e, ao considera-los, qual a gama de frequências mais adequada.

Palavras-chave: isolamento, sons aéreos, termos de adaptação, gama de frequências.

Abstract

The compliance with minimum airborne sound insulation requirements is usually carried out by using single number quantities, namely the parameters $D_{nT,w}$, R'_w , $D_{2m,nT,w}$. In very specific situations, and in some countries, the use of spectral adaptation terms is already foreseen, namely C or Ctr , but they are mostly employed for facades assessment or for the verification of higher insulation classes. The inclusion of these terms in the evaluation criteria can lead to strong changes in the insulation requirements as well as in the construction solutions to be employed.

In this context, the aim of this work is to evaluate whether spectral adaptation terms should be employed for buildings sound insulation assessment and, when considering them, what is the range of frequencies that is more suitable. The work is carried out based on the analysis of a large number of case studies.

Keywords: isolation, airborne sounds, adaptation terms, frequency range.

PACS no. 43.15.+s, 43.55.Rg

1 Introdução

De acordo com a legislação em vigor em Portugal, no que se refere à acústica de edifícios, designado de Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1], o requisito de isolamento de fachada nos edifícios consiste na imposição de um valor mínimo para o parâmetro $D_{2m,nT,w}$, que apresenta algumas variações em função da natureza do edifício e do local de implantação. Para todas as situações, quando a área translúcida é superior a 60 % do elemento de fachada em análise, ao parâmetro $D_{2m,nT,w}$ deve ser adicionado o termo de adaptação apropriado, C ou Ctr , conforme o tipo de ruído dominante na emissão. O termo de adaptação C , quando somado ao índice $D_{2m,nT,w}$, traduz o isolamento efetivo para um espectro do tipo “Ruído Rosa”, rico sobretudo em médias e altas frequências, e que é representativo de atividades baseadas na voz humana ou de equipamentos de alta rotação [2]. O termo Ctr , quando somado a $D_{2m,nT,w}$, traduz o isolamento efetivo para um espectro do tipo “Ruído de Tráfego Urbano”, rico sobretudo em baixas e médias frequências, sendo representativo do tráfego rodoviário urbano assim como da música em bares ou do ruído gerado pela generalidade dos equipamentos de baixa rotação [2]. O termo C toma geralmente valores entre -2 e 0, enquanto que Ctr toma geralmente valores negativos mais acentuados (da ordem de -3 a -6, para elementos de separação pesados, ou valores ainda mais penalizadores para elementos leves) [3]. Estes termos de adaptação são determinados de acordo com a norma ISO 717-1:2020 [2], e, por regra, são obtidos por bandas de 1/3 de oitava entre 100 e 3150 Hz. Contudo estes termos podem ainda ser determinados para uma gama mais alargada em frequência, nomeadamente entre as bandas de 50 e 5000 Hz, sendo, então, representados por $C_{50-5000}$ e $Ctr_{50-5000}$. Em alternativa, poderão ainda ser considerados os termos $C_{50-3150}$ e $Ctr_{50-3150}$, que assumem normalmente valores semelhantes.

No caso do isolamento a sons aéreos, e apesar de alguns países, nomeadamente na Europa, considerarem também nos seus requisitos os termos de adaptação anteriormente referidos, em particular para classes de isolamento superiores ao mínimo regulamentar, em Portugal o RRAE [1] considera apenas o índice de isolamento $D_{nT,w}$, desprezando os termos de adaptação. Acrescente-se, no entanto, que a incerteza da medição de isolamento em baixas frequência, em particular nas bandas de 50 a 100 Hz, é geralmente elevada, em particular para elementos de compartimentação leve, o que pode influenciar bastante o termo $Ctr_{50-5000}$ [3].

No presente artigo pretende-se avaliar até que ponto faz sentido só agravar o requisito de isolamento de fachada quando a área translúcida é superior a 60 % do elemento de fachada em análise. Por outro lado, também se pretende averiguar, a partir de um conjunto de casos de estudo, se o termo Ctr representa bem o universo dos diferentes tipos de ruído de tráfego rodoviário, ou se, por exemplo, não faria mais sentido considerar uma gama de frequências mais alargada ($Ctr_{50-5000}$). Por outro lado, e para a avaliação de isolamento entre compartimentos interiores, pretende-se também verificar, com base num conjunto de situações típicas de espectros de ruído no interior de edifícios, se faz ou não sentido a consideração dos termos de adaptação anteriormente referidos [3,4].

2 Exemplos de espectros de ruído no interior e no exterior de edifícios

Na Figura 1 são apresentados 11 espectros em frequência com os níveis sonoros registados para o período diurno, junto a 11 vias de circulação rodoviária, resultantes de medições de ruído ambiente durante pelo menos 2 dias de medições (medições em contínuo). Nesta figura são ainda acrescentadas duas curvas de referência: a que resulta da aplicação do termo de adaptação $Ctr_{50-5000}$; e a curva convencional de

referência que permite determinar $D_{2m,nT,w}$. De uma forma geral, e apesar das grandes diferenças entre as características das vias e da envolvente, bem como o tipo de composição do tráfego, verifica-se que a variação em frequência dos 11 casos de estudo segue um traçado não muito diferente da curva que permite determinar o $Ctr_{50-5000}$ (ou o Ctr caso se considere a gama de 100 a 3150 Hz).

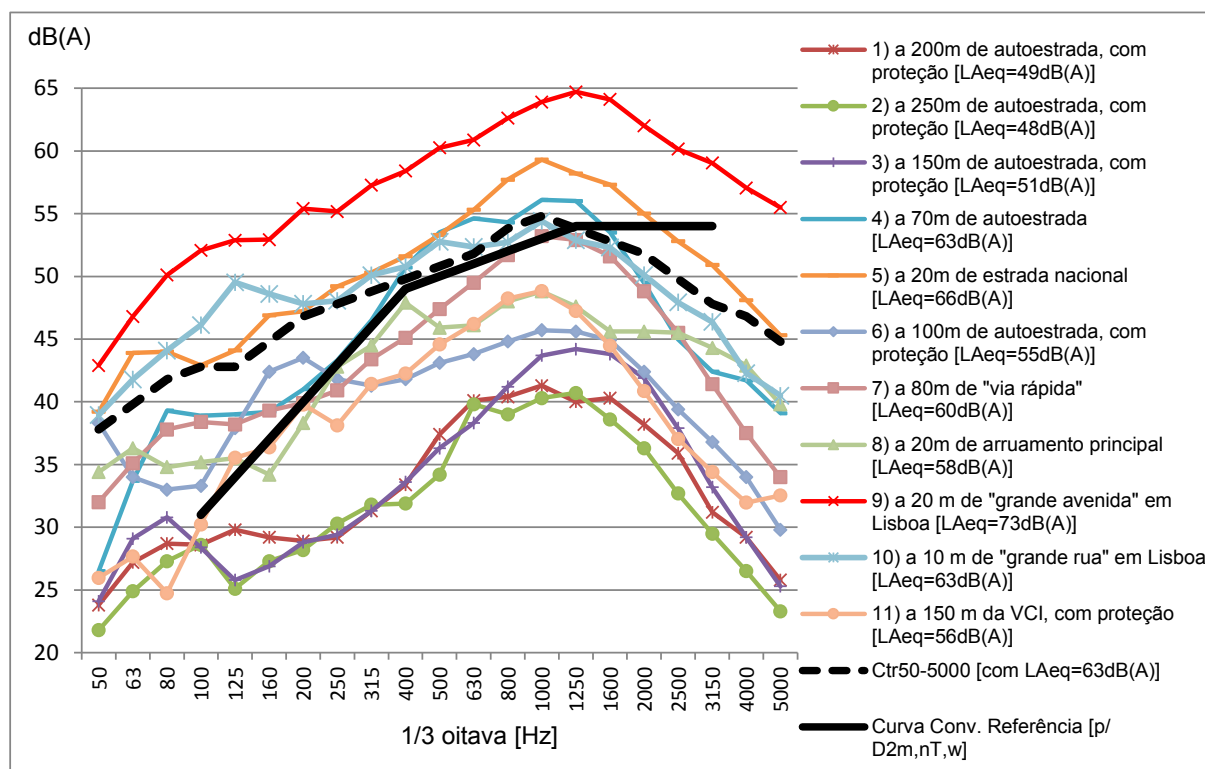


Figura 1 – Níveis de ruído registados no exterior, para o período diurno, junto a 11 vias de tráfego rodoviário (incluindo o espectro $Ctr_{50-5000}$ e a curva convencional de referência).

Na Figura 2 são apresentados 6 espectros em frequência com os níveis sonoros registados no interior de edifícios, para medições prolongadas no tempo (pelo menos 1 hora), em geral resultantes da média de vários pontos de medição, para ambientes de ruído muito distintos, desde uma habitação, com medições numa cozinha e numa sala (com televisão em funcionamento, pessoas em conversação e eletrodomésticos na cozinha), até ao interior de uma discoteca. Na Figura 3 são apresentados 13 espectros médios de medições de ruído, neste caso em bandas de oitava, registadas próximo de equipamentos mecânicos (em geral para distâncias entre 2 a 3 m), uns no interior e outros no exterior, em que 10 espectros correspondem a equipamentos de AVAC diferentes (ventiladores e UTAs), 2 correspondem a postos de transformação e 1 a um gerador de emergência. Na Figura 2 são ainda acrescentadas três curvas padrão: a que resulta da aplicação do termo de adaptação $C_{50-5000}$; a que resulta da aplicação do termo de adaptação $Ctr_{50-5000}$; e a curva convencional de referência que permite determinar $D_{2m,nT,w}$. Na Figura 3 é apenas acrescentada a curva que resulta do termo de adaptação $Ctr_{50-5000}$, neste caso em bandas de oitava, e representada na Figura apenas por Ctr .

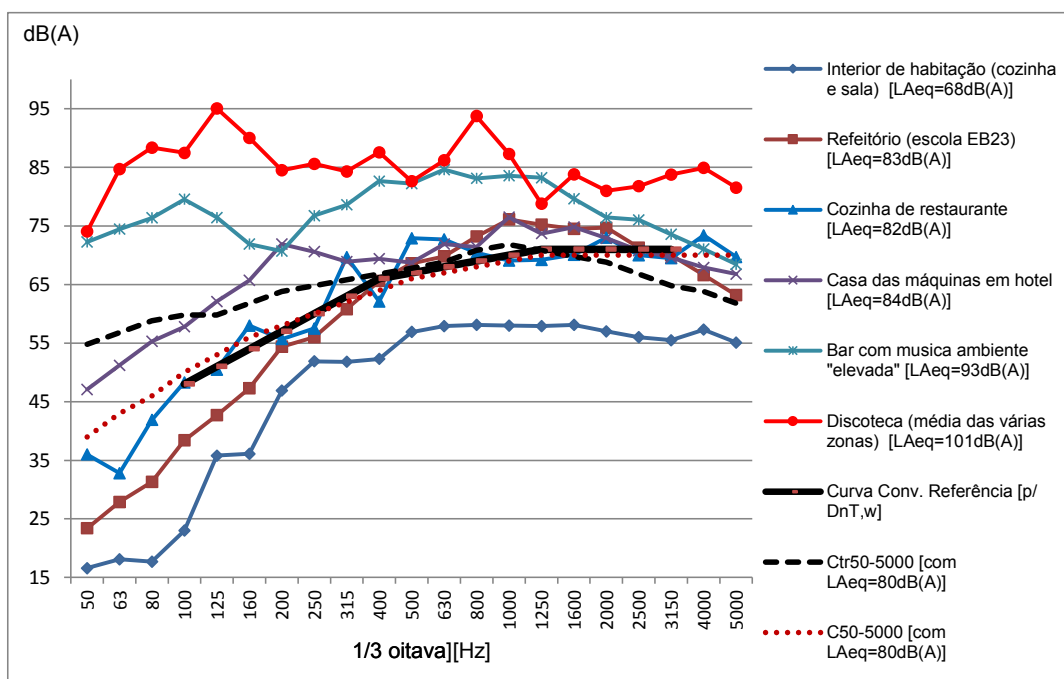


Figura 2 – Níveis de ruído registados no interior de edifícios para 6 situações distintas (incluindo os espectros $C_{50-5000}$, $Ctr_{50-5000}$ e a curva convencional de referência).

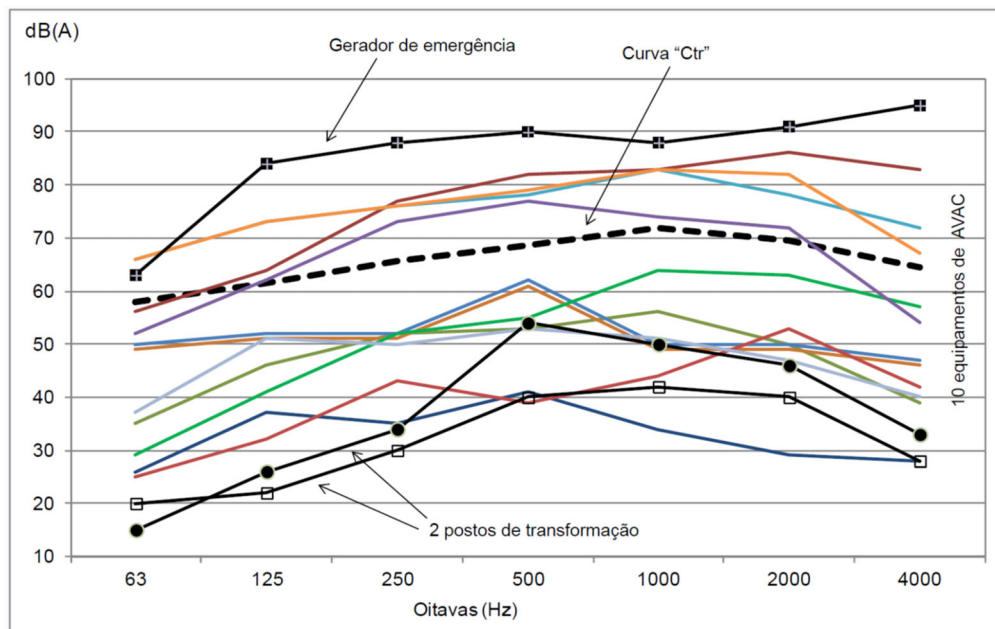


Figura 3 – Níveis de ruído registados na envolvente de equipamentos mecânicos (para 10 equipamentos de AVAC diferentes (ventiladores e UTAs), 2 postos de transformação e 1 gerador de emergência), incluindo o espectro $Ctr_{50-5000}$ (neste caso convertido para bandas de oitava).

Em relação à Figura 2, para além da variabilidade da amplitude, como seria de esperar, a forma de variação em frequência é também muito acentuada. No caso de estudo do “ruído de habitação” o traçado aproxima-se bastante da curva convencional de referência, pelo que se considera que o isolamento global para estes casos é “bem representado” pelo índice $D_{nT,w}$. No caso do refeitório e da cozinha de restaurante também existe uma boa aproximação à curva convencional de referência, mas parece aproximar-se mais ainda à curva $C_{50-5000}$, pelo que o isolamento global nestes casos é “bem representado” pelo índice $D_{nT,w} + C_{50-5000}$, ou eventualmente a $D_{nT,w} + C$.

Da análise da Figura 3 é possível verificar que, apesar das grandes diferenças entre amplitudes das curvas apresentadas, para equipamentos muito diferentes, a variação em frequência dos 13 casos de estudo segue um traçado não muito diferente da curva que permite determinar o $Ctr_{50-5000}$, tal como se verificou no caso da Figura 1.

No caso da sala de máquinas, o traço segue um andamento próximo de $Ctr_{50-5000}$, pelo que se pode eventualmente considerar como isolamento global $D_{nT,wnT} + Ctr$ (ou eventualmente, do lado da segurança, o $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000}$), tal como já indicado no caso dos espectros da Figura 3.

No caso do bar, com música ambiente, e da discoteca, o espectro de ruído apresenta uma componente de baixa frequência ainda mais intensa que a correspondente à curva $Ctr_{50-5000}$, pelo que a consideração de um isolamento global $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000}$ pode conduzir a resultados do lado da insegurança. Vejamos o seguinte exemplo: se considerarmos que no interior de uma discoteca o valor de L_{Aeq} é próximo de 100 dB(A) e que o índice de isolamento global se aproximaria de $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000} = 60dB$, em relação a um recetor sensível vizinho, poderíamos prever um valor de L_{Aeq} no referido recetor da ordem de 40 dB(A).

Para a generalidade das situações de ruído de muito baixa frequência, como acontece em discotecas, é provável que o valor real de L_{Aeq} seja tendencialmente superior ao que resulta deste tipo de abordagem.

Neste tipo de situações recomenda-se que a análise seja realizada em frequência, cobrindo todo o espectro, desde a banda de 1/3 de oitava de 50 Hz até à banda dos 5000 Hz.

3 Avaliação do isolamento de fachada

Com vista a averiguar a influência da percentagem de área envidraçada no isolamento de fachada de um quarto [2,5], são apresentados na Tabela 1 um conjunto de resultados para dois tipos de cenários distintos: uma situação com caixilharia “corrente”, com um índice de isolamento $R_w(C; Ctr) = 33(-1; -4)dB$; e uma caixilharia dupla de muito elevado isolamento, com um índice de isolamento $R_w(C; Ctr) = 46(-1; -6)dB$. A fachada em causa apresenta uma área próxima de 10 m², de um quarto com volume de 32 m³, sendo composta por uma zona de parede opaca com um índice de isolamento de $R_w(C; Ctr) = 51(-1; -3)dB$. Para estes dois tipos de cenários é considerada uma variação progressiva das áreas envidraçadas desde 10 a 90 %. Apesar da limitação dos exemplos estudados, este “exercício” permite verificar que mesmo que o termo Ctr seja mais desfavorável no vão envidraçado do que na zona de parede opaca, o resultado do Ctr global para a fachada não varia muito com a variação da área envidraçada. Teoricamente se o Ctr da parede fosse próximo de zero e o Ctr do vão fosse muito negativo, aí o aumento da área envidraçada originaria um aumento do Ctr global da fachada, mas essas situações são muito raras.

Tabela 1 – Isolamento acústico de fachada ($D_{2m,nT,w}(C; Ctr)$) previsto para dois exemplos de janelas, considerada uma variação progressiva das áreas envidraçadas desde 10 a 90 %.

Percentagem de área envidraçada	Exemplo 1: Janela com $R_w(C; Ctr) = 33(-1; -4)dB$	Exemplo 2: Janela com $R_w(C; Ctr) = 46(-1; -6)dB$.
10%	42(-1;-3)dB	50(-1;-4)dB
20%	40(-1;-4)dB	49(-1;-4)dB
40%	37(-1;-4)dB	48(-1;-5)dB
60%	35(-1;-4)dB	47(-1;-5)dB
90%	33(-1;-4)dB	46(-2;-6)dB

Considerando agora que para os 2 cenários anteriores, e com 20% de área envidraçada, para os quais correspondem as curvas de isolamento de fachada indicadas na Figura 4, com uma exposição ao ruído no exterior a variar entre os 11 casos de estudo indicados na Figura 1, da secção anterior deste artigo, a partir de uma análise por bandas de frequência é possível estimar o isolamento acústico efetivo de cada situação (diferença dos valores de L_{Aeq} entre o exterior e o interior), cujos resultados se apresentam na Figura 5. Nesta Figura são ainda apresentados os correspondentes valores dos índices $D_{2m,nT,w}$, $D_{2m,nT,w} + Ctr$ e $D_{2m,nT,w} + Ctr_{50-5000}$.

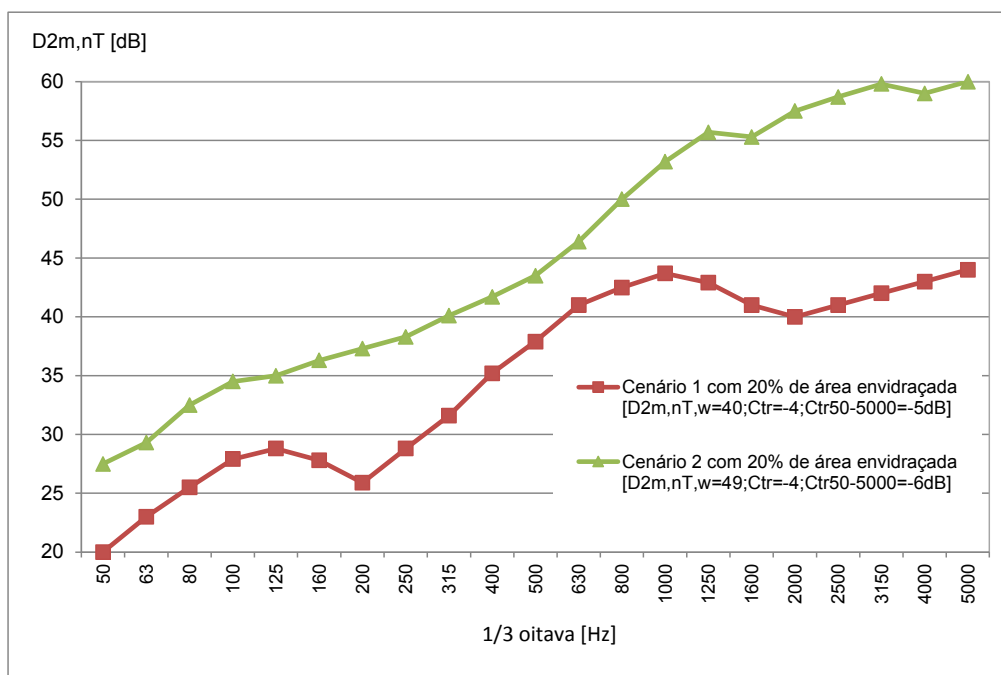


Figura 4 – Curvas de isolamento de fachada ($D_{2m,nT}$) para os dois tipos de cenários avaliados, com 20% de área envidraçada em cada um deles.

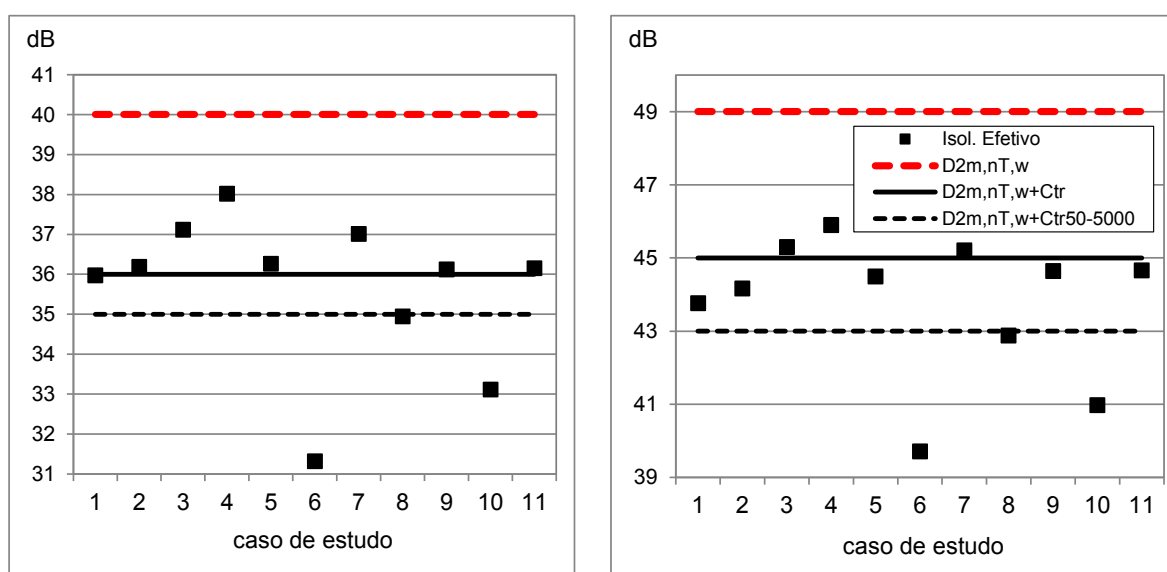


Figura 5 – Resultados previstos do isolamento efetivo para os 2 cenários de fachada (com 20% de área envidraçada), sujeitos ao ruído no exterior dos 11 casos de estudo da Figura 1, e comparação com os índices de isolamento $D_{2m,nT,w}$, $D_{2m,nT,w} + Ctr$ e $D_{2m,nT,w} + Ctr_{50-5000}$.

Da análise dos resultados da Tabela 1 e da Figura 5 é possível verificar que para zonas expostas ao ruído de tráfego rodoviário, e mesmo para pequenas áreas envidraçadas, faz sentido considerar como requisito de isolamento $D_{2m,nT,w} + Ctr$, em vez de $D_{2m,nT,w}$. Para os 11 casos de estudo tão diferentes e para os dois exemplos de vãos distintos, verifica-se que para a generalidade dos casos o isolamento efetivo se aproxima do índice $D_{2m,nT,w} + Ctr$, ficando sempre muito abaixo do índice $D_{2m,nT,w}$. Pontualmente, nos casos de exposições ao ruído com componente de muito baixa frequência, como acontece nos casos de estudo 6 e 10, até a consideração do termo $D_{2m,nT,w} + Ctr_{50-5000}$ pode ser insuficiente.

4 Avaliação do isolamento entre compartimentos interiores

À semelhança com a situação de isolamento de fachada, apresentada na secção anterior, são de seguida apresentados vários conjuntos de resultados com vista a averiguar se para o caso do isolamento entre compartimentos interiores faz também sentido considerar os termos de adaptação espectral, e quais as situações normalmente mais desfavoráveis.

Na Figura 6 são apresentadas curvas de isolamento a sons aéreos entre compartimentos (D_{nT}), resultantes de ensaios *in situ* [2,6] realizados em diferentes edifícios, para dois tipos de separações distintas: a) para 5 paredes duplas em alvenaria de tijolo perfurado, com massas entre cerca de 250 e 320 kg/m²; e b) para 5 paredes em gesso cartonado (4 de estrutura dupla e 1 de estrutura simples), com massas entre 45 e 65 kg/m². São também apresentadas, a tracejado, a tendência linear correspondente à média das cinco curvas de isolamento de cada conjunto de resultados.

Da análise dos dois conjuntos de resultados é possível verificar que, como seria de esperar, a separação através de paredes pesadas conduz normalmente a curvas de isolamento com menor variação em frequência, quando comparadas com as obtidas para divisórias leves. Nas paredes pesadas a inclinação média da tendência linear fica ligeiramente acima de 3 dB/oitava, enquanto que nas divisórias aligeiradas essa inclinação é da ordem de 6 dB/oitava. Acrescente-se que os resultados apresentados

foram obtidos *in situ*, para situações onde as transmissões marginais e indiretas não são desprezáveis. Em laboratório, numa avaliação do índice R_w , a inclinação das linhas de tendência seria provavelmente maior, para ambos os grupos de paredes de separação.

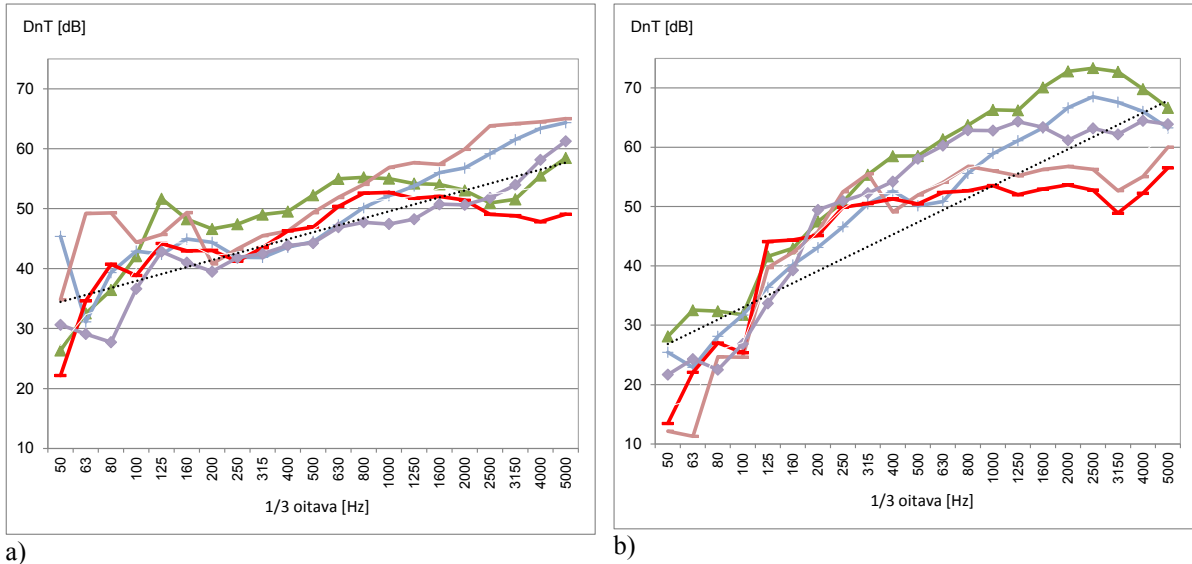


Figura 6 – Curvas de isolamento a sons aéreos entre compartimentos (D_{nT}) e respetiva linha de tendência: a) para 5 paredes duplas em alvenaria de tijolo; b) para 5 paredes em gesso cartonado.

Na Figura 7 são apresentados os índices globais de isolamento obtidos para os dois conjuntos de separações anteriormente referidos, nomeadamente os índices $D_{nT,w}$, $D_{nT,w} + C$, $D_{nT,w} + C_{50-5000}$, $D_{nT,w} + Ctr$ e $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000}$.

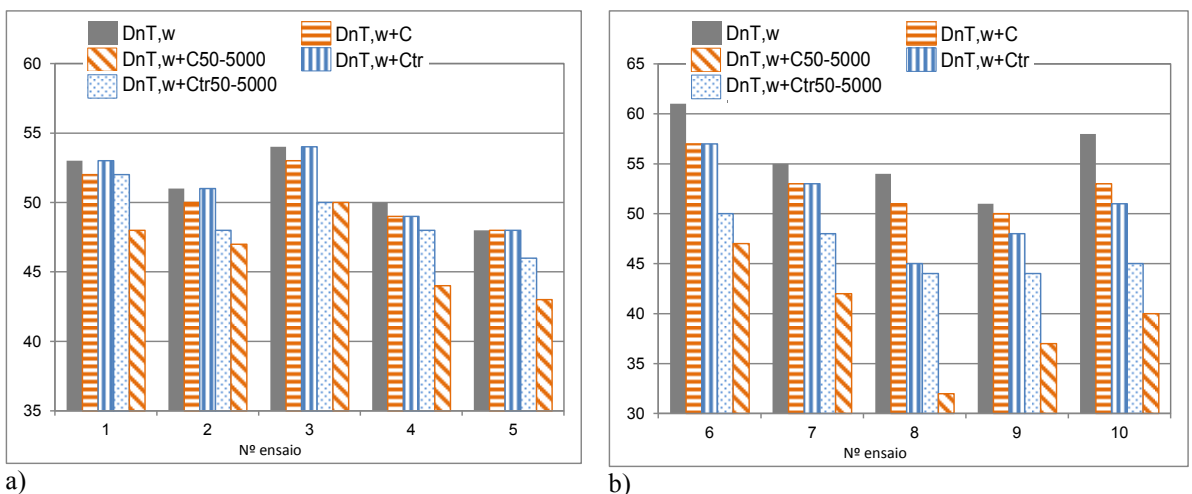


Figura 7 – Índices de isolamento a sons aéreos obtidos *in situ*, incluindo termos de adaptação, entre compartimentos para: a) 5 paredes duplas em alvenaria de tijolo; e b) 5 paredes em gesso cartonado.

Da análise dos resultados da Figura 7a, referente às separações pesadas, verifica-se que os termos de adaptação espectral C e $C_{50-5000}$ se situam entre 0 e -1 dB, que o termo Ctr se situa entre -1 e -4 dB e que o termo $Ctr_{50-5000}$ se situa entre -4 e -6 dB. No caso das separações com divisórias leves (Figura 7b), apesar dos valores de $D_{nT,w}$ serem tendencialmente mais favoráveis que os das paredes pesadas, os termos de adaptação adquirem valores negativos muito mais acentuados, em particular no caso do termo $Ctr_{50-5000}$. Para os 5 casos de estudo, o termo C situa-se entre -1 e -5 dB, o termo $C_{50-5000}$ entre -2 e -7 dB, o termo Ctr entre -7 e -13 dB e o termo $Ctr_{50-5000}$ entre -13 a -22 dB(A). Por exemplo, no caso da divisória 8, onde se obteve um índice $D_{nT,w}$ de 54 dB, o valor de $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000}$ é apenas de 32 dB.

Cruzando este tipo de resultados com o tipo de espectros de ruído indicados nas Figuras 2 e 3 é possível verificar que a utilização de divisórias leves, em situações onde o espectro de ruído a isolar é rico sobretudo em médias e altas frequências, pode ser uma boa solução, uma vez que neste caso o isolamento global efetivo se aproxima do índice $D_{nT,w}$ ou eventualmente de $D_{nT,w} + C$. Mas para situações onde o espectro de ruído no espaço emissor é rico em baixas frequências, o recurso a separações leves é fortemente penalizador.

Por exemplo, se considerarmos num espaço emissor um espectro médio de ruído igual indicado na Figura 2 para a “casa das máquinas em hotel” e se considerarmos dois cenários de separação, o correspondente à separação 3 (parede pesada) e à separação 8 (divisória leve), em que o índice $D_{nT,w}$ obtido é o mesmo (54 dB), as contribuições para os valores de L_{Aeq} estimados para o compartimento recetor adjacente são substancialmente diferentes. Se considerássemos, erradamente, que o valor de $L_{Aeq(recetor)} = L_{Aeq(emissor)} - D_{nT,w}$ (considerando que a reverberação do compartimento recetor não influencia o resultado), a contribuição para o valor estimado para L_{Aeq} seria próximo de 30 dB(A), para ambos os tipos de separações. Considerando uma análise em frequência, com $L_{A(recetor)} = L_{A(emissor)} - D_{nT}$, o espectro previsto no compartimento emissor conduz a uma contribuição no valor de L_{Aeq} (efetivo) próximo de 35 dB(A), para a separação pesada, e de 43 dB(A), para a separação leve, neste caso 13 dB(A) acima do estimado considerando apenas o índice $D_{nT,w}$. Se considerássemos que o valor de $L_{Aeq(recetor)} = L_{Aeq(emissor)} - (D_{nT,w} + Ctr)$, a contribuição no valor estimado para L_{Aeq} seria próximo de 34 dB(A), para a separação pesada, e de 40 dB(A) para a separação leve. Ou seja, mesmo considerando o termo Ctr o resultado está do lado da insegurança, em particular nas separações leves.

Se aplicássemos o mesmo tipo de raciocínio mas para um espectro na emissão semelhante ao indicado na Figura 2 para o “interior de habitação”, aí o isolamento efetivo já se aproximaria muito do valor de $D_{nT,w}$. Neste caso, o valor de $L_{Aeq(recetor)} = L_{Aeq(emissor)} - D_{nT,w} = 14dB(A)$, enquanto que numa análise em frequência a contribuição no valor de L_{Aeq} no espaço recetor seria próximo de 15 dB(A), para a separação pesada, e de 16 dB(A), para a separação leve.

5 Considerações finais

Apesar da limitada abrangência deste estudo, ficou demonstrado ao longo deste trabalho que efetivamente, para muitas situações, faz sentido considerar os termos de adaptação espectral nos requisitos de isolamento, em vez de considerar apenas requisitos baseados nos índices $D_{2m,nT,w}$, no caso das fachadas, ou no $D_{nT,w}$, no caso da separação no interior dos edifícios, em especial quando o ruído dominante na emissão é rico em baixas e médias frequências.

No caso das fachadas, e quando a fonte de ruído predominante no exterior é rica em baixas frequências, como acontece de uma forma geral com o ruído de tráfego rodoviário (mas em geral também com o tráfego ferroviário), confirma-se que deverá considerar-se como requisito de isolamento de fachada $D_{2m,nT,w} + Ctr$, como já está previsto na regulamentação Portuguesa, para situações com área translúcida superior a 60 % do elemento de fachada em análise. Da análise dos resultados apresentados, verifica-se ainda que mesmo para áreas translúcidas muito inferiores também se justifica considerar como requisito $D_{2m,nT,w} + Ctr$.

Na separação entre compartimentos interiores, ainda que a dispersão de resultados seja elevada, quer resultantes do tipo de espectro de ruído, quer resultantes do próprio desempenho dos elementos de separação, também se afigura pertinente a adoção dos termos de adaptação espectral, por exemplo, o Ctr , em especial quando o ruído dominante na emissão é rico em baixas e médias frequências. Em edifícios de habitação, nomeadamente na separação entre habitações ou entre zonas de circulação e as habitações, o requisito relativo ao índice $D_{nT,w}$ afigura-se adequado, mas para a separação entre espaços destinados a comércio/serviços, garagens ou áreas técnicas e habitação seria mais ajustado considerar $D_{nT,w} + Ctr$. Em relação a espaços emissores destinados a diversão noturna (com música) seria mais ajustado considerar $D_{nT,w} + Ctr_{50-5000}$.

Naturalmente que o ideal, quer para fachadas, quer para a separação interior, seria efetuar a avaliação através de uma análise detalhada por bandas de frequência, mas isso obrigaria a conhecer com rigor o espectro de ruído na emissão, que no caso de situações de projeto geralmente não é possível.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a Unidade de I&D Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado Sistemas de Produção Avançada e Inteligentes (ARISE) sob a referência LA/P/0112/2020.

Referências

- [1] Portugal. Leis, decretos, *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)*. Decreto-Lei nº 129/2002 de 11/05, com a nova redação dada pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 9/06.
- [2] ISO 717-1 (2020), *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*, Technical Report, ISO, Geneva, Switzerland, 2020.
- [3] António, J.; Mateus, D. (2015). *Influence of low frequency bands on airborne and impact sound insulation single numbers for typical Portuguese buildings*. Applied Acoustics, Vol. 89, 141-151.
- [4] Hongisto, V.; Keränen, J.; Kylliäinen, M.; Mahn, J. (2012). *Reproducibility of the Present and the Proposed Single-Number Quantities of Airborne Sound Insulation*, Acta Acustica United with Acustica Vol. 98, 811 – 819
- [5] ISO 16283-1 (2014), *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*, Technical Report; ISO: Geneva, Switzerland.
- [6] ISO 16283-3 (2016), *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation*, Technical Report; ISO: Geneva, Switzerland.