

## Análise da qualidade acústica das salas de aula das escolas públicas municipais de Itajubá-MG

**Luiz Felipe Silva**  
Instituto de Recursos  
Naturais  
Universidade Federal de  
Itajubá  
Av. BPS, 1303  
37500-030 - Itajubá - MG  
lfelipe@unifei.edu.br

**Renan Gaspar M. Moraes**  
Instituto de Recursos  
Naturais  
Universidade Federal de  
Itajubá  
Av. BPS, 1303  
37500-030 - Itajubá - MG  
julnan@uol.com.br

### Resumo

A qualidade acústica de uma sala de aula, representada pelo Tempo de Reverberação (TR), é relevante no processo de aprendizagem, sobretudo para crianças na fase de alfabetização. Este estudo avaliou a qualidade acústica das salas de aula das escolas de ensino fundamental da rede pública municipal da cidade de Itajubá (MG). Foram estimados os valores dos TR pela aplicação da fórmula de Sabine. Constatou-se que nenhuma das salas analisadas apresentou o valor recomendado de TR, que é de 0,4 a 0,6 s. Em relação ao nível de ruído ambiente, somente em 30% das salas foram registrados valores adequados, de 40 a 50 dB(A). A instalação hipotética de painéis absorventes específicos foi discutida, como possível intervenção para saneamento acústico. Avaliações posteriores que compreendam medições do TR são recomendadas. As questões concernentes à qualidade acústica, dada a sua importância, devem ser consideradas na fase de projeto de unidades de ensino.

**Palavras-chave:** Tempo de reverberação. Salas de aula. Qualidade acústica.

### Abstract

The classroom acoustical quality, represented by the Reverberation Time (RT), is important to the learning process, mainly to the preschool children. This study has evaluated the acoustical quality of the classrooms of the schools of the basic education public net of the municipality of Itajubá (MG). It was estimated the RT values by the Sabine formulae application. It was observed no classroom showed a RT adequate value to this aim, about 0,4 to 0,6 s. In relation to the ambient noise, 30% of the classrooms showed appropriate values only, about 40 to 50 dB(A). One hypothetical installation of specific absorbent panels was discussed, like one possible measure to an acoustical correction of the room. RT measurements procedures are recommended. The acoustical quality subject, due to its relevance, must be considered in the classroom project phase.

**Keywords:** Reverberation time. Classrooms. Acoustical quality.

## 1 Introdução

O crescimento da poluição sonora está associado ao desenvolvimento e à urbanização desordenados, que influi negativamente na qualidade de vida das populações afetadas. Segundo diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde, níveis de 55 dB(A) são considerados como o início do desencadeamento do processo de estresse auditivo. Já para níveis acima de 65 dB(A), o nível de estresse tende a se elevar gradualmente, provocando fadiga, irritabilidade, perturbação do sono, falta de concentração, dentre outros agravos, o que prejudica a saúde e o desempenho das atividades diárias (BERGLUND *et al*, 1999).

No tocante a ambientes internos, dois importantes fatores podem influenciar negativamente a acústica: tempo de reverberação (TR) e ruído. O primeiro está relacionado com a acústica arquitetônica. A reverberação ocorre quando o som refletido em um obstáculo (parede, teto etc.) chega ao sistema auditivo, enquanto a sensação do som direto ainda não se extinguiu. O controle desse fenômeno, característico de ambientes fechados, é de suma importância em cinemas, teatros, estúdios, sala de aula e outros (SOLI e SELTZ, 2002).

No ambiente escolar, objeto do estudo, de acordo com Celani *et al* (1999), o ruído não se limita a provocar incômodo, mas também interfere no rendimento das atividades de ensino.

Salas de aula com reverberação em excesso afetam negativamente os sinais da fala, sobrepondo os sons refletidos e os sons diretos, mascarando as mensagens pretendidas pelos locutores, no caso, os professores. A inteligibilidade da fala, relação entre palavras faladas e entendidas, expressa em porcentagem, é determinada, entre outros fatores, pelo tempo de reverberação. Segundo Berg & Stork (1995), esta grandeza é caracterizada como o tempo necessário para que a intensidade da onda sonora caia um milhão de vezes ( $10^{-6}$ ) em relação ao valor original, ou seja, é o tempo requerido para que a onda refletida seja atenuada em 60 dB em relação ao seu nível de intensidade inicial. As reflexões das ondas sonoras nas paredes, piso e teto podem incrementar o tempo de reverberação na sala a tal ponto, que se torna impraticável a relação ensino-aprendizado nesse ambiente.

### 1.1 Breve Revisão da literatura

Estudos, como o desenvolvido por Jamieson *et al* (2004), têm demonstrado que crianças na faixa de idade de cinco a oito anos tendem ser as mais suscetíveis ao ruído, sobretudo em salas de aula consideradas ruidosas, as quais provocam interferências negativas a sua formação.

Shield e Docrell (2004) avaliaram os níveis sonoros de escolas primárias ao redor da cidade de Londres. Entre outros resultados, os autores observaram que o nível de ruído ambiente no interior das salas de aula excedia os valores recomendados pelas normas, devido, sobretudo, à contribuição de ruído de tráfego. Este ruído externo afetava o padrão sonoro interno da sala, mas apenas nas situações em que as crianças estavam envolvidas em atividades silenciosas. Diferenças de até 20 dB foram verificadas nas atividades empreendidas pelas crianças no interior da sala.

Os fatores mais relevantes, segundo Skarlatos e Manatakis (2003), que colaboram para geração dos níveis de ruído em sala de aula são: o período do curso, a idade do grupo e a população de estudantes em cada curso. Além disso, o tempo de reverberação longo e o valor elevado do nível de ruído ambiente nas salas analisadas contribuem para a formação de cenário inaceitável para um ambiente de aprendizado e de formação.

Knecht *et al* (2002) empreenderam um estudo em um universo de 32 salas de aula distintas e desocupadas, com o fim de avaliar o nível de ruído ambiente e o tempo de reverberação. Os pesquisadores constataram que a maioria das salas de aula não correspondiam às exigências na norma ANSI S12.60 (2002), no tocante aos itens avaliados.

Recomendações estabelecidas conforme a idade e para grupos vulneráveis, ocupantes de uma sala de aula, é a sugestão elaborada por Picard e Bradley (2001). Para adolescentes acima de 12 anos e adultos jovens, os autores sugerem que o nível sonoro do ambiente não poderia superar 40 dB(A), com o valor de TR de aproximadamente 0,5s. Os autores propõem um nível sonoro bastante conservador de 21,5 dB(A) para grupos com atraso no processamento da fala, na idade de seis a sete anos.

Bistafa e Bradley (2000) discutem a inteligibilidade da fala em salas de aula e postulam a formulação de níveis de ruído ambiente “ideal” e “aceitável”. Os valores seriam de 25 e de 20 dB, respectivamente, abaixo do nível da voz a um metro da pessoa que fala. Argumentam ainda que a inteligibilidade total da fala pode ser obtida com TR de aproximadamente 0,4 a 0,5s.

Pesquisas sobre os efeitos do ruído em crianças da pré-escola têm mostrado uma conexão da exposição do ruído crônico e a alfabetização. Projetos de escolas que dão maior atenção para características acústicas têm como consequência melhor aproveitamento escolar (MAXWELL e EVANS, 2000).

“O som produzido em um local de uma sala de aula deve ser claramente inteligível em todos os locais da sala”. (Nabelek e Nabelek apud NELSON *et al* 2002). Esta assertiva é suficiente para estimular o desenvolvimento de estudos sobre este tema e contribuir para o processo educacional.

As crianças, em geral, são as mais prejudicadas quando submetidas a ambientes com irregularidades acústicas, pois estão na fase de aquisição de vocabulário e leitura, nem sempre compreendendo com exatidão as palavras proferidas por seus professores. Assim, se o ambiente for acusticamente inadequado, esse grupo de estudantes será potencialmente o mais prejudicado. Outros aspectos, que ficam evidentes em crianças neste tipo de ambiente, são: perda de concentração, desinteresse, mudança de comportamento, decréscimo da capacidade de trabalho, reações de estresse e aumento significativo do tom de voz na comunicação verbal (NELSON *et al*, 2002).

Visto que a inadequação de ambientes de aprendizagem com relação à acústica pode acarretar vários empecilhos no processo de formação escolar das crianças, verifica-se que é imprescindível que estes estejam adequados à finalidade a que se destinam.

## 2 Objetivos

Avaliar a qualidade acústica das salas de aula de todas as escolas públicas municipais de Itajubá.  
Sugerir medidas mitigadoras para casos em que a qualidade observada seja muito deficiente.

## 3 Metodologia:

O estudo foi realizado em escolas que ministram aulas para o ensino fundamental (de 1ª a 5ª série) e educação infantil da rede pública municipal do município de Itajubá (MG). As avaliações foram conduzidas entre os meses de maio e agosto de 2008.

### 3.1 – Estimativa do Tempo de Reverberação

A grandeza de maior interesse na estruturação da pesquisa se fundamenta no tempo de reverberação (TR), que será estimado a partir das características físicas das salas de aula observadas, como também pelo número de alunos que a frequentam.

O TR é calculado através da Equação (1), exposta abaixo (Fórmula de Sabine):

(s)

$$T_R = \frac{0,161V}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \quad (01)$$

Onde V = volume da sala em m<sup>3</sup>.

$\alpha$  = coeficientes de absorção dos componentes da sala (parede, piso, teto, carteiras etc.)

S<sub>i</sub> = superfície ocupada pelos componentes da sala em m<sup>2</sup>.

Para o cálculo do TR considerou-se a presença dos alunos na sala. As situações de portas e janelas fechadas também foram levadas em conta, já que este é o caso que mais eleva o valor do TR e é comumente observado em escolas, principalmente em dias de inverno. Os valores dos TR foram calculados em bandas de oitava. Os coeficientes de absorção dos diversos materiais e dos ocupantes da sala foram obtidos em tabelas especificamente construídas para este fim. Os materiais mais predominantes e comuns, possíveis de ser encontrados em uma sala de aula, bem como os valores para pessoas e mobiliário, podem ser observados nos Quadros 1 e 2 (BISTAFA, 2006).

A absorção do ar não foi considerada, pois os volumes das salas analisadas encontram-se bem abaixo de 1.000m<sup>3</sup>, valor limite no qual esta variável assume importância, em especial para frequências elevadas (ZANNIN *et al*, 2005).

### 3.2 Ruído

Foi utilizado um medidor de nível sonoro instantâneo, classe II, marca LT Lutron; modelo SL – 4001, na constante de tempo “Slow”, ponderação “A”.

Para medição do ruído, o posicionamento do microfone seguiu as diretrizes da NBR-10.151(2000). A cada 10 segundos foram feitas sete leituras do valor do nível sonoro instantâneo. Este procedimento foi realizado em três locais distintos da sala, a fim de se obter um resultado mais preciso, totalizando 21 medidas em cada sala estudada.

Posteriormente, calculou-se a média aritmética do nível de ruído, o desvio-padrão, bem como o valor do erro-padrão, partindo do pressuposto que o nível de ruído apresenta uma distribuição normal.

Foi calculada a média dos níveis encontrados no local, bem como o erro-padrão da série de medidas, com o propósito de verificar se o número de medições era suficiente para caracterizar o nível de ruído naquele ambiente, fundamentando-se no estabelecido em trabalho de Behar e Plener (1984). Caso o erro-padrão seja inferior ao erro do equipamento, que é de 2 dB, é permitido concluir que a amostra pode ser considerada como adequada. O cálculo é executado pela Equação (2):

$$NPS = x \pm t \times \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \text{ dB(A)} \quad (2)$$

Onde:

x = média dos níveis de pressão sonora [dB(A)] da distribuição amostral;

t = valor da distribuição t com (n - 1) graus de liberdade e um nível de confiança (1 -  $\alpha$ );

n = número de amostras;

$\sigma$  = desvio padrão da distribuição amostral.

**Quadro 1:** Coeficientes de absorção sonora em m<sup>2</sup>. Sabinede materiais e de revestimentos de superfície, segundo bandas de oitava (Hz).

Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alvenaria de tijolos aparentes não-polidos	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Alvenaria de tijolos aparentes pintados	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Alvenaria de blocos aparentes pintados	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Reboco ou gesso rústico sobre quaisquer alvenarias	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Reboco ou gesso desempenado sobre quaisquer alvenarias	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Concreto ou cimentado liso desempenado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Concreto aparente, tratado e polido	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Azulejos ou pastilhas	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Mármore, cerâmica ou granito polido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Painel de cortiça sobre qualquer alvenaria	0,05	0,05	0,05	0,08	0,10	0,13
Assoalho em tábua corrida, com espaço livre até o contra piso	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Tacos de madeira colados sobre o piso	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Paviflex ou plurigoma, colado sobre contra piso desempenado	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Cortina de tecido leve, esticada, em contato com a parede	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Vidro fixo, temperado ou laminado, com grande superfície	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Vidro comum montado em caixilho	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Divisória de gesso tipo <i>dry-wall</i> com ou sem enchimento	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Divisória de lambris de madeira compensada	0,58	0,22	0,07	0,04	0,03	0,07
Forro de gesso acartonado com ou sem enchimento	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Assoalho em tábua corrida sobre o contra piso	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Porta de madeira comum, pintada ou envernizada.	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10

**Quadro 2:** Valores de absorção sonora, em m<sup>2</sup>. Sabine, para pessoas e mobiliário, segundo bandas de oitava (HZ).

Pessoas e mobiliário	Absorção sonora (m <sup>2</sup> - Sabine)					
	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Pessoa em pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37
Criança sentada, incluindo a cadeira.	0,17	0,21	0,26	0,30	0,33	0,37

### 3.3 Procedimento para estimativa do TR:

Para se obter os valores de TR das salas de aula, as medidas físicas de cada uma foram levantadas com auxílio de uma trena de fibra de vidro, com 50 m de extensão. Uma máquina fotográfica digital, com 8.0 Mega pixels de resolução, foi empregada para realização do registro fotográfico.

Verificou-se, visualmente, a composição dos materiais construtivos das paredes, do teto, do piso, da lousa, da porta e das janelas. Em cada sala foi contabilizado o número de carteiras existentes. Por meio do Quadro 1, foram extraídos os coeficientes de absorção dos materiais para cada banda de oitava de interesse, de 250 a 2000Hz. Para cada banda de oitava, foi calculado o TR. Calculou-se a média aritmética para buscar o valor de TR, na situação de porta e janelas fechadas. Além das médias, foram calculados os erros-padrão, para verificar se o número de amostras foi suficiente.

Ao todo, foram conduzidas 21 medições do nível de ruído ambiente, na situação de sala vazia, sendo sete medições em três pontos diferentes. Para cada sala estudada, foi calculada a média aritmética dos valores encontrados.

A compreensão do procedimento adotado pode ser facilitada por meio de um exemplo de cálculo de obtenção do valor do TR para uma sala de aula.

## 4 Resultados

Como discutido anteriormente, será apresentado um exemplo de cálculo aplicado a uma sala de aula para subsidiar na compreensão do procedimento.

As dimensões da sala analisada da Escola Municipal Alcides Faria são apresentadas na Tab. (1):

**Tabela 1:** Comprimento, largura, altura e volume de sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria.

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
7,00	5,19	3,36	122,07

A descrição dos componentes estruturais e as características do ambiente são apresentadas na Tab. (2):

**Tabela 2:** Identificação da sala, materiais de recobrimento das superfícies da sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria e seus respectivos coeficientes de absorção (m<sup>2</sup>.Sabine) por quatro bandas de oitava (Hz).

Elementos	Descrição	Coeficiente de absorção Sonora ( $\alpha$ )			
		250	500	1000	2000
Paredes	Reboco sobre quaisquer alvenarias	0,03	0,04	0,05	0,04
Piso	Azulejos ou pastilhas	0,02	0,03	0,04	0,05
Teto	Lambris	0,22	0,07	0,04	0,03
Janela	Vidro comum	0,25	0,18	0,12	0,07
Porta	Madeira	0,19	0,14	0,08	0,13
Duas lousas	Madeira	0,19	0,14	0,08	0,13

As áreas obtidas, a partir do procedimento de medição, estão expostas na Tab. (3):

**Tabela 3:** Áreas calculadas e estimadas dos elementos da sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria.

Elementos	Áreas (m <sup>2</sup> )
Paredes	66,06
Piso	36,33
Teto	36,33
Quatro janelas	7,65
Porta	1,61
Lousas	6,60

Em relação à presença de pessoas na sala, foram considerados os valores da absorção sonora para criança sentada, incluindo a cadeira e a ocupação de 13 alunos e para uma pessoa em pé, representando o professor. Os resultados correspondentes ao somatório do produto, para cada banda de oitava, entre as áreas e os coeficientes de absorção, estão expostos na Tab. (4).

**Tabela 4:** Somatório do produto, para cada banda de oitava, entre as áreas e os coeficientes de absorção  $\alpha \times S$ (m<sup>2</sup>) da sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria.

Elementos	Frequências			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Paredes laterais	1,98	2,64	3,30	2,64
Piso	0,73	1,09	1,45	1,82
Teto	7,99	2,54	1,45	1,09
Quatro janelas	1,91	1,38	0,92	0,54
Porta	0,31	0,23	0,13	0,21
Lousas	1,25	0,92	0,53	0,86
Alunos	2,73	3,38	3,90	4,68
Professor	0,33	0,44	0,42	0,46
Somatório	17,23	12,18	11,68	11,83

De posse destes valores, e baseando-se na Equação (1), a magnitude do TR para cada banda de oitava foi calculada, conforme exposto na Tab. (5).

**Tabela 5:** Valores do TR para a sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria nas situações de porta e janelas fechadas.

Situação	Tempo de reverberação(s)				
	Sala 2				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Média
Sala com a porta e janelas fechadas	1,14	1,61	1,68	1,66	1,52

Os níveis de ruído ambiente obtidos na sala de aula, conforme a metodologia estabelecida, estão expostos na Tabela. (6):

**Tabela 6:** Valores dos níveis de ruído ambiente da sala padrão da Escola Municipal Alcides Faria nas situações de porta e janelas fechadas:

Nível de Ruído ambiente dB(A)		
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
53,2	47,8	50,6
45,2	53,1	48,1
51,8	51,1	48,7
48,2	42,3	46,2
46,0	43,9	49,3
52,2	46,7	47,1
45,7	46,4	50,4
Média =	48,3	

Portanto, para essa sala, cujos cálculos serviram como ilustração do método, o valor do TR é de 1,53s e o nível de ruído ambiente é de 48,3dB(A), com erro-padrão de 1,4dB(A), que configura uma amostra suficiente para caracterizar o ruído ambiente da sala, pois se encontra inferior ao erro do equipamento utilizado.

O interior da sala de aula, que serviu como exemplo da metodologia aplicada, pode ser verificado por meio da Figura 1.



**Figura 1:** Vista interna da sala de aula da Escola Municipal Alcides Faria.

Obedecendo ao procedimento descrito anteriormente para todas as outras salas de aula, os seguintes valores, apresentados na Figura 2, foram obtidos:

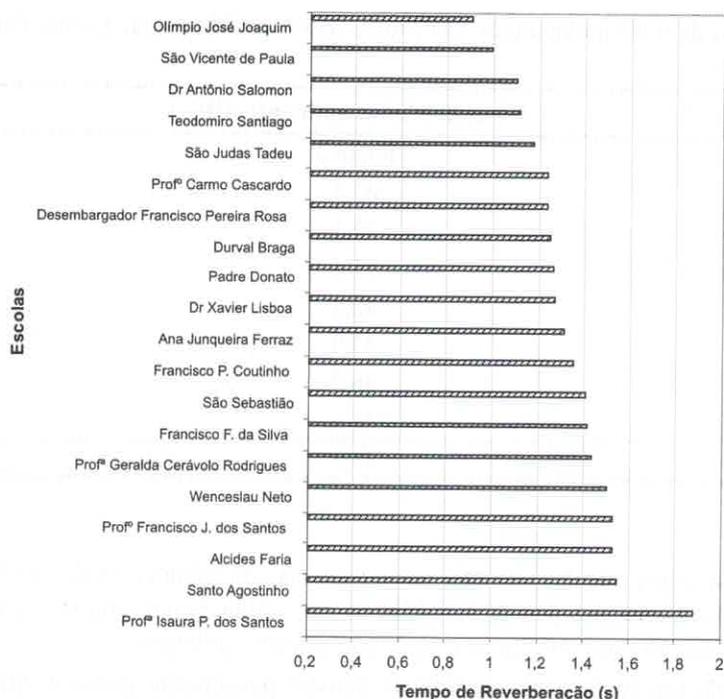


Figura 2: Distribuição das salas das escolas segundo o TR

Pelos resultados observados na Figura 1, é possível verificar que todas as escolas apresentam problemas relacionados ao TR, já que nenhuma das salas analisadas possui um valor adequado (0,4 a 0,6 s). Algumas salas, inclusive, apresentam TR maior que 1,5s, cujo valor se encontra na faixa de TR recomendado a ginásios poliesportivos (ASA, 2000). A sala de aula da Escola Profa. Isaura P. dos Santos, com o TR de 1,88 s, por exemplo, apresentou um valor de TR 213% acima ao limite superior recomendado para o ambiente. A Figura 3 apresenta a vista interna da sala em pauta.



Figura 3: Vista interna de sala de aula da Escola Profa. Isaura P. dos Santos

Os níveis de ruído ambiente registrados nas salas examinadas podem ser observados na Figura 4.

Somente 30% das salas analisadas apresentavam valores de níveis de ruído classificados como aceitáveis, de acordo com a NBR 10152 (1987), que estabelece a faixa de 40 a 50 dB(A). A magnitude do ruído ambiente da sala de aula da Escola São Judas Tadeu, com 67,8 dB(A), é 61 vezes o valor do limite superior recomendado. Possivelmente, este valor mais elevado se deu em virtude da ocorrência de intervalo escolar durante o procedimento das medições. O interior da sala analisada pode ser observado pela Figura 5.

No que concerne ao erro-padrão das medidas executadas para determinação do nível de ruído ambiente, pode ser observado que os erros foram superiores a 2 dB nas salas de aula das escolas Durval Braga, com erro-padrão de 2,1 dB e Francisco J. dos Santos, com 2,9 dB. Nas demais, o valor esteve inferior ou igual a 2 dB, indicando que o número

de medidas foi suficiente para caracterização do nível de ruído.

Devido aos elevados valores de TR observados, observa-se, naturalmente, a necessidade de elevar a absorção destas salas, considerando com uma das intervenções viáveis para correção. Uma das medidas aplicadas pode ser a implantação de painéis absorventes sonoros. Com a adoção destes dispositivos, é possível atingir valores adequados para o TR, promovendo maior inteligibilidade da fala, conforto acústico e, conseqüentemente, maior rendimento dos alunos.

A título de exemplo, para o caso das salas de aula, propõe-se utilização de painel existente no mercado do tipo rígido, absorvedor acústico, constituído por lã de vidro aglomerada com resinas sintéticas e com revestimento na face aparente e lateral, e possui também a função de isolamento térmica. Suas dimensões são: 2,7 (m) de comprimento x 1,2 (m) de largura, possuindo 25 mm de espessura.

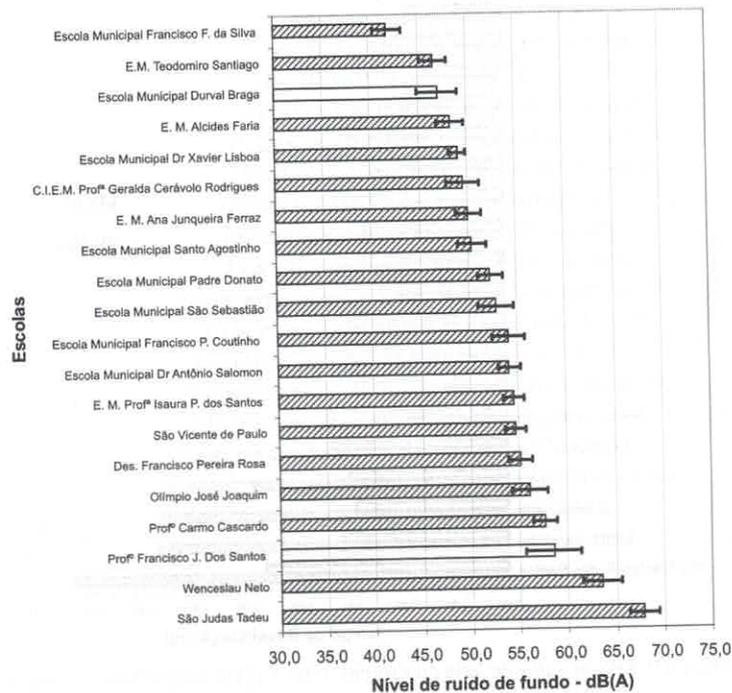


Figura 4: Distribuição das salas das escolas quanto aos valores das médias dos níveis de ruído ambiente, em dB(A), e respectivos erros-padrão.



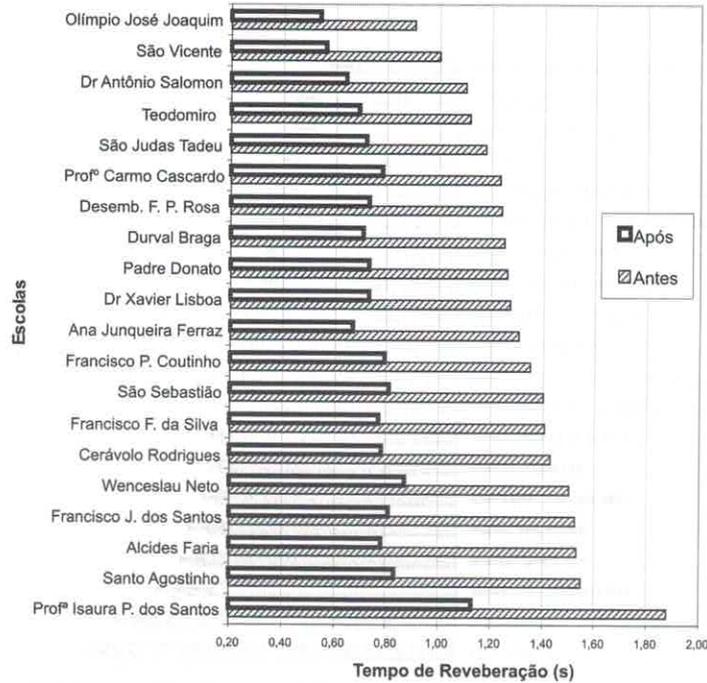
Figura 5: Vista interna de sala de aula da Escola São Judas Tadeu.

Para efeito de cálculo, considerou-se a implantação de cinco destes painéis citados anteriormente em cada sala, ocupando, assim, uma área de 16,2 m<sup>2</sup> nas paredes laterais da sala. Também foram considerados os seguintes coeficientes de absorção sonora do painel, conforme exibidos na Quadro (3):

**Quadro 3:** Coeficientes de absorção sonora do painel absorvente

Coeficiente de absorção sonora (a)							
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Coeficiente	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	0,8

Os resultados destas intervenções, a adoção de painéis absorventes nas salas podem ser observados na Figura 6, apresentando os valores de TR anteriores e posteriores.

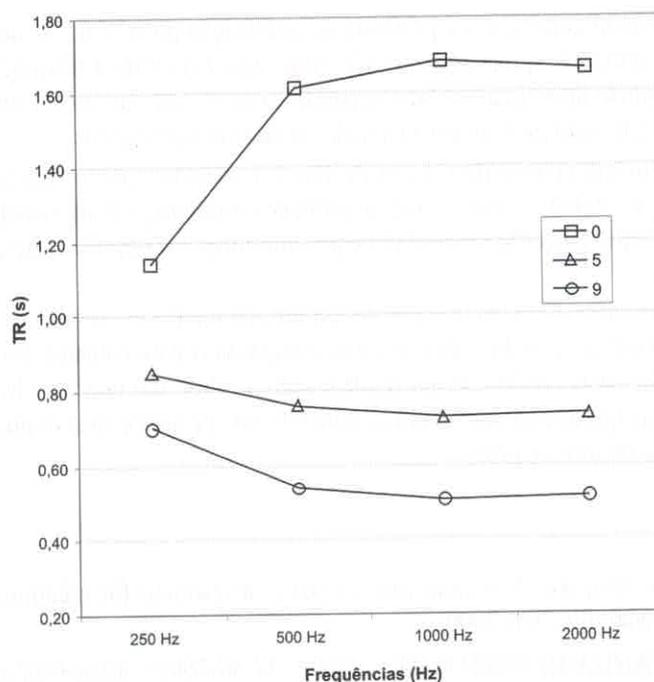


**Figura 6:** Valores de TR para as salas de aula analisadas antes e após a instalação de painéis absorventes

Pela análise da Figura 5, nota-se que, a implantação de painéis de absorção sonora nas salas de aula, como discutido anteriormente, traria benefícios a apenas 10% das salas, que apresentariam o valor de TR inferior a 0,6s, conclui-se que esta intervenção hipotética seria insuficiente para proporcionar adequação acústica para as salas analisadas.

Este resultado aponta para a necessidade de considerar cada sala como um caso particular. Usando como exemplo a sala da Escola Alcides Faria, que serviu como exemplo para explanação da metodologia. Com a intervenção hipotética, o TR foi reduzido para 0,77s, ainda acima do valor recomendado. Pela adoção de nove painéis de absorção, como os descritos anteriormente, ocupando 44% da área das paredes da sala, o TR seria reduzido para 0,56s, valor considerado adequado para o ambiente.

A Figura 7 apresenta as variações do TR na sala de aula da Escola Municipal Alcides Faria em função do número de painéis instalados. É permitido observar que nas frequências a partir de 250 Hz, a adequação já foi encontrada com a adoção de nove painéis absorventes descritos anteriormente.



**Figura 7:** Valores dos TR por banda de oitava da sala de aula da Escola Municipal Alcides Faria segundo o número de painéis absorventes instalados.

Para atingir o valor desejado, portanto, haveria a necessidade de ampliar a área coberta por estes painéis absorventes ou por meio da escolha de outros com características mais adequadas quanto à capacidade de absorção, ou ainda pela aplicação de outras técnicas.

Embora não tenha sido o escopo deste estudo, outras características construtivas das escolas desempenham papel importante nas questões de saúde e desempenho de estudantes e professores.

No procedimento de caracterização das salas de aula para estimar o TR, foi observado que todas as escolas apresentavam estruturas de alvenaria. No tocante à composição das paredes da sala, verificou-se que 60% delas eram revestidas por reboco. Cimento liso correspondia a 60% dos pisos das salas analisadas; e 70% dos tetos eram também revestidos por reboco.

Nas escolas visitadas não foram observados pontos de umidade excessiva, que podem provocar deterioração à edificação, além de provocar agravos à saúde de seus ocupantes, como asma e sintomas respiratórios entre crianças e adultos (NAP, 2006).

Na expressiva maioria das escolas visitadas, a ventilação era assegurada naturalmente. Este fator ganha importância na medida em que exerce influência na qualidade do ar interior destes ambientes e sua correspondência com a saúde de alunos e professores. Há um crescendo em evidência, de acordo com a literatura na área, que estes fatores, como ventilação deficiente, podem estar correlacionados com absenteísmo de alunos (NAP, 2006).

Condições visuais para o adequado desempenho das atividades escolares, sejam dadas por iluminação natural ou artificial, devem ser objeto básico nestes equipamentos de ensino. Para as denominadas “Escolas verdes” a iluminação natural deve ser extensivamente buscada (NAP, 2006).

Tais variáveis físicas, concernentes à qualidade do edifício escolar, estimulam a empreender outros estudos que permitam analisar estas características e avaliar a sua compatibilidade com a dinâmica escolar.

## 5 Conclusão

Neste trabalho, destacou-se a expressiva necessidade de intervenções sobre as características arquitetônicas de salas de aula de escolas municipais de Itajubá. Os valores dos Tempos de Reverberação observados nestes locais devem ser ajustados, pois em nenhuma delas foi encontrado o recomendado para estes ambientes. Foram registrados ambientes, cujo TR se aproximava de ginásios esportivos, evidenciando uma situação absolutamente inaceitável.

Para tal adequação, a título de exercício, foi proposta a implantação de 16,2 m<sup>2</sup> de um painel absorvente sonoro, o que mostrou ser de eficiência limitada, já que somente 10% das salas atingiram a faixa de valor considerada adequada. Constatou-se que há a necessidade de estudar as salas especificamente com o propósito de definir qual é a intervenção mais viável para a redução do TR, como o número adequado de painéis absorventes.

Este estudo trabalhou com estimativas de valores de TR. É necessário que avaliações quantitativas, empregando equipamentos compatíveis à finalidade, obedecendo a normas correlatas, sejam conduzidas para confrontar estes resultados. Sabe-se que os TR estimados são invariavelmente superiores aos obtidos experimentalmente (ZANNIN *et al* 2005)

Destaca-se que o tema discutido neste estudo representa um parâmetro de relevância nos processos educacional e de trabalho de professores. Tornar as salas de aula ambientes compatíveis para o ensino e o aprendizado é uma atividade que contribui significativamente neste cenário, já que a adequação do TR é um fator que influi diretamente na qualidade de ensino. Interessante que estas questões associadas à acústica da sala de aula e suas implicações sobre o ensino fossem discutidas e consideradas ainda na fase de projeto.

## Referências

- ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. *Classroom acoustics: a resource for creating learning environments with desirable listening conditions*. Melville, NY, 2000.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. *ANSI S 12.60-2002: acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools*. Melville, NY, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10152: níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro, 1987.
- BEHAR, A.; PLENER, R. Noise exposure: sampling strategy and risk assessment. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Akron, v. 45, n. 2, p. 105-109, 1984.
- BERG, R. E.; STORK, D. G. *The physics of sound*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- BERGLUND B.; LINDVALL T.; SCHWELA D. H., (Org.). *Guidelines for community noise*. Geneve: World Health Organization, 1999.
- BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- BISTAFA, S. R.; BRADLEY J. S. Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *Journal of the Acoustical Society of America*, New York, v. 107, n. 2, p. 861-75, 2000.
- BRADLEY, J. S. Optimising sound quality for classrooms, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2., 2002, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: SIBRAMA, 2002. p. 1-15.
- CELANI, A. C.; COSTA FILHO, O.A. O ruído em atividades de lazer para crianças e jovens. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, Carapicuíba, SP, v. 3, n. 2, p. 37-40, 1991.
- GERGES, S. N. Y. *Ruído: fundamentos e controle*. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- JAMIESON, D.G. et al. Speech intelligibility of young school-aged children in the presence of real-life classroom noise. *Journal of the American Academy of Audiology*, Reston, v. 15, n. 7, p. 508-517, 2004.
- KNECHT, H. A. et al. Background noise levels and reverberation times in unoccupied classrooms: predictions and measurements. *Journal of the American Academy of Audiology*, Rockville, v. 11, n. 2, p. 65-71, 2002.
- MAXWELL, L. E.; EVANS G. W. The effect of noise on pre-school children's pre-reading skill. *Journal of Environmental Psychology*, London, v. 20, n.1, p. 91-97, 2000.
- NELSON, P. B.; SOLI, S. D.; SELTZ, A. *Classroom acoustics II: acoustics barriers to learning*. Melville: Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America, 2002.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Green schools: attributes for health and learning*. Washington DC: NAP, 2006. Disponível em <[http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=11756](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11756)>. Acesso em: 18 maio 2009.

- PICARD, M.; BRADLEY, J. S. Revisiting speech interference in classrooms. *Audiology*, New York, v. 40, n. 5, p. 221-244, 2001.
- SHIELD, B.; DOCKRELL, J. E. External and internal noise surveys of London primary schools. *Journal of the Acoustical Society of America*, New York, v. 115, n. 2, p. 730-738, 2004.
- SKARLATOS, D.; MANATAKIS, M. Effects of classroom noise on students and teachers in Greece. *Percept Mot Skills*, Missoula, v. 96, n. 2, p. 539-544, 2003.
- ZANNIN, P. H. T. et al. Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 75-85, 2005.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Luiz Felipe Silva**

Engenheiro mecânico pela Universidade de Mogi das Cruzes (1981), mestrado em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (1995) e doutorado em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (2002). Atualmente é professor adjunto no Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Vinculado ao Programa Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, no qual orienta dissertações de mestrado.

### **Renan Gaspar M. Moraes**

Aluno de graduação do 4º ano de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Recebido em:** 11. 02.2009

**Aceite em:** 13.08.2009

**Revisado em:** 28.10.2009