

Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo¹
 Juliana Nunes Santos²
 Rafaella Cristina Oliveira¹
 Max de Castro Magalhães³

Descritores

Acústica
 Ruído
 Inteligibilidade da Fala
 Aprendizagem
 Saúde Escolar

Keywords

Acoustics
 Noise
 Speech Intelligibility
 Learning
 School Health

Endereço para correspondência:

Max de Castro Magalhães
 Departamento de Engenharia de Estruturas,
 Universidade Federal de Minas Gerais
 Avenida Antônio Carlos, 6.627, Campus
 Pampulha, Belo Horizonte (MG), Brasil,
 CEP: 31270-901.
 E-mail: maxdcm@gmail.com

Recebido em: 17/02/2014

Aceito em: 04/08/2014

CoDAS 2014;26(5):360-6

Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes

Effect of classroom acoustics on the speech intelligibility of students

RESUMO

Objetivo: Analisar os parâmetros acústicos de salas de aula e relação do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), tempo de reverberação (T_{30}) e *Speech Transmission Index* (STI) com o desempenho de estudantes em teste de inteligibilidade de fala. **Métodos:** Estudo transversal descritivo com análise do desempenho acústico de 18 salas de aula de nove escolas públicas do município de Belo Horizonte. Foi realizada medição dos parâmetros acústicos de L_{eq} , T_{30} e STI. Foi aplicado um teste de inteligibilidade de fala em 273 estudantes das nove salas de aula avaliadas, com média de idade de 9,4 anos, sendo 45,4% do sexo masculino. Os resultados do teste de inteligibilidade de fala foram relacionados aos valores dos parâmetros acústicos por meio do teste *t* de Student. **Resultados:** Os parâmetros de L_{eq} , T_{30} e STI foram obtidos nas salas de aulas vazias e mobiliadas. As crianças apresentaram melhores resultados no teste de inteligibilidade de fala nas salas de aula com menor ruído, menor tempo de reverberação e maior STI. A maioria das salas de aula não atende às recomendações das normas regulamentadoras para bom desempenho acústico. **Conclusão:** Os parâmetros acústicos influenciam diretamente na inteligibilidade de fala dos estudantes, sendo que o ruído contribuiu para diminuição da compreensão da mensagem oral por parte dos estudantes, o que pode trazer consequências negativas para o percurso escolar e inserção social do futuro profissional.

ABSTRACT

Purpose: To analyze the acoustic parameters of classrooms and the relationship among equivalent sound pressure level (L_{eq}), reverberation time (T_{30}), the Speech Transmission Index (STI), and the performance of students in speech intelligibility testing. **Methods:** A cross-sectional descriptive study, which analyzed the acoustic performance of 18 classrooms in 9 public schools in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, was conducted. The following acoustic parameters were measured: L_{eq} , T_{30} , and the STI. In the schools evaluated, a speech intelligibility test was performed on 273 students, 45.4% of whom were boys, with an average age of 9.4 years. The results of the speech intelligibility test were compared to the values of the acoustic parameters with the help of Student's *t*-test. **Results:** The L_{eq} , T_{30} , and STI tests were conducted in empty and furnished classrooms. Children showed better results in speech intelligibility tests conducted in classrooms with less noise, a lower T_{30} , and greater STI values. The majority of classrooms did not meet the recommended regulatory standards for good acoustic performance. **Conclusion:** Acoustic parameters have a direct effect on the speech intelligibility of students. Noise contributes to a decrease in their understanding of information presented orally, which can lead to negative consequences in their education and their social integration as future professionals.

Trabalho realizado nos Departamentos de Fonoaudiologia e Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

(1) Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

(2) Departamento de Fonoaudiologia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

(3) Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

Conflito de interesses: nada a declarar.

INTRODUÇÃO

O ruído em salas de aula é um tema muito discutido atualmente devido aos riscos à saúde e às possíveis interferências que ele pode causar nas atividades escolares^(1,2). Sabe-se que situações de ensino-aprendizagem adequadas dependem de boas condições acústicas.

Entre os danos causados pelo ruído competitivo em sala de aula, podem-se citar prejuízos físicos, emocionais e educacionais. Podem ocorrer alterações dos limiares de audição, zumbido, cansaço, esforço maior para concentração, perda de parte do conteúdo ensinado, esforço vocal e inteligibilidade de fala⁽³⁾.

A comunicação oral sofre interferências do ruído, um fator competitivo com a voz do professor, que compromete a inteligibilidade da fala, sendo capaz de prejudicar tanto os alunos quanto os professores⁽³⁾. Esses profissionais necessitam aumentar seu volume de voz para serem compreendidos e, ao mesmo tempo, o esforço dos alunos para compreender a mensagem falada é muito maior^(3,4).

Muitos dos problemas do ruído em sala de aula podem ser maiores devido à acústica inadequada da sala. Parâmetros acústicos, como o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), tempo de reverberação e *Speech Transmission Index* (STI), podem ser utilizados para avaliar se uma sala está dentro dos padrões ideais para uma boa condição acústica para a aprendizagem. Existem normas que regulamentam esses parâmetros e podem auxiliar em projetos de construção de ambientes escolares com acústica adequada^(5,6). A norma americana ANSI S12.60 (2010), por exemplo, define que o ruído medido em salas desocupadas não deve exceder 35 dB e o tempo de reverberação deve ser de, no máximo, 0,6 s⁽⁵⁾. No Brasil, não há ainda uma norma específica para salas de aula, com padronização para todos esses parâmetros acústicos. A NBR 10152 (1987), que é uma norma brasileira para ruído em ambientes, em revisão no momento, pretende modificar o valor de ruído em salas de aula permitidos atualmente de 40 dB(A) (nível de conforto) a 50 dB(A) (nível aceitável) para o valor máximo de 35 dB(A)⁽⁷⁾.

Quando as salas de aula são construídas a partir de um projeto acústico criterioso, a comunicação ocorrerá de forma que a diferença entre o sinal (fala) e o ruído será de +15 dB, ou seja, o sinal de fala ficará 15 dB acima do ruído. Nessas salas, teoricamente, todos os estudantes teriam acesso auditivo completo da mensagem falada⁽⁸⁾. Para que a fala do professor possa ser inteligível numa sala em que o ruído está em torno de 45 dB(A), como geralmente é sugerido pelas normas, o professor teria que emitir sua voz em torno de 65 dB e, para uma voz alta, porém sem gritar, poderia chegar a até 75 dB(A). Considera-se que o ruído se torne insalubre quando alcança níveis acima de 70 dB(A), podendo acarretar reações fisiológicas como estresse, infarto, perda auditiva e disfonias⁽⁹⁾.

A *Acoustical Society of America*, a partir da análise de várias pesquisas, também recomendou que o nível sonoro global (discurso alvo + ruído) não seja maior do que 70 dB(A) em toda a sala, quando medido com medidor de nível de pressão sonora em escala de ponderação A⁽⁸⁾.

Porém, o que se encontra relatado em pesquisas anteriores são valores acima de 35 dB(A), que é o valor indicado pelas normas. Em estudos nacionais, os valores encontrados foram 46,6 dB(A) em João Pessoa⁽⁴⁾, 50 a 71 dB(A) no Distrito Federal⁽¹⁰⁾, 51,1 a 63,2 dB(A) no Paraná⁽¹¹⁾ e 40,6 a 50,6 dB(A) em

Araraquara⁽¹²⁾. Já em estudos internacionais, os valores foram de 69,4 a 74,68 dB(A) na Malásia⁽¹³⁾ e 47 dB(A) no Reino Unido⁽¹⁴⁾.

Os projetos de novas salas de aula precisam implementar avaliações desses parâmetros e também um planejamento acústico, estratégia mais econômica e eficaz. As ações corretivas posteriores sempre acarretam custos mais elevados e soluções mais difíceis.

Para que novas medidas sejam tomadas e legislações mais específicas para salas de aula sejam criadas, são necessários estudos científicos que comprovem a real situação das salas de aula brasileiras. Alguns estudos já vêm sendo realizados no Brasil; no entanto, se limitam à medição de alguns parâmetros acústicos, sem relacioná-los à performance do estudante ouvinte aprendiz.

A investigação de fatores relacionados ao processo de ensino-aprendizagem pode auxiliar no planejamento de ações por parte de gestores, educadores e fonoaudiólogos, já que muitas queixas de dificuldades na aprendizagem podem ser agravadas ou ocasionadas pela exposição dos estudantes ao ruído excessivo⁽¹⁵⁾.

Sendo assim, o presente estudo pretendeu avaliar as características acústicas das salas de aula e o ruído presente nas mesmas, assim como sua relação com o desempenho dos estudantes em um teste de inteligibilidade de fala.

MÉTODOS

Trata-se de estudo transversal descritivo com análise do desempenho acústico de salas de aulas do município de Belo Horizonte. Foram selecionadas nove escolas da rede pública do município de Belo Horizonte. As escolas foram escolhidas buscando-se diferentes características de construção, localização em diferentes regiões da cidade e em diferentes tipos de via (rua, avenida, rodovia). Buscou-se abranger diversas situações encontradas nas escolas do município. Em cada escola, foram avaliadas duas salas de aula. A amostra foi constituída por nove escolas e 18 salas de aula.

O estudo foi aprovado pela Secretaria Municipal de Educação e pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob o Protocolo 352/2012. Os responsáveis pelas crianças convidadas a participar do estudo assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), concordando em participar.

Avaliação dos parâmetros acústicos

A acústica das salas de aula foi avaliada a partir de observação das características das salas e medição dos parâmetros acústicos de L_{eq} , tempo de reverberação (T_{30}) e STI. Os instrumentos utilizados nas medições estavam com seus certificados de calibração dentro do prazo de validade e foram transportados para os locais de medição em caixas especiais.

Para cada parâmetro acústico, foram utilizados os critérios detalhados a seguir.

Nível de pressão sonora equivalente

O L_{eq} é o nível que representa a quantidade de energia sonora existente em um período de tempo, ou seja, é uma média temporal do nível de pressão sonora em determinado ambiente. O L_{eq} é dado em dB(A)⁽⁵⁾.

O L_{eq} foi medido utilizando um medidor de nível de pressão sonora digital com *data-logger* da marca Instrutherm, modelo DEC-490, com microfone tipo 2. As medições foram realizadas nas frequências de 63 Hz a 8 kHz, em intervalos de 1 s entre as medições, com as salas de aula vazias e mobiliadas, com atividades escolares ocorrendo normalmente nas salas de aula adjacentes. Foram coletados os dados durante 1 h e o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1,2 m do chão, 0,5 m de objetos móveis e 1 m das paredes e objetos fixos. Foi escolhida a posição de fundo da sala próximo à janela, considerada a pior situação ou o local mais ruidoso da sala. As medições foram baseadas na norma ANSI S12.60⁽⁵⁾. Para análise dos dados, foram utilizados os programas Microsoft Excel® e *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 16.0.

Tempo de reverberação

É uma medida do grau de reverberação em um espaço e igual ao tempo necessário para um som constante decair em 60 dB após cessada a fonte sonora⁽¹⁶⁾. O tempo de reverberação é expresso em segundos (s). Quando o tempo de reverberação se apresenta com valores elevados, torna-se difícil distinguir os sons e compreender a fala. Isso ocorre porque as sílabas vão se sobrepor e interferir na inteligibilidade⁽⁶⁾.

Foi avaliado utilizando método de ruído impulsivo a partir de estouro de balões em seis combinações diferentes de microfone e fonte, conforme o *Engineering method* da ISO 3382-2 (2008) e foram analisadas frequências nas bandas de oitava de 125 a 4 kHz de acordo com o método. O *Engineering method* é utilizado para verificar performance de construções. A norma ISO 3382-2 (2008) permite a utilização de dois métodos diferentes: o ruído interrompido e o método de resposta impulsiva. Optou-se por utilizar o método de resposta impulsiva com estouro de balões⁽¹⁶⁾.

Um microfone omnidirecional TIPO 1 BSWA TECH modelo MA 211 foi utilizado nos testes, posicionado a uma altura de 1,2 m do chão. O balão foi estourado a 1,5 m do chão, simulando a altura da boca do professor. Os dados foram coletados pela placa *National Instruments* e analisados no *software* Matlab. As posições de microfone foram escolhidas respeitando as exigências da norma ISO 3382-2 (2008)⁽¹⁶⁾, que define que o microfone deve estar a uma distância em torno de 1 m de superfícies refletoras, incluindo o chão, e também não estar próximo da posição do balão para evitar influência do som direto⁽¹⁶⁾.

Os pontos de medição utilizados foram:

- Posição F1: fonte (balão) no canto direito ao fundo da sala;
- Posição F2: fonte (balão) no canto esquerdo ao fundo da sala;
- Posição F3: fonte (balão) no canto esquerdo à frente da sala;
- Posição R1: receptor (microfone) no canto esquerdo à frente da sala;
- Posição R2: receptor (microfone) no canto direito ao fundo da sala;
- Posição R3: receptor (microfone) no canto esquerdo ao fundo da sala.

As seis combinações desses pontos de microfone e fonte utilizadas para as medições foram F1R1, F1R3, F2R1, F2R2, F3R2, F3R3.

As medições foram realizadas com as salas e a escola toda vazia, durante os finais de semana. As medições e análises do tempo de reverberação estão de acordo com a norma ISO 3382-2 (2008)⁽¹⁶⁾. Optou-se por medir o valor de T_{30} , ou seja, decaimento de 30 dB do som após cessada a fonte sonora, e extrapolar para o valor de T_{60} , como é habitualmente realizado em medições do tempo de reverberação. Os valores do tempo de reverberação foram obtidos para cada banda de frequência, porém, geralmente, um valor único é calculado para expressar o tempo de reverberação de uma sala. Esse valor é a média aritmética para as frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz.

Speech Transmission Index

O STI (índice de transmissão da fala) é uma medida que varia de 0 a 1 e é usado para expressar a qualidade de transmissão da fala em relação à inteligibilidade em um canal de transmissão de fala⁽¹⁷⁾. Quanto mais próximo de 1, maior a qualidade da inteligibilidade da sala⁽¹⁸⁾.

Para a medição do STI, são apresentados pela norma IEC 60268-16 (2011) dois métodos: método direto e método indireto. Optou-se neste estudo pelo método indireto, que usa a resposta impulsiva para obter a função de transferência de modulação e utiliza a equação de Schroeder⁽¹⁸⁾.

A transferência de modulação, que é a base para o STI, pode ser computada da resposta impulsiva de um canal de transmissão, usando o processo conhecido como método Schroeder. Foram avaliadas as bandas de oitava de 125 a 8 kHz, que devem ser analisadas no método de resposta impulsiva⁽¹⁸⁾.

Avaliação da inteligibilidade de fala e memória auditiva dos alunos

A inteligibilidade de fala é a capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador. Geralmente, é expressa em termos de porcentagem e, quanto maior o índice, maior é a compreensão do sinal acústico. Valores próximos de 100% são desejados para possibilitar melhores condições de ensino aprendizagem.

Foi aplicado um teste de inteligibilidade de fala nos alunos das salas de aula avaliadas acusticamente. Participaram do estudo 273 estudantes, com média de idade de 9,43 anos e mediana de 9,0 anos, sendo 45,4% do sexo masculino e 54,6% do sexo feminino.

O teste de inteligibilidade foi aplicado aos alunos na própria sala de aula, em escuta diótica. O teste foi adaptado do teste de Índice Percentual de Reconhecimento de Fala (IPRF), utilizado para realização de audiometria vocal de pacientes. É constituído de uma lista de 25 monossílabos foneticamente balanceados de acordo com os sons da língua portuguesa⁽¹⁹⁾. O material do teste (25 monossílabos) foi gravado por um falante do sexo feminino em laboratório acusticamente tratado, utilizando o programa *Audacity*. O material de fala foi gravado em CD e reproduzido em escuta diótica, por meio de um som estéreo, na intensidade de 65 dB, intensidade vocal geralmente utilizada por um professor para falar com os alunos sem esforço vocal⁽⁹⁾.

Cada aluno recebeu uma folha de resposta constituída por três listas com 25 monossílabos cada. Ao ouvir o som

do monossílabo, as crianças deveriam marcar com um X, em conjunto fechado, com três opções de respostas, qual foi o monossílabo ouvido. A partir dos resultados, foi calculada a porcentagem de acertos dos alunos no teste e foi criado o índice de inteligibilidade de fala (IIF), para que fossem qualificadas as respostas. O índice foi analisado da seguinte forma:

$$IIF = (N_{\text{(acertos)}} \times 100) / 25$$

em que IIF é o índice de inteligibilidade de fala e $N_{\text{(acertos)}}$ é o número de monossílabos reconhecidos adequadamente pela criança.

Foram excluídas da pesquisa as crianças com déficit de atenção, alteração auditiva, visual ou motora identificados pela professora ou ausência de TCLE.

Foi realizado um estudo-piloto em uma sala de aula de uma das escolas participantes do estudo para avaliar a adequação dos instrumentos de coleta de dados da pesquisa e a forma de aplicação dos testes em sala de aula em escuta diótica e fazer os ajustes necessários. Os testes utilizados são padronizados para utilização em cabine acústica, com fones de ouvido e escuta dicótica. No entanto, como neste estudo o objetivo era avaliar o desempenho da criança em meio aos ruídos presentes em sala de aula, os testes foram adaptados para esse fim.

Análise de dados

Para entrada, processamento e análise quantitativa dos dados, foi utilizado o *software* SPSS, versão 16.0. Para fins de análise descritiva, foi feita distribuição de frequência das variáveis categóricas envolvidas na avaliação das crianças em estudo e análise das medidas de tendência central e de dispersão das variáveis contínuas. Na análise estatística, foram empregados os testes do χ^2 e exato de Fisher, para verificar diferenças entre as proporções, e o teste *t* de Student para análise de variáveis contínuas. O nível de significância utilizado foi de $p \leq 0,05$.

Para análise dos dados, a variável L_{eq} foi categorizada a partir do valor da mediana de 60 dB(A): as salas com ruído médio — até 60 dB(A) — e salas com ruído elevado — acima de 60 dB(A). Sendo assim, comparou-se os resultados dos estudantes no teste de inteligibilidade de fala das salas de menor ruído — até 60 dB(A) — com o desempenho dos estudantes das salas de ruído elevado — acima de 60 dB(A).

Para análise do tempo de reverberação, essa variável também foi categorizada a partir do valor da mediana (0,88 s), com criação de dois grupos: salas com tempo de reverberação até 0,88 s e maior do que 0,88 s.

Para fins de análise inferencial, as salas foram divididas em dois grupos: salas com STI menor ou igual 0,65 e salas com STI maior que 0,65, sendo este o valor da mediana.

RESULTADOS

O L_{eq} encontrado nas salas de aula vazias e mobiliadas variou de 54,51 a 74,04 dB(A), com mediana de 60 dB(A).

Os valores de T_{30} nas salas de aula analisadas, considerando-se a média das frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz, variaram de 0,69 a 2,09 s, com mediana de 0,88 s.

Os valores de STI variaram de 0,47 a 0,70, com mediana de 0,65, sendo, assim, avaliados de acordo com a classificação subjetiva do STI da norma IEC 60268-16 (2011) entre as categorias “razoável” (0,45 a 0,60) e “bom” (0,60 a 0,75).

A distribuição dos valores de L_{eq} , T_{30} e STI pode ser visualizada na Figura 1.

Os resultados dos estudantes no teste de inteligibilidade por faixa etária podem ser visualizados na Tabela 1.

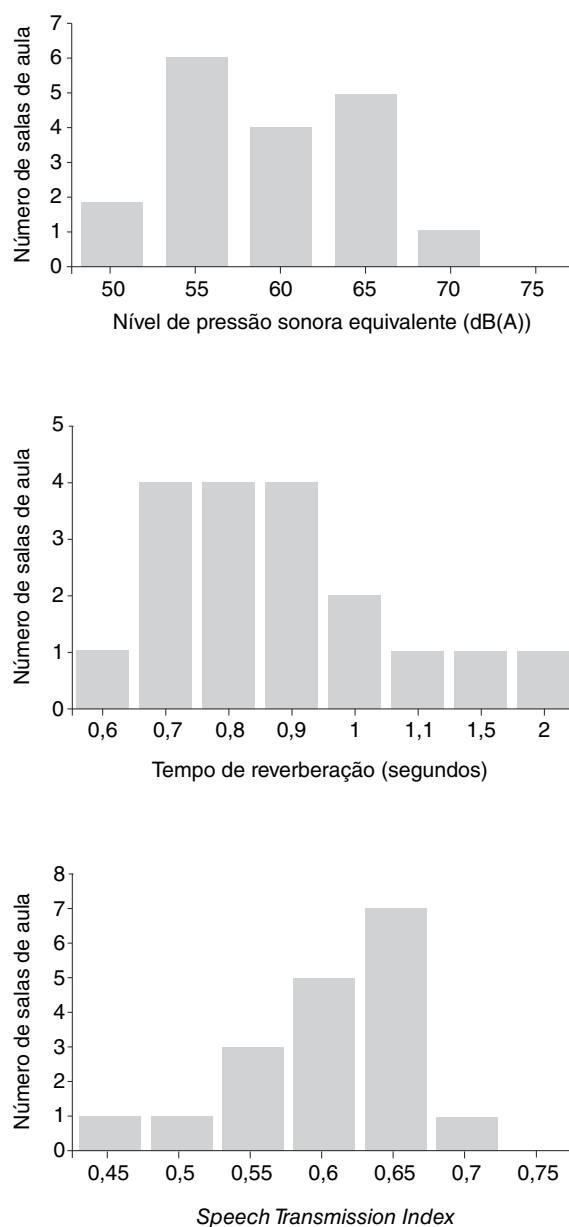


Figura 1. Medidas acústicas de 18 salas de aula do município de Belo Horizonte, 2012

Relação entre os parâmetros acústicos e resultados dos testes das crianças

Quando analisados os resultados das crianças no teste de inteligibilidade de fala, foi observado que, nas salas com ruído (nível de pressão sonora equivalente) menor ou igual a 60 dB(A), as crianças tiveram melhores resultados, com significância estatística (Tabela 2). Em relação aos demais parâmetros, os estudantes tiveram melhor desempenho nas salas com o tempo de reverberação até 0,88 s e STI maior do que 0,65 (Tabela 2).

DISCUSSÃO

O presente trabalho buscou relacionar o desempenho de estudantes em um teste de inteligibilidade de fala aos parâmetros acústicos da sala de aula, o que se deu de maneira pioneira no cenário nacional. Uma das dificuldades encontradas foi a carência de um instrumento padronizado e validado, capaz de mensurar a inteligibilidade de fala de estudantes em sala de aula, simulando uma situação real de ensino-aprendizagem. Sendo assim, optou-se por adaptar o IPRF, realizado em escuta dicótica, para

situação de escuta diótica, tomando os cuidados necessários na gravação e reprodução dos sons para os estudantes.

No presente estudo, o ruído, ou seja, os níveis de pressão sonora equivalentes (L_{eq}) encontrados em salas de aula foram superiores ao valor máximo recomendado pelas ANSI S12.60⁽⁵⁾ e pelo *Bulletin 93*⁽⁶⁾, que é de 35 dB(A). Pode-se dizer que todas as salas avaliadas apresentaram valores acima dos limites aceitáveis nas normas regulamentadoras^(5,6). Esse resultado indica que as salas de aula nas escolas avaliadas não fornecem o ambiente ideal para o melhor desempenho dos alunos nas atividades escolares. Em estudos anteriores em que foi avaliado o nível de pressão sonora equivalente em salas de aula, os resultados se assemelham aos encontrados no presente estudo^(4,10,11,13). Em alguns estudos, porém, o nível de ruído encontrado foi menor^(12,14). Além dos altos níveis encontrados, há ainda um outro agravante em relação às características desse ruído. Observa-se que o ruído presente em escolas é caracterizado por flutuações e descontinuidade e, por esse motivo, é mais prejudicial, quando compete com atividades que exigem concentração, do que um ruído contínuo. O ruído competitivo em atividades de ensino faz com que seja exigida maior carga cognitiva e, conseqüente, gera fadiga mental dos

Tabela 1. Índice de inteligibilidade de fala por faixa etária de 249 estudantes*

Faixa etária (anos)	Número de crianças (n)	Média de acertos (%)	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
≥8	87	88,05	21,10	0	100
9	57	86,25	21,21	20	100
10	52	92,23	16,33	8	100
11	36	89,58	19,74	4	100
12	17	91,06	17,97	36	100
Todas as crianças	249	88,19	20,57	0	100

*Foram excluídas da análise dos dados por idade 24 crianças que não informaram a idade na folha de teste

Tabela 2. Associação entre os valores de nível de pressão sonora equivalente, tempo de reverberação e *Speech Transmission Index* e o resultado dos estudantes no teste de inteligibilidade de fala

Características	Índice de Inteligibilidade	Média da diferença	Teste t	Valor de p
Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})				
Mediano (até 60 dB) (n=120)				
Média	91,6			
Desvio padrão	18,2	6,1	2,47	0,01*
Elevado (maior que 60 dB) (n=152)				
Média	85,4			
Desvio padrão	21,9			
Tempo de Reverberação (T_{30})				
Até 0,88 s (n=154)				
Média	90,65			
Desvio padrão	19,07	6,1	2,47	0,024*
Maior que 0,88s (n=118)				
Média	84,99			
Desvio padrão	22,05			
<i>Speech Transmission Index</i> (STI)				
Até 0,65 (n=158)				
Média	84,87			
Desvio padrão	22,31	-7,94	2,47	0,002*
Maior que 0,65 (n=114)				
Média	92,81			
Desvio padrão	16,92			

*Valores estatisticamente significantes ($p \leq 0,05$) – Teste t de Student

indivíduos, principalmente quando a tarefa baseia-se em informação auditiva⁽²⁰⁾.

Em relação ao tempo de reverberação, a norma ANSI S12.60⁽⁵⁾ e o *Bulletin* 93⁽⁶⁾ determinam que o valor ideal para salas de aula é de até 0,6 s. Sendo assim, todas as salas tiveram resultados de tempo de reverberação acima do ideal. O não cumprimento dos valores ideais de tempo de reverberação pode prejudicar a boa inteligibilidade de fala entre alunos e professores e pode até mesmo interferir na assimilação do conteúdo da aula. O tempo de reverberação baixo geralmente é ideal para salas de aula⁽²¹⁾ e, quando se apresenta com valores elevados, torna-se difícil distinguir os sons e compreender a fala. Isso ocorre porque as sílabas não se sobrepõem e interferem na inteligibilidade^(6,8). O tempo de reverberação longo é inadequado para locais como salas de aula, pois o som refletido vai permanecer como forma de reverberação por mais tempo do que o ideal, interferindo no som direto e reduzindo a inteligibilidade. Além disso, um tempo de reverberação muito longo fará com que sons indesejáveis, como arrastar de cadeiras e movimentos dos pés, também permaneçam por mais tempo na sala, aumentando os níveis de ruído⁽²⁾. Estudo anterior mostrou que, em salas de aula com tempo de reverberação alto, os professores relataram maior incômodo ao ruído interno da sala do que outros ruídos quando comparados a salas com tempos de reverberação médio e curto⁽²²⁾. Em estudo realizado em Copenhague, Dinamarca, os professores também foram questionados sobre incômodos no trabalho e aqueles que lecionavam nas salas de aula com tempo de reverberação longo (0,59 a 0,73s) perceberam o seu ambiente social menos favorável e relataram menor intenção de continuar no trabalho do que os professores de salas com tempo de reverberação curto (entre 0,41 a 0,47s), sugerindo que o conforto dos professores no trabalho pode ser melhorado por meio de intervenções acústicas para redução das reflexões sonoras⁽²³⁾.

Em estudo realizado em salas de aula da Universidade Federal do Paraná, os valores de tempo de reverberação encontrados foram entre 0,6 e 1,1 s⁽²⁴⁾, resultados próximos dos encontrados no presente estudo. Estudo realizado com crianças falantes do inglês americano mostrou que as crianças mais jovens, cujas salas de aula são mais ruidosas, tendem a ser mais afetadas pela combinação de ruído e reverberação⁽²⁵⁾.

Os valores de STI são classificados entre 0 e 1, de acordo com a norma regulamentadora IEC 60268-16 (2011)⁽¹⁸⁾. No presente estudo, os valores medidos nas salas de aula variaram de 0,47 a 0,70, sendo avaliados de acordo com a classificação subjetiva do STI entre as categorias razoável (0,45 a 0,60) e bom (0,60 a 0,75). Nenhuma sala apresentou inteligibilidade ótima, ou seja, acima de 0,75⁽¹⁸⁾.

A inteligibilidade de fala é fundamental para o bom desenvolvimento das atividades escolares e para a comunicação entre professor e alunos e é importante que as condições acústicas das salas proporcionem uma boa qualidade de transmissão da fala. Para que consiga aprender, a criança deverá voltar sua atenção para o estímulo principal e desprezar o estímulo competitivo. Para isso, necessita do processamento auditivo das informações recebidas⁽¹⁾. Ou seja, não basta ter os limiares para audição dentro da normalidade, é necessário que o sinal acústico seja transformado em uma mensagem com significado, sendo, para isso,

interpretado e analisado⁽²⁶⁾. O ruído excessivo e a má qualidade acústica da sala podem ser muito prejudiciais em todo esse processo da audição e compreensão do que é dito. Além disso, algumas crianças apresentam distúrbios do processamento auditivo, o que pode aumentar ainda mais as dificuldades em compreender a mensagem falada no ruído. Estudo anterior realizado também nas escolas municipais de Belo Horizonte, utilizando avaliação simplificada do processamento auditivo, mostrou que, de uma amostra de 539 estudantes com idade entre 4 e 10 anos, 27,3% apresentaram resultados sugestivos de alterações do processamento auditivo⁽²⁷⁾. Esses estudantes poderão apresentar grandes dificuldades na compreensão da fala no ruído, prejudicando seu aprendizado, situação que é agravada em salas de aula com condições acústicas inadequadas.

Em relação ao teste de inteligibilidade de fala aplicado aos alunos, observou-se que as crianças apresentaram melhores resultados nas salas de aula com menor L_{eq} , menor tempo de reverberação e maior STI, sendo essas associações com significância estatística. Esses dados mostram que os parâmetros acústicos influenciam diretamente na inteligibilidade de fala em sala de aula e podem interferir na compreensão do que é dito pelo professor, podendo até mesmo comprometer a aprendizagem. Estudos concordam com a afirmação de que o ruído pode interferir nas atividades realizadas em sala de aula^(3,10,13). Estudo chinês afirma que a inteligibilidade de fala depende dos parâmetros acústicos como tempo de reverberação, o nível de pressão sonora da fala do professor e a relação sinal/ruído⁽²⁸⁾.

Geralmente, os estudos que buscam informações sobre a inteligibilidade de fala realizam apenas medições objetivas, como é o caso do uso do parâmetro acústico STI, ou utilizam testes de listas de palavras aplicados individualmente utilizando fones de ouvido no estudante. O presente estudo adaptou os testes para aplicação em grupo na própria sala de aula, em escuta diótica, para aproximar o teste da situação do dia-a-dia dos estudantes. Apenas estudos internacionais já utilizaram essa metodologia, porém também são escassos. Foi realizado um estudo com esse tipo de teste no Canadá⁽²⁹⁾ e também na Alemanha⁽²⁾. Os dois estudos utilizaram nomes de figuras para nomeação e marcação entre algumas opções de palavras semelhantes para avaliar a inteligibilidade. Porém, na Alemanha, os pesquisadores utilizaram na gravação variação do tempo de reverberação para duas situações virtuais, uma com valor de tempo de reverberação de 0,47 s (favorável) e a outra com valor de 1,1 s (desfavorável). Também foram testadas as palavras mixadas com ruídos encontrados em salas de aula e apresentados binauralmente. Foi utilizado ruído de fala com leitura de um texto e também ruído de movimentos de carteiras e passos, sem ruído de fala. O estudo mostrou que a idade e posição da criança na sala interferiram no resultado. Além disso, a compreensão auditiva das crianças foi significativamente prejudicada pelo discurso de fundo e ruído em sala de aula, porém o discurso de fundo prejudicou mais a compreensão auditiva do que os ruídos de fundo da sala⁽²⁾. Já no estudo realizado no Canadá, as palavras também foram gravadas e variou-se a relação sinal/ruído modificando o nível de apresentação do material de fala. Utilizaram valores de 20 a 30 dB de diferença sinal/ruído, para determinar escores de inteligibilidade em condições ideais para os estudantes. Não foi possível modificar as condições acústicas

das salas de aula. Os resultados mostraram que a relação sinal ruído de +15 dB não foi adequada para estudantes mais jovens (6 anos de idade)⁽²⁹⁾.

Em estudo realizado com estudantes chineses de 19 a 24 anos, foram comparados os valores de STI de quatro salas de aula simuladas por análise computacional com os resultados dos testes aplicados através de fones de ouvido. Foi feita simulação de diferentes relações entre sinal/ruído das salas de aula. Houve alta correlação entre os resultados dos estudantes nos testes de inteligibilidade e os valores de STI encontrados, tanto em escuta diótica quanto dicótica⁽³⁰⁾. Esses resultados, juntamente com os dados do presente estudo, mostram que tanto o uso do parâmetro STI quanto de testes de palavras com estudantes podem fornecer informações consistentes sobre a inteligibilidade de fala de salas de aula. Porém, ressalta-se a importância de avaliar a inteligibilidade de fala com as crianças dentro da sala de aula, como foi feito no presente estudo, para melhor avaliação da real situação a que os estudantes estão expostos.

Espera-se que estudos mais aprofundados possam ser realizados também em outras regiões do Brasil, a fim de que projetos acústicos criteriosos sejam elaborados e que normas específicas para acústica de salas possam ser bem fundamentadas a partir de dados reais da situação atual das salas de aula brasileiras.

CONCLUSÃO

As salas de aula avaliadas nesta pesquisa estão fora dos padrões exigidos por normas internacionais para uma adequada condição acústica para o ensino. Além disso, pôde-se observar que os parâmetros acústicos influenciam diretamente na inteligibilidade de fala dos estudantes e maior atenção deveria ser dada a esse tema, pois uma comunicação ineficiente dentro da sala de aula poderá trazer consequências negativas para o percurso escolar e inserção social do futuro profissional.

**ATVR auxiliou no delineamento do estudo, coleta de dados, interpretação dos dados coletados, revisão do artigo e aprovação final da versão publicada; JNS e MCM auxiliaram no delineamento do estudo, supervisão da coleta de dados, análise e interpretação dos dados coletados, revisão do artigo e aprovação final da versão publicada; RCO auxiliou no delineamento do estudo, revisão do artigo e aprovação final da versão publicada.*

REFERÊNCIAS

- Dreossi RCF, Momensohn-Santos TM. O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. *Pró-Fono R Atual Cient.* 2005;17(2):251-8.
- Klatte M, Lachmann T, Meis M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise Health.* 2010;12(49):270-82.
- Dreossi RCF, Momensohn-Santos TM. A interferência do ruído na aprendizagem. *Rev Psicopedagogia.* 2004;21(64):38-47.
- Gonçalves VSB, Silva LB, Coutinho AS. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. *Produção.* 2009;19(3):466-76.
- Acoustical Society of America. ANSI S12.60-2010 - American National Standard: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Part 1: Permanent Schools; Melville, NY: Acoustical Society of America; 2010.
- Department of Education and Skills. Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools: a design guide. London: The Stationery Office; 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 10152. Acústica – níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT; 1987.
- Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America. Classroom Acoustics II. Acoustical barriers to learning. Melville, NY: Acoustical Society of America; 2002.
- Libardi A, Gonçalves CGO, Vieira TPG, Silverio KCA, Rossi D, Penteadó RZ. O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de Piracicaba. *Distúrb Comun.* 2006;18(2):167-78.
- Eniz A, Garavelli SSL [Internet]. A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. *Holos Environment.* 2006;6:137-50. [cited 2013 Mar 05]. Available from: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/561/469>.
- Zannin PHT, Zwirter DPZ. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. *App Acoust.* 2009;70:626-35.
- Guidini RF, Bertonecello F, Zanchetta S, Dragone MLS. Correlações entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2012;17(4):398-404.
- Seetha P, Karmegam K, Ismail MY, Sapuan SM, Ismail N, Tamil Moli L. Effects to teaching environment of noise level in school classrooms. *JSIR.* 2008;67:659-64.
- Shield B, Dockrell JE. External and internal noise surveys of London primary schools. *J Acoust Soc Am.* 2004;115(2):730-8.
- Nascimento LS, Lemos SMA. A influência do ruído ambiental no desempenho de escolares nos testes de padrão tonal de frequência e padrão tonal de duração. *Rev CEFAC.* 2012;14:390-402.
- International Organization for Standardization. Acoustics: Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Switzerland: ISO; 2008. .
- Greenland EE, Shield BM. A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom. *J Acoust Soc Am.* 2011;130(3):1399-410.
- International Electrotechnical Commission. IEC 60268-16 – International Standard: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Switzerland: IEC; 2011.
- Santos TMM, Russo ICP. *Prática da Audiologia Clínica.* 4ª edição. São Paulo: Cortez; 1994.
- Kjellberg A, Knutsson A, Lindberg L. Noise exposure and auditory effects on preschool personnel. *Noise Health.* 2012;14(57):72-82.
- Yang W, Hodgson M. Auralization study of optimum reverberation times for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in classrooms with diffuse sound fields. *J Acoust Soc Am.* 2006;120(2):801-7.
- Kristiansen J, Lund SP, Nielsen PM, Persson R, Shibuya H. Determinants of noise annoyance in teachers from schools with different classroom reverberation times. *J Environ Psychol.* 2011;31:383-92.
- Persson R, Kristiansen J, Lund SP, Shibuya H, Nielsen PM. Classroom acoustics and hearing ability as determinants for perceived social climate and intentions to stay at work. *Noise Health.* 2013;16(67):446-53.
- Zannin PHT, Ferreira AMC, Sant'Ana DQ. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes. *Ambiente Construído.* 2009;9(3):125-39.
- Wróblewski M, Lewis DE, Valente DL, Stelmachowicz PG. Effects of reverberation on speech recognition in stationary and modulated noise by school-aged children and young adults. *Ear Hear.* 2012;33(6):731-44.
- Ramos CS, Pereira, LD. Processamento auditivo e audiometria de altas frequências em escolares de São Paulo. *Pró-Fono R Atual Cient.* 2005;17(2):153-64.
- Rabelo ATV, Friche AML, Silva BSV, Alves CRL, Campos FR, Goulart LMHF. Associação entre processamento auditivo e desvios fonológicos em escolares. In: 27º Encontro Internacional de Audiologia; 2012; Bauru. Anais; 2012.
- Peng J. Chinese speech intelligibility at different speech sound pressure levels and signal-to-noise ratios in simulated classrooms. *Applied Acoustics.* 2010;71(4):386-90.
- Braleley JS, Sato H. The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J Acoust Soc Am.* 2008;123(4):2078-86.
- Peng J, Bei C, Sun H. Relationship between Chinese speech intelligibility and speech transmission index in rooms based on auralization. *Speech Communication.* 2011;53(7):986-90.