

# Avaliação acústica de edifícios escolares da cidade de Viseu

Pinho P.G.<sup>(a)</sup>, Pinto M.<sup>(a)</sup>, Almeida R.M.S.F.<sup>(a)</sup>, Lopes S.M.<sup>(a)</sup>, Lemos L.T.<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup>Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

ppaulo@estv.ipv.pt

Área Científica - CT 7

## Resumo

O presente trabalho insere-se no projeto QUAMIS - Qualidade do ambiente interior em salas de aula. O projeto QUAMIS tem como objetivo principal contribuir para a melhoria do ambiente interior em salas de aula, com base no conhecimento extensivo, sustentado e integrado das condições existentes.

O presente trabalho apresenta resultados da avaliação acústica de oito edifícios escolares situados em zonas urbanas e periurbanas da cidade de Viseu.

Foram avaliadas as condições acústicas dos edifícios escolares através da determinação do tempo de reverberação das salas de aulas, do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas e entre corredores e salas, do índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre salas e do índice de isolamento de fachada em situação normal e em condições de ventilação natural (bandeiras ou janelas em modo basculante).

Verificou-se que apenas dois edifícios escolares estudados cumprem, para os ensaios efetuados, os requisitos legais estabelecidos em Portugal. Os restantes seis edifícios escolares revelaram aspetos construtivos deficientes relativamente aos requisitos acústicos de edifícios escolares comprometendo a qualidade do ensino ministrado.

**Palavras-chave:** qualidade do ambiente interior; salas de aula; acústica de edifícios escolares

## 1 Introdução

É essencial que o projeto acústico e o projeto AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) sejam cumpridos e que garantam boas características acústicas para os edifícios escolares ou outros espaços de aprendizagem onde a comunicação oral seja uma parte importante do processo de aprendizagem. Ruído de fundo excessivo ou reverberação excessiva interferem com a comunicação oral e representam um impedimento para a aprendizagem. A interferência negativa na aprendizagem provocada pelas más condições acústicas das salas de aula tem sido constatada em vários estudos (e.g. [1], [2], [3]) sendo que o principal efeito do ruído nas salas de aula é a redução da inteligibilidade da palavra e os principais afetados são os alunos mais novos, os alunos com deficiente capacidade auditiva, problemas de linguagem, défice de atenção ou problemas de aprendizagem.

O presente trabalho apresenta resultados da avaliação das condições acústicas de oito edifícios escolares situados em zonas urbanas e periurbanas da cidade, designadamente: o tempo de reverberação das salas de aulas; o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas e entre corredores e salas; o índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre salas e o índice de isolamento de fachada em situação normal e em condições de ventilação natural (bandeiras ou janelas em modo basculante). Esta avaliação insere-se num projeto mais amplo que está ser realizado pela Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viseu- ESTGV/IPV "Projeto QUAMIS - Qualidade do ambiente interior em salas de aula". O QUAMIS tem como objetivo principal contribuir para a melhoria do ambiente interior em salas de aula, com base no conhecimento extensivo, sustentado e integrado das condições existentes.

## 2 Requisitos acústicos para os edifícios escolares

Com o objetivo de melhorar a qualidade do ensino foram introduzidos requisitos acústicos para os edifícios escolares na generalidade dos países (e.g. [4], [5]). Em Portugal os requisitos acústicos para os edifícios escolares atualmente estão definidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) (Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de maio [6] alterado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de junho [7] que republica o RRAE).

No âmbito do corrente estudo salientam-se os seguintes requisitos acústicos estabelecidos no artigo 7.º do RRAE, *vide* Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos acústicos para edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura de acordo com o RRAE [6], [7].

Parâmetro	Valor limite <sup>4</sup> RRAE
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os compartimentos interiores <sup>1</sup> - $D_{2m,nT,w}$	$\geq 33$ (dB), em zonas mistas <sup>2</sup> $\geq 28$ (dB), em zonas sensíveis
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas de aula - $D_{nT,w}$	$\geq 45$ (dB)
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre corredores de grande circulação e salas de aula <sup>3</sup> - $D_{nT,w}$	$\geq 30$ (dB)
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre salas - $L'_{nT,w}$	$\leq 65$ (dB)
Tempo de reverberação em salas de aula - T	$\leq 0,15V^{1/3}$ (s) (V - volume do compartimento)

<sup>1</sup>Quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice  $D_{2m,nT,w}$  o termo de adaptação apropriado, C ou Ctr, conforme o tipo de ruído dominante na emissão.

<sup>2</sup>Ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (RGR) (Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro [8]).

<sup>3</sup>Considerando a existência de porta de comunicação entre compartimentos.

<sup>4</sup>De acordo com o RRAE para comparação de avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I. Assim aos valores dos índices obtidos é somado o fator de incerteza e só posteriormente se compara com o valor limite regulamentar. O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m,nT,w}$  ou  $D_{nT,w}$ , deve ser acrescido do fator I no valor de 3 dB; o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , deve ser diminuído do fator I no valor de 3 dB; o valor obtido para o tempo de reverberação, T, deve ser diminuído do fator I no valor de 25 % do limite regulamentar.

### 3 Caracterização dos edifícios escolares estudados

A caracterização dos edifícios escolares estudados encontra-se apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização dos edifícios escolares estudados.

Código da Escola	Nível de ensino	Ano de construção	n.º de alunos (2012/2013)	Distância aproximada de uma rodovia de tráfego elevado à fachada mais exposta (m)
A	Superior	1993	2300	100
B	2.º ciclo	1991	700	50
C	Pré primária e 1.º ciclo	2004	90/290	140
D	2.º ciclo	1968	950	200
E	1.º e 2.º ciclo	1996	177/249	80
F	1.º ciclo	1958	166	240
G	Pré primária e 1.º ciclo	2011	125/216	500
H	Pré primária e 1.º ciclo	2011	85/160	1100

### 4 Metodologia

Como referido anteriormente, o presente trabalho insere-se no QUAMIS. Para a primeira campanha do QUAMIS foram selecionados oito edifícios escolares situados em zonas urbanas e periurbanas da cidade.

Em cada edifício escolar foi efetuada uma avaliação acústica de uma sala de aula típica, ou seja a sala de aula que representa o maior número de salas de aula existentes em cada edifício escolar. Em cada sala de aula avaliada foi determinado o tempo de reverberação, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas e o índice de isolamento de fachada em situação normal e em condições de ventilação natural (bandeiras ou janelas em modo basculante).

Para além desses parâmetros, nos 3 edifícios escolares, A (ensino superior), B (2.º ciclo) e D (2.º ciclo), foi testado o isolamento entre o corredor de grande circulação e a sala de aula. A determinação do índice de isolamento a sons de percussão entre salas foi realizada em 5 dos 8 edifícios escolares estudados.

Os ensaios acústicos foram realizados pelo laboratório acreditado MonitarLAB seguindo as normas: NP EN ISO 140-5 [9]; EN ISO 717-1 [10]; EN ISO 3382-2:2008 [11] (para determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos de fachada e de elementos de fachada); NP EN ISO 140-4 [12]; EN ISO 717-1[10] (para determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos entre dois compartimentos); NP EN ISO 140-7 [13]; EN ISO 717-2 [14] (para

determinação do índice de isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão); EN ISO 3382-2:2008 [11] (para determinação do tempo de reverberação).

## 5 Resultados

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de todos os ensaios efetuados.

Tabela 3: Resultados dos ensaios acústicos efetuados.

Código da Escola	T (s) (sala de aula)	$D_{nT,w}$ (dB) (emissor/recetor)	$D_{2m,nT,w}$ (dB) (sala de aula)	$D_{2m,nT,w}$ (dB) (Sala de aula) (com abertura para ventilação)	$L'_{nT,w}$ (dB) (entre salas de aulas adjacentes)	$D_{nT,w}$ (dB) (emissor/recetor)
A	1,8 (A1)	36 (A5/A1)	23 (A1)	13 (A1)	58 (A5/A1)	23 (corredor/A1)
B	1,7 (B5)	38 (B6/B5)	24 (B5)	20 (B5)	nd	32 (corredor/B5)
C	1,1 (C4)	49 (C5/C4)	30 (C4)	16 (C4)	60 (C5/C4)	nd
D	1,7 (D1)	40 (D5/D1)	25 (D1)	19 (D1)	nd	26 (corredor/D1)
E	0,8 (E5)	45 (E6/E5)	32 (E5)	22 (E5)	nd	nd
F	1,1 (F4)	47 (F2/F4)	24 (F4)	19 (F4)	50 (F2/F4)	nd
G	0,6 (G5)	47 (G6/G5)	39 (G5)	24 (G5)	40 (G6/G5)	nd
H	0,9 (H5)	39 (H6/H5) 44 (H7/H5)	28 (H8)	19 (H8)	62 (H6/H5) 37 (H7/H5)	nd

nd - não determinado

## 6 Análise de Resultados

### 6.1 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação, T, é por definição o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial [6].

O tempo de reverberação e a relação entre o sinal (voz do professor no caso em estudo) e o ruído de fundo (Signal-to-noise ratio (SNR)) são os parâmetros mais importantes para a inteligibilidade da palavra (e.g. [4], [15]). O tempo de reverberação adequado para uma sala de aula depende do SNR, do volume da sala e dos auditores. Alunos mais jovens necessitam de tempo de reverberação menores para um mesmo SNR do que alunos mais velhos, sendo as crianças de idade inferior a 13 anos particularmente suscetíveis a este parâmetro [3]. Não existe, no entanto, um consenso acerca do tempo de reverberação máximo e do SNR necessário para uma sala de aula, sendo as exigências variáveis de país para país [4].

Em Portugal, o valor limite definido no RRAE para o tempo de reverberação nas salas de aula é dependente do volume da sala. Na Tabela 4 são apresentados os tempos de reverberação medidos nas oito salas estudadas e os valores limite definidos no RRAE [6] [7]. Salienta-se que de, acordo com o RRAE [6] [7], nas avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I, associado à determinação das grandezas em causa.

Como se pode verificar apenas em 3 escolas se verifica o cumprimento dos requisitos acústicos, sendo que em 3 escolas o tempo de reverberação medido é aproximadamente o dobro do valor limite definido no RRAE [6] [7]. Salienta-se que apenas os edifícios C, G e H foram construídos após publicação do RRAE [6].

Para além das salas de aula estudadas pertencentes aos edifícios mais recentes, edifícios designados por G e H, também a sala de aula pertencente ao edifício E cumpre os RRAE atuais relativos ao tempo de reverberação. Na Figura 1 são apresentadas fotografias evidenciando o tratamento acústico das salas E5, G5 e H5.

Tabela 4 - Tempos de reverberação medidos nas oito salas em estudo e os valores limite definidos no RRAE [6] [7].

Código da Escola/sala	Revestimentos com influência relevante na reverberação	Volume (m <sup>3</sup> )	Valor limite - RRAE $T \leq 0,15V^{1/3}$ (s)	l (s)	T (s) medido	T medido - l (s)	Observação
A1	Pavimento: ladrilho de cortiça	160	0,81	0,20	1,8	1,6	Superior ao valor limite - RRAE
B5	Pavimento: cerâmico	112	0,72	0,18	1,7	1,5	Superior ao valor limite - RRAE
C4	Pavimento: linóleo	151	0,80	0,20	1,1	0,9	Superior ao valor limite - RRAE
D1	Pavimento: madeira	168	0,83	0,21	1,7	1,5	Superior ao valor limite - RRAE
E5	Pavimento: linóleo Teto: aglomerado de cortiça	164	0,82	0,21	0,8	0,6	Inferior ao valor limite - RRAE
F4	Pavimento: madeira	152	0,80	0,20	1,1	0,9	Superior ao valor limite - RRAE
G5	Pavimento: linóleo Teto: gesso cartonado com absorção	173	0,84	0,21	0,6	0,4	Inferior ao valor limite - RRAE
H5	Pavimento: linóleo Teto (parcial): gesso cartonado com perfuração	154	0,80	0,20	0,9	0,7	Inferior ao valor limite - RRAE



Figura 1 - Fotografias de pormenores construtivos das salas de aula E5, G5 e H5

## 6.2 Isolamento de fachada

O ruído de fundo no interior de uma sala de aula depende do ruído de vizinhança resultante de fontes internas à escola (salas contíguas, corredores e outros), bem como do ruído resultante de fontes externas às escolas. Para uma boa inteligibilidade da palavra, o ruído de fundo não deve ser superior a 35 dB(A) [2], [5].

Para minimizar o ruído de vizinhança resultante de fontes externas às escolas, existem dois aspetos fundamentais a considerar: em primeiro lugar, a localização do edifício escolar relativamente às fontes de ruído exterior (e.g. rodovias, ferrovias, aeroportos, indústrias) e em segundo lugar, o isolamento de fachada dos edifícios escolares.

As escolas são consideradas recetores sensíveis e como tal, de acordo com o RGR [9], devem ficar localizadas em zonas sensíveis. No entanto, nem todas as escolas estão localizadas em zonas sensíveis e assim sendo o RRAE define diferentes valores limites em função da localização da escola, *vide* Tabela 1.

No presente estudo, para além da determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e as salas de aula ( $D_{2m,nT,w}$ ) de acordo com a normalização, ou seja com os elementos de fachada fechados (janelas, portas), foi também efetuada a determinação do  $D_{2m,nT,w}$  com ventilação (abertura parcial das janelas e/ou bandeiras). A razão para a avaliação do  $D_{2m,nT,w}$  com ventilação foi o facto de no âmbito do QUAMIS se ter verificado uma deficiente ventilação nas salas de aula e consequente má qualidade do ar interior verificada pela determinação de concentrações de  $CO_2$  muito elevadas, *vide* Almeida R.M.S.F. *et al.*, 2013 [16]. Assim, e pelo facto de a ventilação dos edifícios escolares (com exceção das escolas G e H) terem apenas ventilação natural, é necessário ventilar a sala de aula por abertura de janelas e/ou bandeiras o que implica a redução do isolamento sonoro da fachada. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 5. O modo de ventilação selecionada foi a abertura de 2 janelas e/ou bandeiras basculantes nos extremos da fachada da sala de aula.

Tendo em consideração que para a verificação do cumprimento do RRAE [6] [7], o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m,nT,w}$ , deve ser acrescido do fator  $I$  no valor de 3 dB e, considerando o valor limite para zonas sensíveis, verifica-se o cumprimento para os edifícios escolares C, D, E, G e H. Salienta-se que a definição de zonas ainda não foi publicada pela Câmara Municipal de Viseu e como tal não é possível afirmar que os edifícios escolares estudados se encontram em futuras zonas definidas como zonas sensíveis em termos de ruído.

Ainda, de acordo com o RRAE, quando a área translúcida é superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice  $D_{2m,nT,w}$  o termo de adaptação apropriado,  $C$  ou  $C_{tr}$ , conforme o tipo de ruído dominante na emissão. Apenas para o edifício escolar F se verifica esta situação e o valor de  $C_{tr}$  é -1 resultando no valor  $D_{2m,nT,w}$  de 23 dB. Verifica-se, assim, o não cumprimento do índice de isolamento de fachada para os edifícios escolares A, B e F.

A perda de eficácia do isolamento de fachada com a abertura das janelas e/ou bandeiras para ventilação é variável de sala de aula para sala de aula pois o tipo de janelas/bandeiras existentes em cada sala de aula difere consideravelmente. Na Figura 2 são apresentadas fotografias evidenciando os elementos de fachada.

Tendo em consideração que os edifícios escolares, avaliados no âmbito do presente estudo, durante o período diurno, em horário escolar, encontram-se expostos a níveis sonoros contínuos,  $L_{Aeq}$ , próximos de 55 dB(A) na fachada mais exposta, com exceção da escola E em que o  $L_{Aeq}$  é próximo dos 62 dB(A), (resultados publicados em Pinho *et al.*, 2013 [17]) a abertura de janelas para ventilação das salas de aula, ao comprometer o isolamento de fachada, elevará o ruído de fundo proveniente de fontes exteriores para níveis sonoros previsivelmente acima dos 35 dB recomendados [2], [5]. Na próxima campanha do QUAMIS serão efetuadas medições de ruído de fundo proveniente das fontes exteriores com aberturas para ventilação nas salas de aula.

Tabela 5 - Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea determinados entre o exterior dos edifícios escolares e as salas de aula.

Código da Escola/sala	Piso	Elementos de fachada	Área da fachada / % Área translúcida da fachada	D <sub>2m,nT,w</sub> (dB)	D <sub>2m,nT,w</sub> (dB) (com abertura para ventilação)	
A1	0	Paredes*: duplas com isolamento Caixilharia: de alumínio com folhas oscilobatientes e bandeiras basculantes; vidro duplo (4+10+6 mm)	29(m <sup>2</sup> )/54%	23	13	4 bandeiras basculante abertas
B5	1	Paredes*: duplas sem isolamento Caixilharia: de alumínio com folhas de correr e bandeiras basculantes; vidro simples (4 mm)	22(m <sup>2</sup> )/38%	24	20	2 bandeiras basculante abertas
C4	1	Paredes*: duplas com isolamento Caixilharia: de alumínio com folhas basculantes; vidro duplo (4+10+6 mm)	25(m <sup>2</sup> )/50%	30	16	2 bandeiras basculante abertas
D1	0	Paredes*: duplas com isolamento Caixilharia: de madeira com folhas de abrir e bandeiras basculantes e fixas; vidro simples	25(m <sup>2</sup> )/54%	25	19	2 bandeiras basculante abertas
E5	1	Paredes*: duplas com isolamento Caixilharia: de alumínio com folhas de correr e bandeiras basculantes; vidro duplo (4+10+6 mm)	24(m <sup>2</sup> )/33%	32	22	2 bandeiras basculante abertas
F4	1	Paredes*: simples Caixilharia: de alumínio com folhas de correr e bandeiras fixas; vidro simples (4 mm)	25(m <sup>2</sup> )/61%	24	19	2 bandeiras basculante abertas
G5	1	Paredes*: simples com isolamento exterior Caixilharia: de alumínio com folhas oscilobatientes ou basculantes; vidro duplo (4+10+6 mm)	26(m <sup>2</sup> )/58%	39	24	2 janelas basculante abertas
H5	1	Paredes*: simples com isolamento exterior Caixilharia: de alumínio com folhas de abrir e basculantes; vidro duplo (6+10+6 mm)	26(m <sup>2</sup> )/45%	28	19	2 janelas basculante abertas

\*uma vez que não se teve acesso aos projetos, a constituição das paredes foi admitida como sendo igual à tradição construtiva da respetiva época.



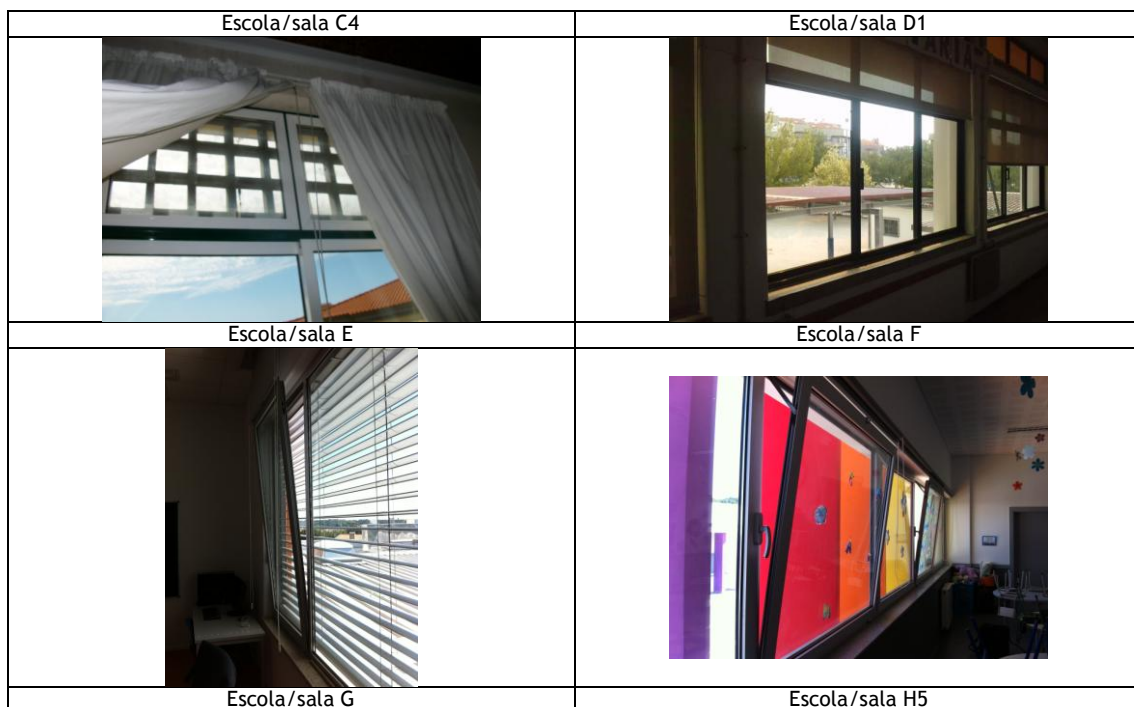


Figura 2: Fotografias evidenciando as janelas e bandeiras nas salas de aula estudadas.

### 6.3 Isolamento a sons aéreos e de percussão

Tal como anteriormente referido, o ruído de fundo no interior de uma sala de aula depende do ruído resultante de fontes externas às escolas, bem como do ruído de vizinhança resultante de fontes internas à escola (salas contíguas, corredores e outros).

O ruído proveniente das fontes de ruído internas da escola depende das fontes de ruído existentes (salas contíguas, corredores, equipamentos mecânicos, etc.) e das características acústicas do edifício, designadamente: do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre salas de aula e entre corredores de grande circulação e salas de aula e ainda do isolamento sonoro a sons de percussão entre salas e entre corredores de grande circulação e salas de aula.

De acordo como RRAE [6] [7], para comparação de avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , deve ser acrescido do fator I no valor de 3 dB e o valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , deve ser diminuído do fator I no valor de 3 dB.

Os resultados obtidos, corrigidos do fator I, são apresentados na Tabela 6. Observa-se que o índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre salas, para todos os edifícios escolares ensaiados, cumpre o RRAE. Relativamente ao isolamento a sons aéreos entre salas observa-se que 50% dos edifícios escolares não cumprem o RRAE. O edifício escolar H apresenta uma separação entre salas de dois tipos diferentes e como tal foram testadas as diferentes soluções, verificando-se que uma das soluções cumpre mas a outra não. A solução que cumpre envolve a existência de um compartimento, separado por portas de correr, contendo armários de arrumação e lavatórios a separar as salas de aula, *vide* fotografias apresentadas na Figura 3.

Nos 3 edifícios escolares, A (ensino superior), B (2.º ciclo) e D (2.º ciclo) foi testado o isolamento entre o corredor de grande circulação e sala de aula pois enquanto decorrem aulas ocorre circulação nos corredores. Como resultado verificou-se o não cumprimento para os edifícios escolares A e D.

Na escola A observaram-se os piores resultados para o isolamento a sons aéreos quer entre salas, onde se verifica uma deficiente inserção dos elementos de fachada, quer entre o corredor e a sala de aula onde a existência de 2 portas com bandeiras, grelhas de ventilação

nas portas e o sistema de ventilação mecânico comprometem o isolamento a sons aéreos, vide fotografias apresentadas na Figura 3.

Tabela 6: Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e percussão determinados

Código da Escola	$D_{nT,w} + I$ (dB) (emissor/recetor)	Elementos de separação	$L'_{nT,w} - I$ (dB) (entre salas de aulas adjacentes)	$D_{nT,w} + I$ (dB) (emissor/recetor)	Elementos de separação
A	39 (A5/A1)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado Pavimentos*: lajes maciças	55 (A5/A1)	26 (corredor/A1)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado. 2 portas, sem vedantes, com grelhas de ventilação e com bandeiras
B	41 (B6/B5)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado	nd	35 (corredor/B5)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado. 1 porta, sem vedantes, com bandeira com pequenas aberturas de ventilação
C	52 (C5/C4)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado Pavimentos*: lajes maciças	57 (C5/C4)	nd	
D	43 (D5/D1)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado	nd	29 (corredor/D1)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado. 1 porta sem vedantes. Três bandeiras interiores de lâminas orientáveis (abertas) de vidro
E	48 (E6/E5)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado	nd	nd	
F	50 (F2/F4)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado Pavimentos*: lajes pré-esforçadas aligeiradas	47 (F2/F4)	nd	
G	50 (G6/G5)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado Pavimentos*: lajes maciças	37 (G6/G5)	nd	
H	42 (H6/H5)	Existe compartimento de 2,5 m de comprimento, entre as salas, com divisórias em alvenaria de tijolo furado e portas de madeira de correr sem vedantes	59 (H6/H5)	nd	
H	47 (H7/H5)	Paredes*: alvenaria de tijolo furado Pavimentos*: lajes maciças	34 (H7/H5)	nd	

\*uma vez que não se teve acesso aos projetos, a constituição das paredes e pavimentos foi admitida como sendo igual à tradição construtiva da respetiva época

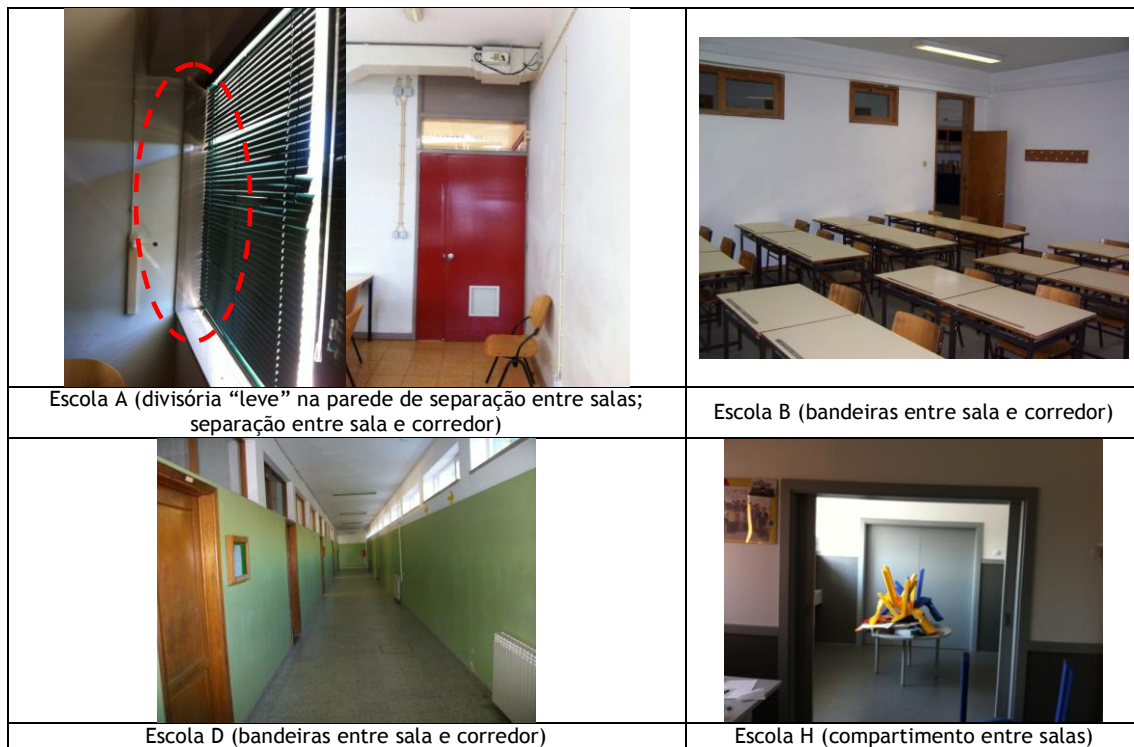


Figura 3: Fotografias evidenciando os elementos de separação entre salas de aula adjacentes e entre corredor e salas de aula.

Salienta-se que no âmbito do QUAMIS foram medidos níveis sonoros elevados no interior das salas de aula vazias, superiores a  $L_{Aeq}$  de 45 dB(A), 10 dB(A) acima do nível recomendado pela Organização Mundial de saúde [2], [5] provenientes de fontes de ruído interiores (corredores, salas de aula contíguas) (resultados publicados em Pinho *et al.*, 2013 [17]).

## 7 Conclusões

Apenas 2 edifícios escolares ensaiados, E (construído em 1996) e G (construído em 2011), cumprem, para os ensaios efetuados, os requisitos do RRAE [6] [7]. Os restantes 6 edifícios escolares revelaram aspetos construtivos deficientes relativamente aos requisitos acústicos de edifícios escolares comprometendo a qualidade do ensino ministrado.

Salienta-se que 5 edifícios escolares (A, B, C, D, F) possuem salas que não cumprem o tempo de reverberação, sendo que em 3 deles os tempos de reverberação nas salas de aula são muito elevados. Verificou-se, ainda deficiente isolamento a sons aéreos entre salas para 4 dos 8 edifícios ensaiados (A, B, D, H) e deficiente isolamento a sons aéreos entre corredor e salas para 2 dos 3 edifícios ensaiados (A, D). Também se verificou o não cumprimento do índice de isolamento de fachada para os edifícios escolares A, B e F.

O estudo demonstrou a necessidade de projetos acústicos de qualidade e da verificação *in situ* através da realização de ensaios acústicos para verificação dos RRAE para os edifícios escolares futuros e da necessidade de avaliação acústica dos edifícios escolares existentes e da implementação de medidas de correção que permitam melhorar a qualidade do ensino ministrado nestes edifícios.

## 8 Agradecimentos

O projeto QUAMIS é não financiado e decorre sob o auspício da ESTGV/IPV ([www.facebook.com/projetoquamis](http://www.facebook.com/projetoquamis) <http://quamis.estv.ipv.pt>). Os autores agradecem a toda a equipa do QUAMIS e aos seus parceiros, nomeadamente: Câmara Municipal de Viseu; Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDRC); Cligeral - Serviços Clínicos Especializados em Medicina Geral Lda.; Associação Empresarial da Região de Viseu (AIRV); Laboratório de Radioatividade Natural - Departamento de Ciências da Terra - Universidade de Coimbra; Laboratório de Física das Construções - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI); MONITAR, Lda; Centro Tecnológico de Cerâmica e do Vidro (CTCV); Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD).

## 9 Referências

- [1] Hetu, R., Truchon-Gagnon, C. and Bilodeau, S.A. Problems of noise in school settings: a review of literature and the results of an exploratory study, *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 14(3), 31-38. 1990.
- [2] Berglund, B., Lindvall, T., Schwela D. H. *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization. 1999.
- [3] Shield B.N., Dockrell J.E. Invited Review Paper; The Effects of Noise on Children at School: A Review. *Journal of Building Acoustics*, 10 (2), 97- 116. 2003.
- [4] Vallet M., Karabiber Z. Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings. *Noise Control Eng. J.* 50 (2), 58-62. 2002.
- [5] ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools
- [6] Decreto-Lei n.º 129/2002. D.R. SÉRIE I-A. 109 (2002-05-11) 4421-4428.
- [7] Decreto-Lei n.º 96/2008. D.R. SÉRIE I. 110 (2008-06-09) 3359-3372.
- [8] Decreto-Lei n.º 9/2007. D.R. Série I-A. 12 (2007-01-17) 389-398.
- [9] NP EN ISO 140-5:2009. Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada e de elementos de fachada.
- [10] NP EN ISO 717-1:2009. Acústica Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea.
- [11] EN ISO 3382-2:2008. Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- [12] NP EN ISO 140-4:2009. Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.
- [13] NP EN ISO 140-7:2008. Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição in situ do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão.
- [14] NP EN ISO 717-2:2009. Acústica Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção Parte 2: Isolamento sonoro a sons de percussão.
- [15] Nelson P.B., Soli D.S., Seltz M.A. *Classroom acoustics II: Acoustical barriers to learnings*. Acoustical Society of America. Melville, NY, 2002.
- [16] Almeida R.M.S.F., Pinho P.G., Lemos L.T. de. Environmental quality in classrooms: preliminary results in terms of air quality and thermal comfort conditions. *Proceedings of 5th International Congress of Energy and Environment Engineering and Management (CIEM)*, Lisboa, Portugal, Jul 17-19, 2013.
- [17] Pinho P.G., Almeida R.M.S.F., Lopes S.M., Lemos L.T. de. Indoor environmental quality in classrooms: preliminary results in terms of noise conditions. *Proceedings of 5th International Congress of Energy and Environment Engineering and Management (CIEM)*, Lisboa, Portugal, Jul 17-19, 2013.