

## **DESEMPENHO ACÚSTICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS DE SALAS DE AULA: AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO AÉREO DE UM SISTEMA COMPOSTO POR PAINÉIS DO TIPO SANDUÍCHE**

**Jôssandra Rodrigues (1); Thayse Nunes (2); Maria Lúcia Oiticica**

- (1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo- DEHA/UFAL, arq.jossandra@gmail.com.
- (2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo- DEHA/UFAL, thaysenunes.arq@gmail.com
- (3) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, mloiticica@hotmail.com  
Universidade Federal de Alagoas.

### **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o isolamento sonoro aéreo de vedações verticais de salas de aula constituídas por painéis do tipo sanduíche compostos por chapas de pvc e eps. Após a seleção do objeto de estudo, foram realizadas medições do nível de pressão sonora na edificação a fim de se obter o nível de isolamento em diferentes situações: a) entre salas de aula b) entre sala de aula e corredor e c) isolamento sonoro aéreo da fachada. Os resultados obtidos revelaram um fato preocupante: as vedações não apresentam níveis de isolamento acústico satisfatórios, visto que se encontram muito abaixo dos valores que o RRAE-Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (2008) estabelece como aceitável para edificações escolares. Uma sala de aula que não possui isolamento acústico adequado encontra-se mais suscetível à entrada de ruídos advindos de diversas fontes sonoras, o que acarreta em condições pobres de inteligibilidade e ensino. Sendo assim, torna-se evidente a necessidade da implementação de uma metodologia projetual eficiente que proporcione melhores condições acústicas para estes espaços.

Palavras-chave: qualidade acústica, edificações escolares, isolamento sonoro, ruído aéreo.

### **ABSTRACT**

The present study has like objective to value the air resonant isolation of vertical fences of classrooms constituted for panels of the type sandwich composed by plates of pvc and eps. After the selection of the object of study, there were carried out measurements of the level of resonant pressure in the construction in order that the isolation level was obtained in different situations: a) between classrooms b) between classroom and corridor and c) air resonant isolation of the front. The obtained results revealed a worrying fact: the fences do not present satisfactory levels of acoustic isolation, so much they present values below what the RRAE- Regulation Acoustic of the Buildings (2008) it establishes how acceptable for school constructions. A classroom that has not appropriate soundproofing is more sensitive to the entry of noises resultant of several resonant fountains, what it brings in poor conditions of intelligibility and teaching. Being so, it becomes obvious the necessity of the implementation of a methodology projetual efficient what provides better acoustic conditions for these spaces.

Keywords: acoustic quality, school buildings, sound insulation, airborne noise.

## **1. INTRODUÇÃO**

Vários fatores interferem na qualidade do ambiente de ensino e posteriormente no rendimento do aluno em sala de aula. A própria arquitetura pode exercer influência direta no clima psicológico do ambiente escolar de modo que problemas relacionados a uma má qualidade acústica podem criar ambientes caóticos, sem disciplina e com deficiências na comunicação verbal entre alunos e professores (KOWALTOWSKI, 2011).

O ruído interfere na capacidade de atenção do indivíduo podendo reduzir o rendimento no trabalho. Segundo a WHO (2001), níveis sonoros excessivos em espaços escolares, além de influenciarem a qualidade da comunicação verbal, acarretam uma série de problemas no desenvolvimento intelectual dos alunos como: demora na aquisição da linguagem, dificuldades com a linguagem escrita e falada, limitações na habilidade de leitura e na composição do vocabulário.

Em salas de aula com níveis sonoros elevados, o ruído também pode comprometer a saúde vocal dos professores, além de ocasionar problemas relacionados à audição e distúrbios no sistema nervoso. De um modo geral, os professores enfrentam diversos problemas que vão desde o excesso de trabalho, a má remuneração e até mesmo, as más condições físicas do ambiente de trabalho: número elevado de alunos dentro das turmas; excesso de ruído; salas de aula sem refrigeração e sem uma boa qualidade acústica; utilização de ventiladores barulhentos, entre outros. Tais fatores acabam contribuindo para o aumento do número de afastamentos de tais profissionais do exercício de ensino.

Entre as principais fontes geradoras de ruído em ambientes escolares destacam-se: o ruído externo proveniente do tráfego de veículos e dos equipamentos localizados no entorno da edificação e os ruídos provocados pelas fontes internas tais como: pátios, corredores, salas adjacentes, lanchonetes, ginásios esportivos, entre outros. Em sala de aula, o aluno fica submetido a dois tipos de estímulos: o principal que é a voz do professor, ao qual ele deverá direcionar toda a sua atenção, e o secundário, que é o ruído competitivo, ao qual o aluno deverá ser capaz de negligenciá-lo para que a mensagem principal não seja distorcida. Sendo assim, torna-se extremamente necessário limitar os níveis do ruído de fundo no interior destes espaços.

Por outro lado, a indústria da construção civil vem investindo cada vez mais em novos sistemas construtivos onde são utilizados materiais mais leves do que os convencionais, o que possibilita a facilidade de execução da obra, assim como, a diminuição de custos e prazos. Como exemplo, pode-se destacar os painéis pré-fabricados do tipo sanduíche que consiste basicamente por duas placas (faces finas) de um material resistente, intercaladas por uma camada de outro material, em geral de baixa densidade.

De acordo com Gagliardo; Mascia (2010), o sistema construtivo que se utiliza de painéis do tipo sanduíche proporciona boas características de resistência e de isolamento térmico e acústico, podendo ser uma alternativa vantajosa em relação a outros tipos tradicionais de construção, como os que utilizam paredes de alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o isolamento acústico aéreo de vedações verticais de salas de aula de uma instituição de ensino que possui um sistema construtivo composto por painéis sanduíche constituídos por duas chapas de pvc intercaladas por eps.

## **2. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o isolamento acústico aéreo de vedações verticais de uma sala de aula onde foram utilizados painéis do tipo sanduíche constituídos por duas chapas de pvc intercaladas por eps. Através deste estudo, pretende-se contribuir para uma maior conscientização acerca da necessidade de uma maior atenção referente aos aspectos acústicos em projetos escolares.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas principais:

1. Definição e caracterização do objeto de estudo;
2. Realização das medições em campo;
3. Sistematização dos dados através do software dB Bati 32;
4. Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios;

### **3.1. Definição e caracterização do objeto de estudo**

As salas de aula estudadas estão localizadas no prédio onde funciona uma das unidades da FITS- Faculdade Integrada Tiradentes. O edifício está localizado na cidade Maceió-AL, defronte a Avenida Cachoeira do Meirim, que dá acesso ao bairro Benedito Bentes, um dos bairros mais populosos da cidade. O terreno onde a

edificação foi inserida está situado em uma área próxima às vias de tráfego de alto fluxo de veículos (Figura1), o que contribui para uma maior interferência do ruído externo dentro da edificação.



Figura 1: Localização do terreno onde foi implantado o objeto de estudo.

A edificação foi construída e é composta basicamente por um bloco retangular com dois pavimentos (térreo e superior) onde estão localizadas as salas de aula (Figura 2).



Figura 2: Planta baixa do Pavimento térreo da instituição de ensino.

O acesso às salas é feito através da circulação aberta. Toda a edificação possui basicamente um mesmo sistema construtivo com as paredes compostas por painéis do tipo sanduíche constituídos por duas placas de pvc intercaladas por eps (Figura 3). Os painéis são produzidas pela própria construtora e possuem as seguintes dimensões: 1,0 metro de comprimento, 3 metros de altura e 5cm de espessura. A junção das placas é realizada através de encaixe tipo macho e fêmea, evitando assim, que algum outro tipo de material seja englobado ao sistema.

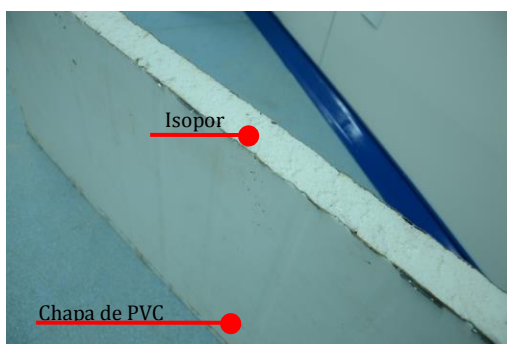


Figura 3: Amostra da parede que compõe a edificação.

As salas de aula e circulações possuem forros com o mesmo sistema das paredes. Segundo o fabricante, o eps possui um tratamento anti-chamas que evita a propagação do fogo em caso de incêndio. As janelas são de correr (alumínio e vidro) e as portas são de madeiras e vidro. (Figura 4)



Figura 4: Sala de aula da edificação escolar.

### 3.2 Medições em campo

Para estimar o nível de isolamento sonoro aéreo das partições verticais, foram realizadas medições do nível de pressão sonora na edificação nos dias 13, 14 e 15 de maio de 2005 no período vespertino. Foram executadas através do método de engenharia baseado em medições diretas dos níveis de pressão sonora de acordo com as normas internacionais: ISO 140-4 (1998); ISO140-5 (1998). Vale ressaltar que tais normas foram substituídas pela ISO 16283-1(2014). No entanto, a mesma não foi utilizada no desenvolvimento do trabalho pois, no período de realização das medições, ainda não havia sido disponibilizada para as pesquisas da universidade.

Os equipamentos utilizados foram: um medidor de intensidade Sonora da marca 01dB modelo Solo, um calibrador acústico classe 1 Cal 21 da marca 01dB, uma caixa acústica amplificada do modelo Top 500 da marca Stanera, dois notebooks (um com o programa dBbati32 para obtenção dos dados das medições e o outro para emissão do ruído branco conectado à caixa amplificada). O medidor foi configurado para operar no modo Escravo, ou seja, acoplado através de um cabo USB ao notebook, de modo que os resultados são transferidos automaticamente para o computador, sendo visualizados e armazenados através do software dBbati32.

Também foram utilizados: um tripé para apoiar o medidor, cabo USB para interligar o notebook ao medidor, cabo para conexão do notebook com o ruído branco à caixa amplificada, extensão elétrica para ligar todos os equipamentos e balões de borracha para medição do tempo de reverberação (Figura 5).



Figura 5: Equipamentos utilizados para medição.

Buscou-se a obtenção dos níveis de isolamento acústico em três situações: a) divisória entre as salas de aula b) divisória entre sala de aula e corredor e c) divisória de fachada. Nas medições internas entre dois ambientes, um é considerado emissor, no qual o som é gerado, e o outro ambiente, o receptor. Todas as medições foram realizadas de acordo com as normas: ISO 140-4 (1998), que estabelece os procedimentos para a realização das medições do isolamento sonoro ao ruído aéreo entre recintos; ISO 140-5 (1998), que determina os procedimentos para a realização das medições do isolamento sonoro ao ruído aéreo de fachadas; ISO 717-1 (1996), que determina os procedimentos para o cálculo da diferença de nível padronizado ponderado (número único); e a ISO 3382 (1997) que trata dos procedimentos para as medições do tempo de reverberação.

Ensaio acústico geralmente utilizam o ruído branco ou o rosa. O primeiro apresenta um nível constante para todas as frequências do espectro, sendo frequentemente utilizado na obtenção da função de

transferência de sistemas, como é o caso deste estudo. O ruído rosa apresenta um nível que decai 3dB por oitava, como o som da TV fora de sintonia, e é empregado na análise de sistemas acústicos com filtros de larguras de bandas de porcentagem constante (BISTAFA, 2006). Assim, para as medições de isolamento de ruído aéreo entre recintos e de fachadas foi adotado o ruído branco e a faixa de frequência de bandas de 1/3 de oitava, entre 125Hz a 4000Hz.

Antes de iniciar as medições, conforme recomendação da NBR 10151 (ABNT, 2000), foi feita a aferição do medidor de pressão sonora com o calibrador acústico. Todas as medições foram realizadas com portas e janelas fechadas.

### 3.2.1 Isolamento sonoro entre salas de aula

Para avaliação do isolamento sonoro entre salas, o procedimento de medição estabelecido foi: medições do nível de pressão sonora no ambiente emissor ( $L_1$ ) com a fonte posicionada em dois pontos da sala emissora (F1 e F2), e o medidor de pressão sonora em cinco posições no mesmo ambiente (P1, P2, P3, P4 e P5), situação 1 (Figura 6). Para a obtenção do nível de pressão sonora no ambiente receptor ( $L_2$ ), foi repetido o mesmo procedimento, colocando, porém, o medidor em cinco posições no ambiente receptor (P1, P2, P3, P4 e P5), situação 2 (Figura 7). Nessas situações, o software dBati32 foi configurado para a função “espectro padrão”, a qual permite apresentar os resultados por faixas de frequência e o nível de pressão equivalente ( $Leq1$  e  $Leq2$ ). Cada medição teve duração de 2 minutos.

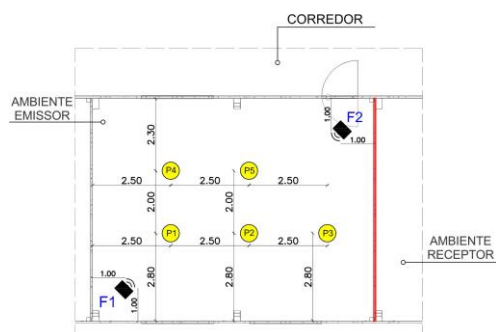


Figura 6: Situação 1 – Ambiente Emissor

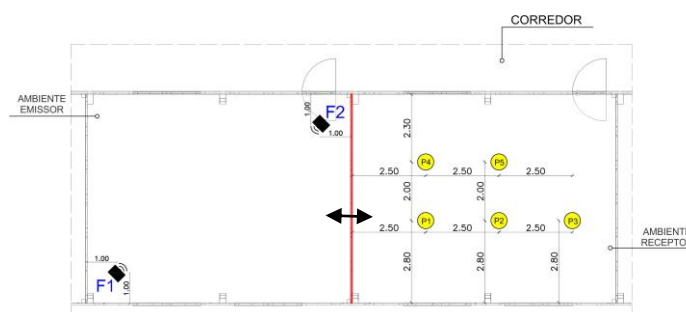


Figura 7: Situação 2 – Ambiente Receptor

### 3.2.2 Isolamento sonoro entre corredor e sala de aula

Assim como no item anterior, as medições no ambiente emissor (corredor) foram realizadas com a fonte posicionada em dois pontos do corredor (F1 e F2), e com o medidor de pressão sonora em cinco posições no mesmo ambiente (P1, P2, P3, P4 e P5), situação 3 (Figura 8). Para a obtenção do nível de pressão sonora na sala receptora (sala 1), foi repetido o mesmo procedimento, colocando, porém, o medidor em cinco posições no ambiente receptor (P1, P2, P3, P4 e P5), situação 4 (Figura 9). Cada medição teve duração de 2 minutos.

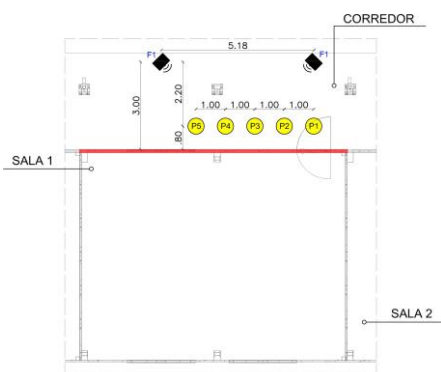


Figura 8: Situação 3 – Corredor (Emissão e Recepção)

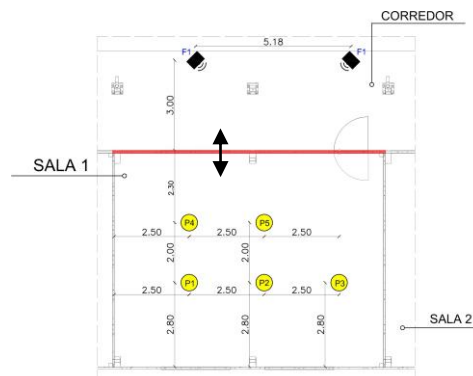


Figura 9: Situação 2 – Corredor (Emissão) e Sala 2 (Recepção)

### 3.2.3 Isolamento sonoro entre fachada e sala de aula

O método de engenharia para a medição de isolamento de ruído aéreo de fachadas é descrito na ISO 140-5 (1998). O primeiro passo das medições foi gerar um campo sonoro exterior, com o método de alto-falantes, utilizando o ruído branco, com a fonte emissora posicionada de modo a formar um ângulo de 45° em relação à normal da fachada. Cada medição teve duração de 6 segundos.



A fonte foi posicionada em dois locais diferentes do lado de fora (F1 e F2). Para a obtenção do nível de pressão sonora no emissor, situação 5 (Figura 10), o medidor foi posicionado em três pontos a 2m da fachada, e em seguida, para a medição do ruído no ambiente receptor (sala 2), manteve-se as mesmas posições das fontes (F1 e F2) e os microfones foram posicionados em cinco pontos diferentes dentro do ambiente receptor com espaçamento uniforme, tendo como distâncias mínimas: 0,7m entre os pontos do microfone; 0,5m do perímetro do ambiente ou de demais objetos; 1,0m entre qualquer posição do microfone e a fonte sonora, situação 6 (Figura 11).

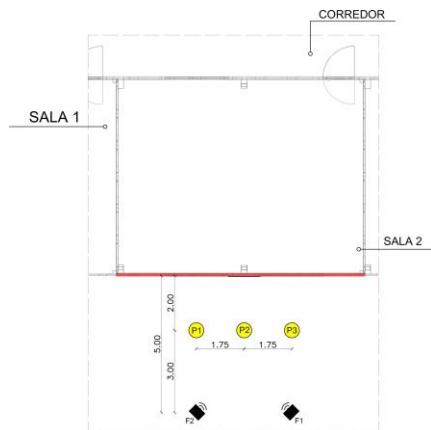


Figura 10: Situação 5 – Fachada (Emissão e Recepção)

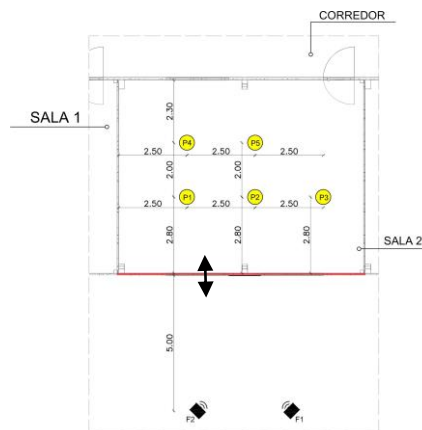
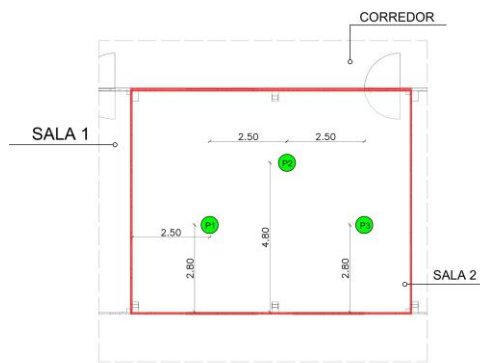


Figura 11: Situação 6 – Fachada (Emissão) e Sala 2 (Recepção)

### 3.2.4 Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação

Para as medições do ruído de fundo posicionou-se o medidor de pressão em três pontos dentro do ambiente receptor (sala 2). Esta medição foi realizada com a fonte desligada.

Para as medições do tempo de reverberação, adotou-se os mesmos pontos do ruído de fundo. O método adotado foi a da resposta impulsiva com o estouro de balões de borracha como fonte e três posições de microfone, com três estouros para cada posição (Figura 12). Cada medição teve duração de 6 segundos.



Situação 7: TR e Ruído de Fundo (Sala Receptora)

Figura 12: Situação 7 – TR e Ruído de Fundo (Sala Receptora)

### 3.3 Sistematização de dados através do software dB Bati 32

Após a conclusão das medições, foram calculadas as médias dos valores obtidos em cada ponto de medição para cada situação, os resultados foram organizados em tabelas e sistematizados de modo a facilitar a análise. Para cada situação, o primeiro passo foi verificar a necessidade de aplicar as correções, de acordo com os resultados do ruído de fundo. Segundo a ISO 140-4 (1998), quando a diferença entre o nível de pressão sonora na sala receptora (L2) e o de ruído de fundo (B2) for menor que 6dB, deve-se subtrair 1,3dB de L2. Caso a diferença entre o nível de pressão sonora e o de ruído de fundo fique entre 6dB e 10dB: usar a Equação 1 :

$$L = 10\log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})$$

Onde:

L= nível de sinal ajustado (dB);

Lsb = nível de sinal e o ruído de fundo combinados (dB);

Lb = nível de ruído de fundo (dB)

Logo após a verificação das possíveis correções, aplicou-se a equação 2 para o cálculo do DnT:

$$DnT = Leq1 - Leq2 + 10 \log T / T_o \quad \text{Equação 2}$$

Onde: T = tempo de reverberação da sala de recepção, em segundos;

T<sub>o</sub> = tempo de reverberação de referência em edificações, correspondente a 0,5s para salas com até 100m<sup>3</sup>

Em seguida, foi elaborado o cálculo para a obtenção da Diferença do nível ponderado DnT,w, também conhecido como número único, aplicando os métodos da ISO 717-1 (1996). O mesmo procedimento foi aplicado na obtenção da Diferença Padronizada de Nível a 2 metros (D2m,nT) e da Diferença Padronizada de Nível Ponderada, a 2 metros da fachada (D2m,nT,w).

### 3.4. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE- inicialmente aprovado pelo Dec. lei nº 129/2002 de 11/05 e alterado pelo Dec. Lei nº 96/2008 de 09/06) visa regular a vertente do conforto acústico nas edificações contribuindo para a melhoria da qualidade acústica e para o bem estar e saúde da população. Tem como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos.

Para edifícios escolares e similares, a regulamentação segue uma linha de orientação endereçando a problemática da relação sinal-ruído e do ruído de fundo máximo admissível no interior dos espaços. O RRAE apenas especifica, de forma explícita, valores máximos admissíveis recomendados para o nível de avaliação, L<sub>Ar,nT</sub>, no interior dos principais espaços escolares, resultante de equipamentos internos. Para salas de aula, fica estabelecido como ruído de fundo máximo admissível os valores de 35 dB(A) se o funcionamento do ambiente for intermitente e 30 dB(A) se o funcionamento for contínuo. (Ver tabela 1)

Tabela 1: Valores máximos admissíveis recomendados para o nível de avaliação, L<sub>Ar,nT</sub> no interior dos principais espaços escolares, resultante de equipamentos internos.

Locais	Nível de avaliação, L <sub>Ar,nT</sub> [dB (A)]
Biblioteca, salas de aula, salas de aula de música	L <sub>Ar,nT</sub> ≤ 35 (se o funcionamento do equipamento for intermitente) L <sub>Ar,nT</sub> ≤ 30 (se o funcionamento do equipamento for contínuo)
Salas polivalentes, salas de professores, gabinetes médicos, salas administrativas, refeitórios, ginásios, oficinas	L <sub>Ar,nT</sub> ≤ 40 (se o funcionamento do equipamento for intermitente) L <sub>Ar,nT</sub> ≤ 35 (se o funcionamento do equipamento for contínuo)

#### 3.4.1 Isolamento sonoro entre espaços interiores

O objetivo do isolamento sonoro consiste na redução do ruído transmitido por excitação aérea através dos elementos divisórios verticais e horizontais. Os valores mínimos recomendados pelo RRAE para o isolamento sonoro entre os diversos espaços interiores dos edifícios escolares encontram-se especificados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores mínimos recomendados para o índice DnT,w[dB], entre espaços interiores escolares escolares.

Locais de recepção \ Locais de emissão	Locais de recepção		
	Bibliotecas	Salas de aula*, salas de estudo (individual, preparação de aulas), gabinetes médicos	Salas polivalentes, salas de professores, administrativas
Salas de aula	≥ 48	≥ 45	≥ 45
Salas polivalentes, salas de professores, administrativas	≥ 55	≥ 50	≥ 50
Salas de aula de música, refeitórios, ginásios e oficinas	≥ 58	≥ 55	≥ 50
Corredores de grande circulação**	≥ 35	≥ 30	≥ 30

(\*) Incluindo salas de aula de música.

(\*\*) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.

#### 3.4.2 Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e interior dos edifícios

O isolamento sonoro proporcionado pelos elementos de fachada dos edifícios escolares deverá ter em consideração as características de ruído ambiente existentes, ou previstas, na envolvente exterior da escola.

Em consonância com as determinações regulamentares vigentes em Portugal, que preconizam a classificação das áreas urbanas em “zonas sensíveis” e em “zonas mistas”, e admitindo que em cada uma delas os níveis médios de ruído ambiente, diferenciados, não ultrapassem os valores limite superiores que as definem, recomenda-se que os requisitos mínimos para o isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e os diversos espaços geralmente constantes das instalações escolares sejam como especificado na Tabela 3, através do índice  $D_{2m,nT,w}$ .

Para a avaliação dos resultados será considerado o primeiro parâmetro, já que a instituição está inserida numa zona sensível.

Tabela 3: Valores mínimos recomendados para o índice  $D_{2m,nT,w}$  entre o exterior e os espaços interiores do edifício

Local de implantação da escola	Índice de isolamento sonoro da fachada, $D_{2m,nT,w}$ [dB]
zona sensível	$\geq 28$
zona mista	$\geq 33$

#### 4. RESULTADOS

As Tabelas (4, 5 e 6) apresentam os resultados obtidos após a aplicação da equação 2 para o cálculo do  $D_nT$ , para cada situação de medição:

Tabela 4: Resultados das medições de isolamento ao ruído aéreo entre salas de aula

Frequência (Hz)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (sala 1) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (sala 2) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - (dB)	Tempo de Reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - (s)	Ruído de fundo do ambiente receptor (dB)
125	83,5	68,4	68,4	1,06	56,4
160	88,8	75,1	75,1	1,51	57,6
200	87,9	69,3	69,3	1,64	54,0
250	88,3	71,7	71,7	1,97	52,0
315	90,2	73,0	73,0	2,07	49,0
400	90,6	73,6	73,6	2,15	44,7
500	90,4	72,5	72,5	2,16	40,8
630	91,0	73,0	73,0	2,00	39,5
800	93,3	76,1	76,1	1,99	40,8
1000	92,3	75,0	75,0	1,98	42,0
1250	88,8	75,8	75,8	1,63	44,1
1600	92,1	76,4	76,4	1,88	44,5
2000	97,2	69,9	69,9	2,32	40,9
2500	96,1	61,8	61,8	2,31	37,7
3150	90,9	52,4	52,4	2,19	33,6
4000	83,9	46,1	46,1	2,00	30,6

Tabela 5: Resultados das medições de isolamento ao ruído aéreo entre sala de aula e corredor

Frequência (Hz)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - (dB)	Tempo de Reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - (s)	Ruído de fundo do ambiente receptor (dB)
125	78,9	71,3	71,3	1,06	56,4
160	81,2	70,3	70,3	1,51	57,6
200	82,9	70,7	70,7	1,64	54,0
250	84,2	69,9	69,9	1,97	52,0
315	83,3	69,1	69,1	2,07	49,0
400	84,2	68,7	68,7	2,15	44,7
500	84,3	67,0	67,0	2,16	40,8
630	85,4	67,2	67,2	2,00	39,5
800	87,8	69,5	69,5	1,99	40,8
1000	85,7	69,2	69,2	1,98	42,0
1250	83,5	67,6	67,6	1,63	44,1
1600	86,1	71,2	71,2	1,88	44,5
2000	90,7	73,9	73,9	2,32	40,9
2500	90,2	71,7	71,7	2,31	37,7
3150	87,7	65,8	65,8	2,19	33,6
4000	81,1	60,5	60,5	2,00	30,6






Tabela 6: Resultados das medições de isolamento ao ruído aéreo entre fachada e sala de aula

Frequência (Hz)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente emissor (L1) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2) - (dB)	Nível de Pressão da fonte ligada medido no ambiente receptor (L2 corrigido) - (dB)	Tempo de Reverberação do ambiente de recepção sonora (T) - (s)	Ruído de fundo do ambiente receptor (dB)
125	79,6	63,3	62,0	1,06	57,4
160	79,5	62,1	60,8	1,51	57,6
200	79,3	61,5	60,2	1,64	56,5
250	79,7	62,3	62,3	1,97	52,0
315	80,2	61,7	61,7	2,07	49,0
400	81,2	61,8	61,8	2,15	44,7
500	82,0	61,4	61,4	2,16	40,8
630	81,8	59,9	59,9	2,00	39,5
800	79,7	59,6	59,6	1,99	40,8
1000	77,7	59,4	59,4	1,98	42,0
1250	78,3	62,1	62,1	1,63	44,1
1600	85,1	68,1	68,1	1,88	44,5
2000	92,9	75,1	75,1	2,32	40,9
2500	91,2	73,0	73,0	2,31	37,7
3150	85,0	64,3	64,3	2,19	33,6
4000	82,8	58,7	58,7	2,00	30,6

Os resultados obtidos foram organizados em uma tabela-resumo (Tabela 7) com o nível de isolamento sonoro para o ruído aéreo de cada situação com a indicação do grau de satisfação em relação aos limites estabelecidos pelo RRAE.

Tabela 7: Síntese do nível de isolamento sonoro para cada situação com a indicação do grau de satisfação.

Parâmetros Acústicos	Emissor/Receptor	Frequências (Hz)																Entre recintos	Fachadas	DnTw (M)	D2m, nTw (M)	Grau de Satisfação
		125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	DnTw (dB)	D2m, nTw (dB)	RRAE (dB)	RRAE (dB)	
D <sub>2m,nT</sub>	Fachada/Sala 2	21	24	24	23	25	26	27	28	26	24	21	23	24	25	27	30	-	25	-	≥ 28	
D <sub>nT1</sub>	Corredor/Sala 2	11	16	17	20	20	22	24	24	24	22	21	21	23	25	28	27	22	-	≥ 30	-	
D <sub>nT2</sub>	Sala1/Sala 2	18	19	24	23	23	23	24	24	23	23	18	21	34	41	45	44	27	-	≥ 45	-	

Como pode ser observado na tabela-resumo, nenhum dos níveis de isolamento obtidos encontra-se dentro do intervalo considerado aceitável pelo RRAE (2008). Sendo assim, verifica-se que, o sistema construtivo utilizado, apesar de apresentar certas vantagens como: facilidade de execução; baixo custo e baixa densidade, não apresenta isolamento acústico satisfatório.

Entre os parâmetros analisados, verifica-se que o nível de isolamento entre as salas de aula foi o mais prejudicado, uma vez que a parede analisada só isola 27dB enquanto o RRAE (2008) estabelece como nível mínimo de isolamento entre tais ambientes: 45dB. De acordo com Lahtela (2005), uma parede que isola até 30 dB não impede um vizinho de ouvir o outro. Na prática, este nível indica que o ruído produzido numa determinada sala em horário de aula será facilmente transferido para a outra sala adjacente. Em relação ao isolamento da fachada, verifica-se, que foi o parâmetro que chegou mais próximo ao valor que o regulamento estabelece como satisfatório. A diferença para que o mesmo atingisse o grau de satisfação foi de 3dB. Em relação ao ruído de fundo, o valor máximo obtido na sala de aula foi de 57,6 dB. Vale ressaltar que, nesta medição, a sala encontrava-se vazia e com a fonte desligada, ou seja, para o professor conseguir ministrar a sua aula neste ambiente, o mesmo teria que elevar a sua voz para, no mínimo, para 72,6 dB para garantir uma razão sinal/ruído de 15dB.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise final dos resultados pode-se afirmar que a edificação estudada não foi projetada considerando os aspectos acústicos como norteadores de projeto. A edificação está implantada em um terreno voltado para uma via de alto tráfego de veículos, portanto, as salas de aula deveriam estar protegidas do ruído externo. Este problema deveria ser resolvido nos primeiros momentos da elaboração do projeto

através de setorizações e fluxogramas, até a fase de especificação de materiais construtivos que atenuassem o ruído dentro das salas de aula.

O sistema construtivo empregado, apesar de apresentar algumas vantagens em relação à facilidade de execução da obra, não é adequado ao fim para o qual a edificação se destina, uma vez que não apresenta isolamento acústico adequado, item de fundamental importância para uma boa qualidade acústica em ambientes de ensino além de reforçar a importância de levantamentos acústicos em novos sistemas construtivos antes de serem empregados nas construções, uma vez que corrigir os problemas em edifícios construídos se torna muito mais dispendioso do que evitá-los na etapa do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 10151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blucher, Sao Paulo, 2006.
- GAGLIARDO, Débora Pierini; MASCIA, Nilson Tadeu. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. **Ambiente construído**, vol.10, n.4, p 247-25, 2010.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. 2nd ed. Suíça, 1996.
- \_\_\_\_\_. **ISO 140-4:1998 (E)**, Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Suíça, 1998.
- \_\_\_\_\_. **ISO 140-5:1998 (E)**, Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Suíça, 1998.
- \_\_\_\_\_. **ISO 3382**. Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 2nd ed. Suíça, 1997.
- \_\_\_\_\_. **ISO 16283-1**. Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. Suíça, 2014.
- LAHTELA, Tero. **Sound Insulation - Guidelines for wooden residential buildings**. Wood Focus: Finlândia. 2005. 114p.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS | WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Résumé d'orientation des directives de l'oms relatives au bruit dans l'environnement [on-line]. Geneve; 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/homepage/primers>>. Acesso em: 25 mai. 2014.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios- **RRAE**, Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio.