

## A importância da Acústica no processo de aprendizagem - Diferentes estratégias de implementação

Rui S. Ribeiro<sup>1</sup>, Isabel A. Cardoso<sup>1</sup>, Luís Conde Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> dBLab – Laboratório de Acústica, Vibração e Ambiente Lda  
{[ruiribeiro@absorsor.pt](mailto:ruiribeiro@absorsor.pt); [isabel.cardoso@absorsor.pt](mailto:isabel.cardoso@absorsor.pt); [luis.conde@absorsor.pt](mailto:luis.conde@absorsor.pt) }

### Resumo

Os edifícios associados a estabelecimentos de ensino têm vindo sofrer uma evolução e readaptação às novas realidades. Como tal, os vários intervenientes seguem estratégias diferentes para a obtenção dos respectivos objectivos.

A acústica nos estabelecimentos de ensino, e em particular no ensino de música, tem uma importância fundamental no processo de aprendizagem, que é fortemente condicionado pela relação e respectiva qualidade sinal/ruído. Neste contexto, identificam-se e analisam-se os factores críticos de acústica para uma aprendizagem de sucesso, tendo em vista as exigências regulamentares e/ou outras recomendações.

É apresentado um exemplo particular associado a um estabelecimento de ensino especializado em música.

**Palavras-chave:** Acústica, estabelecimentos de ensino, música, sinal, ruído.

### Abstract

The new teaching, social and construction realities have forced school buildings to adjust and readapt. Different views and approaches on how to achieve the final goal have been put into practice by different players.

Acoustics has special relevance in musical teaching facilities, mainly due to signal to noise optimization.

Acoustical critical parameters to learning are identified, analysed and briefly framed on regulation standards and international recommendations.

A music school case study is presented.

## 1 Introdução

Os edifícios de ensino foram os precursores dos desenvolvimentos da acústica arquitectural no século XX, na sequência dos estudos iniciados por Wallace Clement Sabine no anfiteatro do Fogg Art Museum. A este seguiram-se muitos outros estudos que originaram a afirmação de Vern Knudsen e Cyril Harris: “as escolas têm como função a promoção da aprendizagem, a qual é maioritariamente conseguida através da comunicação oral e da audição. Desta forma, a acústica desses espaços é uma das propriedades físicas fundamentais que determina o sucesso do edifício no preenchimento da respectiva função primordial. Assim, a eliminação de ruído e a redução da reverberação são pontos indispensáveis na adaptação das salas de aula para a sua função de instrução oral” [1].

Muitos estudos e investigação foram desenvolvidos até aos dias de hoje sem que contudo se verifique a frequência desejada ao nível da introdução e aplicação desses princípios nos edifícios. Actualmente, as deficientes condições acústicas dos estabelecimentos de ensino ainda afectam negativamente a normal e correcta apreensão dos conhecimentos por parte dos alunos, assim como o esforço e desgaste físico e psicológico dos docentes.

Desde espaços de ensino em edifícios degradados ou originalmente não desenhados para esse fim ou orçamentos desajustados que condicionam a qualidade de novos espaços os exemplos são múltiplos, acarretando:

- Deficiências ao nível do isolamento sonoro entre espaços que implicam a contaminação dos mesmos por ruídos provenientes de outros locais ou do exterior, que interferem com a concentração e apreensão de mensagens verbais;
- Condições acústicas da própria sala que condicionam de forma significativa a inteligibilidade da palavra ou, no caso particular do ensino da música, a correcta propagação do som.

Por este motivo, diversos países, incluindo Portugal, têm já vindo a adoptar medidas para regular os níveis de ruído admissíveis e as condições acústicas presentes no interior dos estabelecimentos de ensino. Por outro lado num mercado aberto e competitivo, as condições acústicas oferecidas pelas instituições de ensino podem afirma-se como um factor diferenciador e estar associadas a uma vantagem competitiva, face à concorrência.

Para os especialistas em acústica, o desenho de edifícios vocacionados para o ensino afigura-se como um desafio muito interessante, em particular, no caso de estabelecimentos vocacionados para o ensino de música. Os critérios a considerar, para este casos, deverão ser devidamente adaptados ao tipo de ensino previsto, ao nível etário e aos objectivos finais pretendidos, normalmente relacionados com questões tais como nova construção ou renovação, orçamento disponível e público-alvo.

Ao longo do presente trabalho e após um enquadramento inicial em termos de recomendações e exigências legais aplicáveis identificam-se os principais factores críticos no equilíbrio da relação sinal – ruído, concluindo-se com a apresentação de um caso prático de remodelação de uma escola de ensino de música, em que são identificadas as características gerais do edifício, as soluções de princípio desenvolvidas e alguns resultados representativos das situações mais correntes.

## 2 Recomendações e Enquadramento Legal

Face à crescente consciencialização da importância do ensino e do conhecimento nas sociedades actuais e para o futuro das mesmas diversas normas e directivas existem já na Europa e nos Estados Unidos referentes a critérios mínimos a considerar nos estabelecimentos de ensino, com vista a garantir uma cada vez maior qualidade na aprendizagem.

O ano de 2002 marcou a publicação da norma *ANSI S12.60 – Acoustical Performance criteria, design requirements and guidelines for schools*. A publicação deste documento, nos Estados Unidos da

América marcou um movimento crescente nas preocupações acústicas nesta área e representou um progresso significativo nas respectivas implementações, tendo-se verificado uma melhoria das infra-estruturas de ensino, em termos acústicos.

A nível europeu, há a destacar no Reino Unido o documento “*Acoustic Design of Schools – A Design Guideline*” – BBS93 que, mais do que uma descrição dos critérios mínimos a considerar para cada caso específico, apresenta-se como um guia de apoio à construção de escolas atendendo à sua especificidade, desde a escolha do local de implantação até aos parâmetros a considerar no caso de alunos de ensino especial.

A nível nacional, a actual política no que se refere à educação, tem sido marcada pelo potenciar a recuperação e a readaptação de estabelecimentos de ensino existentes. Acresce a este facto, e no caso particular do ensino especializado de música, a adopção de medidas que permitam uma maior integração entre o ensino corrente e ensino vocacional artístico. A actual legislação em vigor em Portugal, nomeadamente o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei 96/2008, Artigo 7.º), já contempla critérios mínimos no que se refere à acústica de estabelecimentos de ensino. Contudo, dependendo do objectivo e público-alvo de cada escola em particular, os consultores acústicos poderão ter que complementar aqueles requisitos.

Será ainda de salientar a horizontalidade da especialidade de acústica, que não deverá, de forma alguma, incompatibilizar-se com outras necessidades de cada local, nomeadamente no que se refere a condições térmicas, de iluminação ou outras.

### **3 Factores críticos do ponto de vista Acústico**

Vários estudos comparativos provam uma correlação entre as condições acústicas dos espaços e o desempenho cognitivo e capacidades de aprendizagem demonstradas por estudantes das diferentes áreas e faixas etárias. Nomeadamente para as crianças, a exposição a níveis de ruído pode ser prejudicial ao seu normal processo de aprendizagem interferindo com as respectivas competências linguísticas e de escrita. Este ponto é tanto mais sensível quanto maior é a tendência para que dentro da sala de aula estejam presentes alunos cuja língua “materna” ou falada em casa é distinta da língua de ensino.

No caso particular de espaços vocacionados para o ensino da música, para além dos pontos anteriores que assumem particular relevância ao nível do ensino elementar, é necessário ainda ter em linha outros pontos complementares como sejam:

- Tipo de instrumento (timbre, potência sonora, etc...);
- Fase de estudo e desenvolvimento de competências do instrumentista;
- Sala de ensino individual ou colectiva.

Nestes casos, é não só fundamental potenciar a relação sinal-ruído como também garantir a eliminação de fenómenos de interferência e deterioração da resposta dinâmica da sala, na gama de frequências de interesse.

Parâmetro	Factor crítico para sucesso	Comentário
Sinal	<p>Forma &amp; Geometria do espaço</p> <p>Tempo de reverberação</p> <p>Posição relativa entre emissor e receptor</p>	<p>Dotar as salas de boa distribuição do campo sonoro e garantir um volume tal que permita “acomodar” toda potência sonora produzida.</p> <p>Preferencialmente variável ou ajustável tendo em conta o instrumento, tipo de música e fase de desenvolvimento.</p> <p>Para salas de conjunto e formação teórica.</p>
Ruído	Equipamentos localizados no interior da sala.	Projector, PC, equipamento electrónico, etc.
	Ruído transmitido para o interior da sala através de equipamentos	Ruído do sistema de ventilação, equipamentos em espaços adjacentes
	Ruído transmitido para o interior da sala através das actividades que decorrem nos espaços contíguos	Polivalentes, Corredores, Salas de percussão etc.
	Fontes de ruído e vibração no exterior	Ruído de tráfego rodoviário, aéreo e ferroviário

Ou seja, de modo a verificar-se a optimização da relação sinal ruído podemos utilizar a seguinte orientação:

Áreas de intervenção	Sinal			
	Forma	Volumetria	Distribuição de espaços	Revestimentos interiores
	Isolamento de fachada	Isolamentos a sons aéreos	Isolamento a sons de percussão	Controle de ruído de equipamentos
Ruído				

Um equilíbrio entre as várias dimensões anteriores é fundamental, particularmente durante os primeiros ciclos de ensino, de modo a evitar-se:

- Interferência negativa na mensagem e diminuição na inteligibilidade do discurso;
- Desatenção e fadiga mental;
- Períodos de aprendizagem, em particular na leitura, mais longos;
- Contribuições em sala reduzidas;
- Fadiga e dificuldades por parte dos professores – doenças profissionais.

#### 4 Caso prático – Escola de Música Óscar da Silva (Matosinhos)

O projecto de remodelação e reconstrução do edifício da Escola de Música Óscar da Silva teve os seguintes intervenientes e características.

Tabela 1 – Identificação do projecto.

Escola de Música Óscar da Silva	
Cliente	Câmara Municipal de Matosinhos
Arquitecto	SJGS Arquitectos
Consultores Acústicos	Grupo Absorsor
Área de construção	700 m <sup>2</sup>
Valor estimado de obra	840.000 €
Fase actual	Construção concluída. Ensaio de verificação acústica em desenvolvimento.

A Escola de Música Óscar da Silva em Matosinhos ocupava as instalações de uma antiga Escola Primária sita à Rua Álvaro Castelões, em Matosinhos. Este edifício escolar com residência, datado do início do século XX, é um exemplar da Arquitectura civil educativa dispersa pelo país, obedecendo ao Projecto-tipo Adões Bermudes na sua configuração simétrica, adequada ao ensino separado dos dois sexos, contendo já os princípios de composição e distribuição assumidos agora na nova compartimentação.

A principal alteração efectuada no edifício existente consistiu na criação de um átrio único, resultante da junção dos anteriores pela supressão da parede divisória, a partir do qual se organiza um esquema distributivo bastante simples:

- Acesso por escada central ao piso superior onde ficam as salas administrativas e de professores;
- No sector central do piso inferior localizam-se os espaços comuns de circulação, sanitários, e biblioteca;
- As grandes alas, de um lado e de outro, destinadas ao auditório, sala de apoio e bar e salas de aula.

Como a área do edifício existente não correspondia às necessidades imediatas da Escola de Música Óscar da Silva, tornou-se imperioso proceder à sua ampliação, sem desvirtuar a respectiva imagem.

Assim, foi efectuada o prolongamento do corpo central apenas ao nível do piso superior, mediante um novo volume “encaixado” sob o beiral do telhado e foi introduzida uma nova construção ao longo do muro confinante a poente, com apenas um piso e rebaixado relativamente à cota do piso térreo, de forma a não adquirir uma volumetria excessiva em relação ao lote contíguo.

Como resultado, foram criados dois pátios centrais que funcionam com carácter agregador, que transparece nas fachadas envidraçadas dos espaços interiores confinantes.

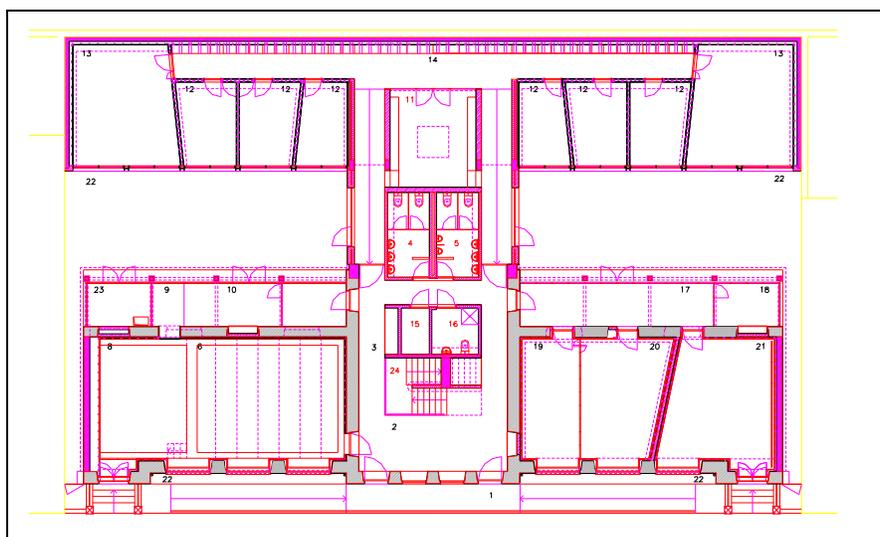


Figura 1 – Planta geral do piso 0.

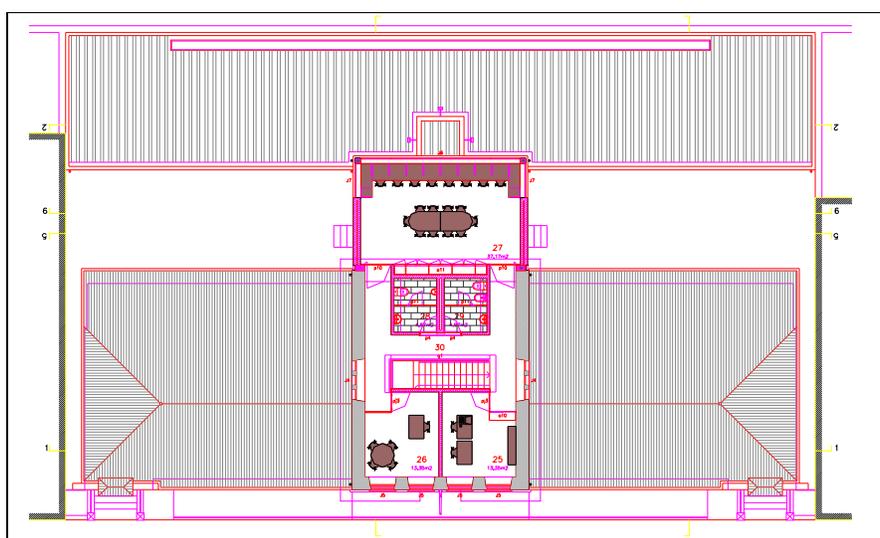


Figura 2 – Planta geral do piso 1.

A localização do edifício encontra-se junto de uma via de tráfego intenso, incluindo grande número de passagens autocarros de passageiros. Por este motivo, o isolamento de fachada foi tido como critério fundamental para garantir os adequados níveis de ruído no interior, que uma escola com estas características exige.

São de seguida apresentados os níveis de ruídos medidos no exterior, a 2m da fachada da escola.

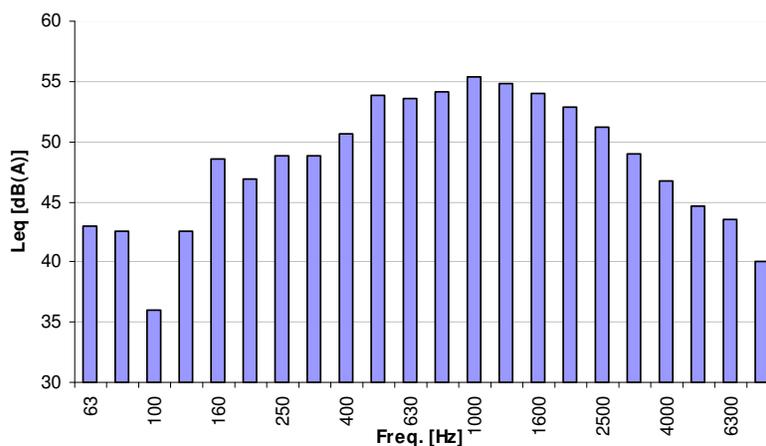


Figura 3 – Níveis de ruído medidos no exterior da escola.

Considerando que as paredes exteriores se mantiveram do edifício original em granito, o ponto frágil da fachada estaria limitado às janelas. A opção efectuada, de modo a garantir os níveis de ruído de fundo no interior compatíveis com a qualidade acústica pretendida, foi então a de aplicar na fachada exterior da escola janelas constituídas por caixilho duplo, em que o exterior possuiria vidro duplo e o interior vidro simples.

Além disso, a distribuição dos espaços foi igualmente analisada de forma a minimizar a contaminação entre actividades simultâneas, assim como a contaminação de ruídos provenientes do exterior. Deste modo, na zona antiga do edifício, foi instalado na ala direita o auditório e na ala esquerda as salas de aula colectivas e de percussão. Na zona da nova construção, a sul, foram instaladas as salas de instrumento individuais e colectivas

Por outro lado os dois pátios centrais permitem criar uma zona tampão do ponto de vista acústica, na qual os níveis de ruído de fundo são muito reduzidos e que permite uma maior interacção entre os espaços interiores e exteriores.

No caso de uma escola de música, o isolamento entre espaços adjacentes é fundamental para que uma aula a decorrer numa sala não seja acusticamente contaminada por quaisquer actividades ou práticas decorrentes na sala ao lado. Mais ainda, é necessário garantir que essa contaminação também não ocorrerá através da fachada ou do corredor de circulação de acesso às salas.

Deste modo, no caso da Escola de Música Óscar da Silva, foram definidos os seguintes critérios acústicos:

Tabela 2 – Critérios de Isolamento Sonoro.

Espaço emissor	Espaço receptor	Isolamento a sons de condução aérea	Isolamento a sons de percussão
Sala de música	Sala de música	$\geq 55$	$\leq 45$
Sala de percussão	Sala de música	$\geq 60$	$\leq 45$
Corredor	Sala de música	$\geq 42$	$\leq 55$
Exterior (pátios)	Sala de música	$\geq 33$	-
Exterior (rua)	Sala de música	$\geq 38^*$	-

\* Valor limite com correcção ao tempo de reverberação no interior

Estes valores de isolamento sonoro foram obtidos com a aplicação de paredes leves de separação, aplicadas sobre montantes independentes e desligados rigidamente de qualquer elemento estrutural do edifício.

Em toda a área da escola foi aplicado pavimento flutuante, tendo o auditório e as salas de aula acabamento em madeira assente sobre barrotes.

As salas de instrumento caracterizadas por uma forma, geometria e volumetria correctas garantirão desde logo uma boa qualidade da acústica interna. Espaços onde o paralelismo entre superfícies seja evitado e uma relação de 6-7 m<sup>3</sup>/ocupante seja estabelecida, é de particular relevância. No caso da sala de percussão, atendendo a que o número de ocupantes é superior e às características dos próprios instrumentos, o pé direito foi aumentado de forma a garantir uma maior volumetria e permitir a relação de cerca de 7-8 m<sup>3</sup>/músico.

A acústica interna dos locais deve ser devidamente adaptada às actividades que estão previstas para cada espaço, com especial destaque para o auditório e as salas destinadas ao ensino ou prática de música – individual ou em conjunto. Os principais critérios a ter em conta são o tempo de reverberação, uma boa distribuição do campo sonoro e a taxa de ocupação de cada local.

No caso das salas destinadas ao ensino ou ensaio musical sem amplificação, são normalmente necessários tempos de reverberação mais elevados do que nas salas destinadas apenas ao uso da palavra. Além disso, níveis de ensino diferentes requerem também condições de acústica interna distintas. Assim, o conceito de “acústica variável” foi introduzido de uma forma simples, através da implementação de cortinados interiores.

A absorção sonora nas salas foi também controlada ao nível do tecto, enquanto no auditório optou-se pela aplicação de um tecto falso isolante contínuo e revestimento nas paredes com madeira, alternando entre contínua e perfurada.

O funcionamento dos equipamentos mecânicos e eléctricos de apoio aos espaços não deverá causar interferências no ensino e representações musicais. Por este motivo, foram definidos níveis máximos de ruído de fundo expressos através da curva NR (*Noise Rating*) respectiva para cada espaço.

Na tabela que se segue são apresentados os critérios de acústica interna considerados para os espaços mais relevantes da Escola de Música Óscar da Silva.

Tabela 3 – Critérios de Acústica Interna.

Espaço receptor	Tempo de reverberação [s]	Nível de ruído de fundo [NR]
Auditório	0,9-1,0	20
Sala de instrumento	0,6-1,0	25
Sala de percussão	0,7-0,8	25
Sala de composição	0,7-0,8	25

Com a obra concluída, está neste momento em curso a verificação dos limites regulamentares, assim como os valores estabelecidos como critérios acústicos, sempre que mais exigentes do que os primeiros.

Na tabela que se segue são apresentados os resultados preliminares aos ensaios realizados até à data.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios realizados.

Ensaio	Ensaio		RRAE		Critério de Projecto	
	Valor calculado [dB]	Correcção c/ incerteza [dB]	Limite [dB]	Cumprimento	Limite [dB]	Cumprimento
Isolamento a sons de condução aérea entre salas [D <sub>n,w</sub> ]	52	55	≥ 55	Cumpre	≥ 55	Cumpre
Isolamento a sons de percussão entre salas [L' <sub>n,w</sub> ]	48	45	≤ 65	Cumpre	≤ 45	Cumpre

O tempo de reverberação no interior do auditório e de uma das salas de instrumento é apresentado na figura seguinte.

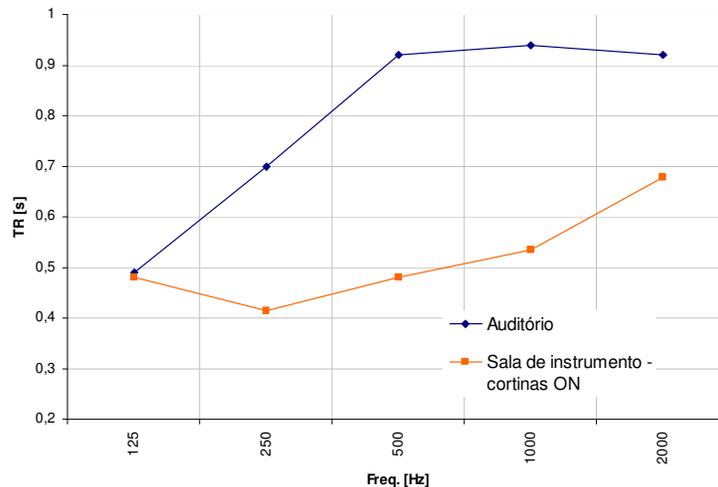


Figura 4 – Tempo de reverberação medido no auditório e numa sala de instrumento.

A média aritmética entre os 500 e os 2kHz é 0,9s no caso do auditório e 0,6s na sala de instrumentos.

## 5 Comentários finais

A implementação de soluções de cariz acústico tem um impacto positivo na qualidade total do edifício. É obtido graças a uma melhor gestão do investimento inicial disponível, fortemente condicionado pelo facto do edifício se encontrar em fase de recuperação ou ser desenhado de raiz. A legislação, recomendações e experiências adquiridas no desenho destes equipamentos contribui de forma cumulativa para a criação de uma massa critica tornando mais eficaz e eficiente os espaços actuais.

Dados recolhidos nos EUA e em Inglaterra demonstram que a implementação destas medidas nos edifícios implicam um sobre-custos no valor global da obra de 1 -3% e 1% respectivamente. No caso de Portugal os valores são, por vezes, superiores apesar de que resultam na maioria das vezes da aplicação de uma sobretaxa associada à relativa “novidade” das questões de acústica na construção.

## 6 Conclusão

É já um dado aceite internacionalmente que a acústica tem uma importância fundamental no processo de aprendizagem, particularmente no ensino da música.

Os factores críticos de acústica para uma aprendizagem de sucesso foram identificados, analisados e brevemente enquadrados com as exigências regulamentares aplicáveis sendo apresentado um caso prático descrevendo a intervenção dos consultores de acústica ao longo de todo o processo, desde o início do projecto até à verificação final da obra concluída.

Foram apresentados alguns conceitos construtivos adoptados para o cumprimento dos critérios acústicos inicialmente previstos para uma escola de música em Matosinhos.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Escola de Música Óscar da Silva e à equipa de projecto a sua cooperação neste estudo e a sua autorização para publicar este artigo.

## Referências

- [1] Knudsen, Vern O.; Harris, Cyril. *Acoustical Designing in Architecture*. John Wiley & Sons Inc. 1950
- [2] Vallet, Michel; Karabiber, Zerhan. Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings. *Noise Control Eng. J.*, Vol. 50 (2), 2002 Mar-Apr, 58-62.
- [3] Nelson, Peggy B.. The ASA classroom acoustics effort. *Acoustics Today*, October 2005, 28-32.
- [4] Lubman, David. The classroom amplification challenge to ANSI S12.60-2002. *Acoustics Today*, October 2005, 33-34
- [5] Astolfi, Arianna; Pellerrey, Franco. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 123 (1), January 2008, 163-173.
- [6] American Speech-Language-Hearing Association. (2005). *Acoustics in educational settings: Technical report*. Available at: <http://www.asha.org/members/deskref-journals/deskref/default>.
- [7] ANSI S12.60 – Acoustical Performance criteria, design requirements and guidelines for schools. 2002
- [8] “Acoustic Design of Schools – A Design Guideline” – BBS93. 1993
- [9] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – Decreto-Lei 96/2008.