



45º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
8º CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SMART CITIES AND
ENVIRONMENTAL ACOUSTICS

**A INFLUÊNCIA DA COLMATAÇÃO DE FRINCHAS EM PORTAS DE SALAS
DE AULAS**

PACS 43.55 Rg

António P. O. Carvalho; Natália C. M. Cunha
Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
Tel. +351.225081931
Fax +351.225081940
carvalho@fe.up.pt; nataliacunha91.nc@gmail.com

ABSTRACT

This work characterizes the sound insulation of classrooms' partition walls with doors to large corridors, evaluating the effect of filling the frame slits, on sound insulation. Objective acoustic parameters were evaluated before and after filling the existing gaps in the classroom doors with different materials/systems. Reverberation time, airborne sound insulation and background noise levels were measured. The goal was to quantify and assess which material or system had better results in sound insulation and resulted in greater reduction in sound levels inside the classroom.

RESUMO

Neste trabalho caracterizou-se o isolamento sonoro de paredes divisórias de salas de aula com portas para corredores de grande afluência, avaliando o efeito que a colmatação de frinchas existentes nas portas acarretava para o isolamento. Foi avaliado o tempo de reverberação, índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e o ruído de fundo, numa primeira fase na situação inicial (sem qualquer acréscimo de isolamento sonoro nas portas) e numa segunda fase com a colmatação das frinchas existentes nas portas com diferentes materiais. O objectivo foi avaliar qual dos materiais apresentava melhor índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea e maior diminuição dos níveis de pressão sonora no interior da sala.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas que se pode verificar na concepção de salas de aula é o mau isolamento sonoro de paredes divisórias com portas. A existência de espaços de ar, designadamente frinchas, entre a parede e a porta, contribui significativamente para uma diminuição do isolamento sonoro do conjunto e, conseqüentemente para um aumento do ruído no interior das salas. O objecto de estudo é a sala de aula B024 da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para a caracterizar acusticamente recorrendo a parâmetros objectivos, avaliando o efeito benéfico da colmatação de frinchas existentes em portas com diferentes sistemas e materiais [1].

2. TIPOS DE COLMATAÇÃO DE FRINCHAS EM PORTAS

2.1. Frinchas laterais e superiores

Os sistemas e materiais utilizados para colmatar frinchas laterais e superiores de portas, variam em termos de constituição, marca, espessura, largura, comprimento e custos (Quadro 1). Quanto ao modo de aplicação usam-se materiais adesivos e são aplicados na parte fixa do caixilho formando um vedante (Figura 1).



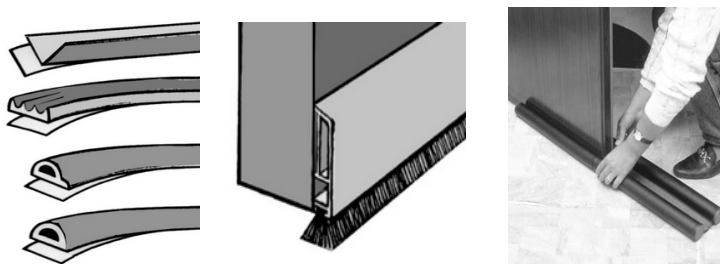
Figura 1 - Modo de aplicação do material isolante nas frinchas existentes no aro da porta.

Quadro 1 - Materiais (adesivos) que podem ser aplicados em frinchas laterais e superiores de portas.

Material	Marca/Modelo	Largura (mm)	Espessura máx. da frincha (mm)	Custo/m linear (€)
PVC	PP	12	12	2,19
	PP	18	18	2,59
	PP	-	9	0,19
	GPI	12	-	1,45
	Tesa MOLL	9	5	1,21
Borracha	AXTON	-	3	0,82
	AXTON	-	4	0,63
	AXTON	-	4,5	0,75
	AXTON	-	5	1,00
	AXTON	-	7	0,92
	Tesa MOLL	20	-	2,00
	Tesa MOLL	9	3,5	1,03
	Tesa MOLL	9	5	1,12
	Tesa MOLL	20	5	2,00
	Tesa MOLL	9	7	3,00
Silicone	BRESME	-	7	1,83
	Ceys	7	7	1,92
	Tesa MOLL	9	3,5	1,03
Polipropileno	Tesa MOLL	-	4	1,40

2.2. Frinchas inferiores

Os materiais utilizados para colmatar frinchas inferiores de portas também variam em termos de constituição, marca, espessura, largura, comprimento, modo de aplicação e custos (Quadro 2). Quanto ao modo de aplicação usam-se materiais adesivos, aparafusados ou de encaixe (Figura 2).



Material adesivo Material aparafusado Material de encaixe

Figura 2 - Modo de aplicação do material isolante na frincha inferior da porta.

Quadro 2 - Alguns materiais que se podem aplicar em frinchas inferiores de portas.

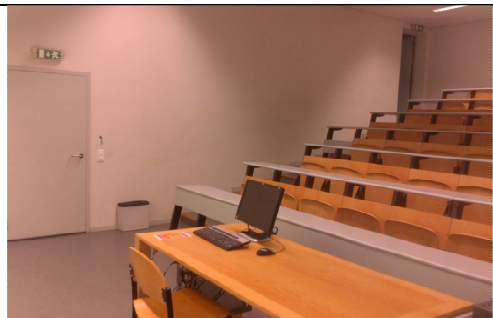
Tipo de material	Marca/ Modelo	Largura (mm)	Espessura máx. da frincha (mm)	Modo de aplicação	Custo/m linear (€)
PVC	<i>BRESME</i>	-	-	Adesivo	2,99
	<i>AXTON</i>	-	12		0,45
	<i>Tesa MOLL (duplo)</i>	25	22	Encaixe	1,37
	<i>ADEO (duplo)</i>	-	22		5,19
	<i>Tesa MOLL</i>	38	20	Adesivo	3,29
	<i>Tesa MOLL (duplo)</i>	95	25		12,50
Borracha	<i>GPI</i>	30	8	Adesivo	0,48
	<i>BRESME</i>	-	-		5,29
	<i>GPI (Duplo)</i>	-	12	Encaixe	0,73
	<i>GPI (Duplo)</i>	-	20		1,11
	<i>Tesa MOLL</i>	38	20	Adesivo	4,20
	<i>Tesa MOLL</i>	-	15		12,95
Escova	<i>BRESME</i>	-	-	Aparafusar	2,20
	<i>AXTON</i>	-	14		0,54
	<i>BRESME</i>	-	-	Adesivo	5,29
	<i>Tesa MOLL</i>	37	12		10,99
	<i>Tesa MOLL</i>	43	15		12,99
	<i>Tesa MOLL</i>	40	15	Encaixe	18,99
<i>GPI</i>	-	13	Adesivo	1,67	
Rolo de tecido	<i>Tesa MOLL</i>	-	-	Encaixe	6,08

3. ENSAIOS

3.1. A sala

A caracterização acústica da situação foi feita através de ensaios acústicos realizados na sala B024 da FEUP (Quadro 3), para avaliar o Nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo, (LAeq rf); Tempo de reverberação (TR) e Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea (DnT,w).

Quadro 3 - Descrição da sala B024 utilizada como caso de estudo da FEUP.

Comprimento (m)	8,96	
Largura (m)	6,40	
Altura média (m)	2,93	
Área (m ²)	57	
Volume (m ³)	167	
Lotação (unidades)	60	

3.2. Ruído de fundo

Para determinar o isolamento sonoro bruto (D) entre o exterior e o interior da sala, comparou-se os valores médios do ruído de fundo (L_{eq}), medidos no exterior e interior (Quadro 4).

Pelo Quadro 4 verifica-se que na situação inicial existe uma diminuição no valor do ruído de fundo, do exterior para o interior da sala, de 17 dB e 22 dB(A), o que é um valor baixo face ao elevado nível sonoro no grande corredor contíguo.

Os valores obtidos para os níveis de pressão sonora global no interior da sala em situação de ruído de fundo em período de aulas (51 dB e 42 dBA) são elevados e conduzirão a um aumento da intensidade da voz por parte do professor para compensar essa desvantagem, causando assim maior desgaste físico e psicológico e a desatenção e alheamento por parte dos alunos.

Quadro 4 - Valores dos níveis de pressão sonora (L_{eq} e L_{Aeq}), para as bandas de frequência de 1/1 oitava, no interior e exterior da sala B024 em situação de ruído de fundo, em período de aulas.

Frequências (Hz)	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
L_{eq} interior da sala (dB)	38,9	42,9	41,2	41,6	41,0	36,2	32,7	29,8	23,9	51,3
L_{eq} exterior da sala (dB)	59,2	50,3	58,9	61,6	63,9	58,5	55,0	49,1	41,8	68,5
$D = (L_{eq, ext.} - L_{eq, int.})$ (dB)	20,3	7,4	17,7	20,0	22,9	22,3	22,3	19,3	17,9	17,2
L_{Aeq} interior da sala (dB)	<0	16,9	25,7	33,1	38,0	36,2	33,7	30,8	22,9	42,1
L_{Aeq} exterior da sala (dB)	19,2	24,3	43,4	53,1	60,9	58,5	56,0	50,1	40,8	64,2
$D = (L_{Aeq, ext.} - L_{Aeq, int.})$ (dB)	20,3	7,4	17,7	20,0	22,9	22,3	22,3	19,3	17,9	22,1

3.3. Tempo de reverberação

O valor do tempo de reverberação foi medido na situação inicial (sem tratamento das frinchas existentes nas portas da sala) e os valores obtidos são apresentados no Quadro 5 onde é apresentado também o valor médio para as bandas de frequências 500,1k,2k Hz e o limite máximo estabelecido no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE) [2].

Ao valor médio do TR medido, para as bandas de frequências 500,1k,2k Hz aplicou-se a correcção do factor de incerteza I (I=25% do limite regulamentar) cf. indicado no RRAE [2].

Ao analisar o Quadro 5 constata-se que os valores do TR são mais elevados para as baixas do que nas altas frequências. Isto pode advir da absorção do ar que é condicionante nas altas frequências. No entanto, mesmo nas altas o valor continua elevado quando comparado com os valores ideais e é o dobro do valor estabelecido no RRAE [2].

Quadro 5 - Resultados obtidos para o tempo de reverberação na sala B024.

Frequência (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
TR médio (s)	2,49	1,92	1,98	1,90	1,79	1,77	1,52	1,02	
TR [500, 1k, 2k Hz] (s)	Valor médio medido								1,8
	Valor médio medido cf. RRAE (-I=25% valor regulamentar)								1,6
	Valor máximo estabelecido no RRAE (TR= 0,15xV ^{1/3})								0,8

3.4. Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado

O resultado obtido para o índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos padronizado é apresentado no Quadro 6 onde também é apresentado o valor do índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos com uma casa decimal (situação não normalizada) para maior precisão dos resultados e possibilitar uma comparação mais detalhada.

Quadro 6 - Valores do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, normativo e não normativo, obtido para a sala (* valor não normativo unicamente para permitir maior detalhe na análise).

DnT,w (dB)	23		DnT,wd (dB) (*)	23,1
------------	----	--	-----------------	------

3.5. Situação com tratamento das frinchas

Na segunda fase de medições procedeu-se ao tratamento das frinchas existentes em todo o perímetro das duas portas existentes na sala. Inicialmente procedeu-se só à colmatação das frinchas laterais e superiores das portas. O material escolhido foi um perfil de calafetagem auto-adesivo em borracha com um formato em P (Figura 3). De seguida tratou-se também a frincha inferior das portas, para a qual foram escolhidos quatro materiais diferentes (Quadro 8)



Figura 3 - Colmatação da frincha lateral e superior das duas portas da sala B024.

Quadro 7 - Situações consideradas para a análise do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea na sala (FL: Frincha lateral; FL+RD: Frincha lateral+Rolo duplo; FL+E: Frincha lateral+Escova; FL+P: Frincha lateral+PVC adesivo; FL+B: Frincha lateral+Borracha adesiva).

Situação	Material utilizado para a colmatação das frinchas laterais e superior	Material utilizado para a colmatação da frincha inferior
FL	Borracha adesiva <i>Tesa MOLL</i>	-
FL+RD	Borracha adesiva <i>Tesa MOLL</i>	Rolo duplo (RD) <i>Tesa MOLL</i>
FL+E	Borracha adesiva <i>Tesa MOLL</i>	Escova adesiva (E) <i>Tesa MOLL</i>
FL+P	Borracha adesiva <i>Tesa MOLL</i>	PVC adesivo (P) <i>Tesa MOLL</i>
FL+B	Borracha adesiva <i>Tesa MOLL</i>	Borracha adesiva (B) <i>AXTON</i>

Quadro 8 - Materiais utilizados para calafetar a frincha inferior das duas portas da sala B024

Materiais	Imagem final após colocação do material	Pormenor do material
Tesa MOLL Rolo duplo (RD)		
Tesa MOLL Escova adesiva (E)		
Tesa MOLL PVC adesivo (P)		
AXTON Borracha adesiva (B)		

O Quadro 7 descreve as diferentes situações de materiais utilizados para a colmatação das frinchas existentes no perímetro das portas.

Os resultados normativos e não normativos (com uma casa decimal) referentes ao índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea são apresentados no Quadro 9. Aí verifica-se que com a aplicação dos materiais nas frinchas das duas portas o valor do índice de isolamento sonoro melhorou. Sabendo que na situação inicial o valor do isolamento sonoro (não normalizado), era de 23,1 dB com a aplicação do isolamento sonoro apenas no aro da porta (situação FL) este valor aumentou 1,7 dB tendo melhorado posteriormente para 4,3 com o isolamento também das frinchas inferiores. Dos materiais adoptados para o isolamento das frinchas inferiores os que apresentaram melhores resultados foram os adoptados nas situações FL+RD, FL+P e FL+B, com um aumento de 4,3 dB. As situações FL+RD, FL+P, FL+B e FL+E contribuem para uma redução significativa da energia sonora transmitida para o interior da sala, reduzindo-a para menos de metade.

Conclui-se que as situações FL+RD (Rolo Duplo), FL+P (PVC adesivo) ou FL+B (Borracha adesiva) apresentam os melhores resultados em termos de aumento do índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos.

Quadro 9 - Índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea para as diferentes situações analisadas para a separação entre a sala B024 e o corredor.

Situação	Material utilizado	DnT,w (dB)	DnT,wd (dB) (*)	ΔD (dB)	ΔD_d (dB) (*)
Inicial	-	23	23,1	-	-
FL	Borracha adesiva	24	24,8	1	1,7
FL+RD	Borracha adesiva + Rolo duplo	27	27,4	4	4,3
FL+E	Borracha adesiva + Escova	26	26,1	3	3,0
FL+P	Borracha adesiva + PVC adesivo	27	27,4	4	4,3
FL+B	Borracha adesiva + Borracha adesiva	27	27,4	4	4,3

(*) Valor não normativo (unicamente para permitir maior detalhe na análise).

Quadro 10 - Diferença dos níveis de pressão sonora no interior da sala, para as diferentes situações de isolamento analisadas, relativamente à situação inicial.

Frequência (Hz)	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	$\Delta L_{\text{Globais}}^*$ (dB)	$\Delta L_A \text{ globais}^{**}$ (dB)
ΔL FL	1,6	1,9	1,7	1,5	0,8	0,6	2,3	4,4	3,6	2,7	2,2
ΔL FL+RD	3,9	4,0	3,2	3,1	3,0	2,6	4,9	8,5	9,5	4,7	4,5
ΔL FL+E	3,5	3,0	2,8	2,9	2,5	1,7	2,9	5,2	6,6	4,4	3,5
ΔL FL+P	4,6	4,2	3,5	4,0	3,6	3,0	4,0	6,7	9,0	4,9	4,6
ΔL FL+B	4,6	3,9	3,4	3,7	3,8	3,3	4,2	6,2	9,1	4,9	4,5

(*) $\Delta L = L$ Receptor para a situação inicial – L Receptor para cada situação;

(**) $\Delta LA = LA$ Receptor para a situação inicial – LA Receptor para cada situação.

Para além do índice de isolamento sonoro é necessário analisar o decréscimo dos níveis de pressão sonora no interior da sala para as diferentes situações analisadas e relativamente à situação inicial (sem tratamento) (Quadro 10). Aí verifica-se que a situação FL diminuiu ligeiramente os níveis de pressão sonora no interior da sala. Dos 630 aos 1600 Hz a eficácia desta situação diminuiu ligeiramente melhorando dos 1600 até aos 2500 Hz, atingindo uma diminuição máxima do nível de pressão sonora nos 2500 Hz de 4,4 dB.

Para a situação FL+RD há uma diminuição máxima dos níveis de pressão sonora nos 3150 Hz de 9,5 dB, sendo a melhor solução para a gama de frequências dos 2000 aos 3150 Hz. Esta solução é a mais eficaz para as altas frequências.

A situação FL+P tem um comportamento e uma eficácia muito próxima da solução FL+B, isto é, tanto uma solução como outra tem uma eficácia intermédia relativamente às situações analisadas.

Na situação FL+E verifica-se uma melhoria relativamente à situação FL, sendo assim a segunda classificada por ordem decrescente de eficácia. Tem uma eficácia máxima de 6,6 dB aos 3150 Hz e uma eficácia mínima aos 1600 Hz de 1,7 dB.

Observando genericamente o Quadro 10, para as situações FL+RD, FL+P e FL+B verifica-se que existe uma maior diminuição dos níveis de pressão sonora no interior da sala quando comparadas com as situações FL e FL+E. Verifica-se que até aos 1000 Hz a situação FL+P é a mais eficaz seguindo-se as situações FL+B, FL+RD e FL+E. Em seguida dos 1250 aos 1600 Hz verifica-se que tanto a situação FL+B e FL+P são as mais eficazes seguindo-se as situações FL+RD e FL+E, a partir dos 1600 Hz a situação mais eficaz é a situação FL+RD seguindo-se a situação FL+P, FL+B, FL+E e por último como se verifica para as restantes frequências tem-se a situação FL.

Analisando globalmente a diferença dos níveis de pressão sonora no interior da sala, as situações que apresentaram melhores resultados foram: FL+RD, FL+P e FL+B.

4. CONCLUSÕES

No Quadro 11 apresentam-se os valores obtidos nos ensaios realizados na sala B024 da FEUP, para a situação inicial da sala (sem tratamento das frinchas) e valores ideais.

Para melhorar o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea procedeu-se à colocação de diferentes materiais de isolamento sonoro nas frinchas existentes em todo o perímetro das portas da sala de aula em estudo. No Quadro 12 são apresentados os ganhos do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea face à situação inicial da sala.

Perante os resultados obtidos, as situações que apresentaram maior aumento do índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos relativamente à situação inicial (sem tratamento das frinchas) foram: FL+RD, FL+P e FL+B.

Verifica-se (Quadro 13) que três das situações estudadas cumprem o limite mínimo do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, estabelecido na legislação portuguesa em vigor (adicionando o factor $l = +3$ dB).

Quanto à diminuição dos níveis de pressão sonora no interior da sala, no Quadro 14 são apresentadas as situações que apresentaram melhores resultados.

Quadro 11 - Valores obtidos nos ensaios realizados na sala B024 na situação inicial

	TR _[500, 1k, 2k Hz] (s)	RASTI	L _{A eq} (rf) (dB)	DnT _w (dB)
Sala B024	1,8	0,50	42	23
Valores ideais	0,6	> 0,60	≤ 35	≥ 36

Quadro 12 - Ganho do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea após a colmatação das frinchas existentes nas portas da sala B024 face à situação inicial

Situação	FL	FL+RD	FL+E	FL+P	FL+B
Δ DnT _w (dB)	1	4	3	4	4

Quadro 13 - Análise regulamentar do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea

Situação	Inicial	FL	FL+RD	FL+E	FL+P	FL+B
DnT _w (dB)	23	24	27	26	27	27
DnT _w [+l] (dB)	26 X	27 X	30 ✓	29 X	30 ✓	30 ✓

Quadro 14 - Ganhos dos níveis de pressão sonora face à situação inicial da sala B024.

	ΔL FL+RD	ΔL FL+P	ΔL FL+B
ΔL _{Globais} [dB(A)]	4,5	4,6	4,5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Natália C. M. Cunha, Isolamento sonoro em salas de aula. O caso particular do efeito da colmatação de frinchas em portas, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [2] Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios – DL 96/ 2008 de 9 de Junho.