

**Avaliação da percepção do ruído ambiental por alunos e professores e
simulação do Índice de Transmissão da Fala em salas de aula**

Carmen Lucia Pezzette Loro

Mestre em Construção Civil, UFPR, Brasil
oro@arquiteturaloro.com.br

Eriberto Oliveira do Nascimento

Doutorando em Engenharia Mecânica, Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR, Brasil.
eriberto.on@gmail.com

Paulo Henrique Trombetta Zannin

Professor Titular Dr. -Ing., Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR, Brasil
paulo.zannin@gmail.com

RESUMO

Por mais diversas que sejam as técnicas de transmissão de conhecimento auxiliadas por recursos multimídia, nada substitui a relação professor-aluno, que se desenvolve basicamente em sala de aula. Portanto, as salas de aula devem oferecer as condições necessárias para o desenvolvimento satisfatório das atividades de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, destaca-se a importância da acústica da sala de aula. O Índice de Transmissão da Fala, que será denominado doravante pelo seu acrônimo em inglês, *Speech Transmission Index* (STI) é um dos parâmetros de inteligibilidade de fala mais amplos e importante. O STI pondera os efeitos que podem causar deterioração da inteligibilidade dela, tais como tempo de reverberação e o ruído de fundo. Este trabalho apresenta uma avaliação do desempenho acústico de salas de aula usando o STI. Para tanto, três padrões construtivos foram avaliados. Os modelos construtivos levam os nomes de 010, 022 e 023. Os Alunos e professores responderam um questionário sobre a percepção do ruído em sala de aula e na escola, sendo estudado o padrão construtivo 023. Para avaliar a qualidade acústica das salas de aulas foram realizadas simulações computacionais com o software ODEON e predição do STI. Os resultados das medições e dos questionários revelaram que o ruído que atrapalha as atividades em sala de aula é proveniente da própria escola, não apenas das salas, corredores e pátios adjacentes, mas também, de dentro da própria sala de aula.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Transmissão da Fala. Acústica de salas. Tempo de Reverberação. Qualidade acústica.

1 INTRODUÇÃO

A educação é tão essencial nas sociedades de hoje como era no passado. A maior parte da educação formal ocorre em salas de aula, onde a aprendizagem envolve a comunicação verbal intensiva entre professores e alunos. Por mais diversas que sejam as técnicas de transmissão de conhecimento auxiliadas por recursos multimídia, cada vez mais comuns, nada substitui a relação professor-aluno, que se desenvolve basicamente em sala de aula. Portanto, as salas de aula devem oferecer as condições necessárias para o desenvolvimento satisfatório das atividades de ensino e aprendizagem, especialmente a comunicação professor-aluno. Nesse contexto, destaca-se a importância da acústica da sala de aula (ZANNIN et al., 2009; NASCIMENTO, E. O. et al., 2018).

O Índice de Transmissão da Fala, que será denominado doravante pelo seu acrônimo em inglês, *Speech Transmission Index* (STI) é um dos parâmetros de inteligibilidade de fala mais amplos e importante. O índice de transmissão da fala leva em consideração a maioria das condições que podem causar deterioração da inteligibilidade, tais como tempo de reverberação e o ruído de fundo (PENG; LAU; ZHAO, 2020).

Este trabalho apresenta uma avaliação do desempenho acústico de salas de aula em referência ao descritor acústico STI. Para tanto, três padrões construtivos foram avaliados. Os modelos construtivos levam os nomes de 010, 022 e 023. Os alunos e professores responderam um questionário sobre a percepção do ruído em sala de aula e na escola, sendo estudado o padrão construtivo 023, que é o mais comum dentre os três padrões citados acima. Para se avaliar a qualidade acústica das salas de aulas foram realizadas simulações computacionais com o software ODEON para prever o Índice de Transmissão da Fala.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição dos Padrões Construtivos de Salas de Aula do Estado do Paraná

As salas de aula das escolas públicas avaliadas são projetadas em módulos padrão ajustáveis à necessidade de novas escolas, dependendo do número previsto de alunos e do tipo de terreno onde serão construídas. A Tabela 1 apresenta a descrição das salas avaliadas.

Tabela 1: Descrição das salas de aula avaliadas

Sala	Volume (m³)	Material da parede	Material do chão	Material do teto	Tipo de janela
010	139	Alvenaria comum	Parquet	Teto com painéis de madeira	Caixilharia de ferro com painéis de vidro
022	139	Alvenaria comum	Parquet	Laje de concreto	Caixilharia de ferro com painéis de vidro
0,23	156	Alvenaria comum	Cerâmica	Laje de concreto	Caixilharia de ferro com painéis de vidro

Fonte: AUTOR, 2021

As características dos projetos de construção selecionados foram as seguintes.

- 1) Projeto 010, que consiste em blocos independentes com área de circulação central e salas de aula dispostas em ambos os lados de um corredor;
- 2) Projeto 022, composto por blocos de salas de aula dispostos lado a lado sem corredor entre elas;
- 3) Projeto 023, semelhante ao projeto 010, composto por blocos independentes de salas de aula dispostos nas duas faces de um corredor central.

2.2 Percepção de professores e alunos sobre o ruído em sala de aula

Para avaliar a percepção dos professores e alunos sobre o ruído nas salas de aula foi elaborado um questionário para cada turma. As entrevistas envolveram (n = 15) professores e (n = 185) alunos de 6ª e 8ª séries. O objetivo do questionário foi investigar as fontes de ruído nas salas de aula e o grau de perturbação que causou para professores e alunos.

O questionário para os professores incluía uma escala de pontuação a ser atribuída a cada resposta: (0) Sem interrupção, (1) Interrupção muito pequena, (2) Interrupção pequena, (3) Interrupção moderada, (4) Interrupção considerável, (5) Perturbação intensa, (6) Perturbação extrema advindo do ruído. A análise estatística descritiva foi adotada para avaliar os resultados dos questionários.

2.3 Avaliação do Índice de Transmissão de Fala

O Índice de Transição da Fala é um descritor acústico que considera os efeitos da reverberação, ruído de fundo e a contribuição da direcionalidade da fonte sonora para determinar a inteligibilidade da fala, conforme mostra a Eq. 1. Esses elementos, que geralmente são tratados individualmente, são combinados em um único índice (MAPP, 2020).

$$m(f_m) \cong \left\{ 1 + \left(2\pi \frac{T}{13.8} \right)^2 \right\}^{-1} [1 + 10^{-SNR/10}]^{-1} \quad (1)$$

e

$$SNR_k = L_{op,k} - L_{BGN,k} \quad (2)$$

em que, $m(f_m)$ são os fatores de redução da modulação, T é o tempo de reverberação para cada banda de oitava, SNR é a relação sinal-ruído, $L_{op,k}$ é o nível operacional de fala da fonte, e $L_{BGN,k}$ é o nível de ruído de fundo para a banda de oitava k . Após a coleta dos fatores de modulação, o STI é calculado de acordo com os procedimentos IEC 60268-16 (IEC, 2011). Por

fim, o $L_{op,k}$ é definido de acordo com o padrão ANSI (ANSI, 2010), conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Nível operacional para o receptor a um metro da fonte.

Nível	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
ANSI/ASA S12.60	#	57.2	59.8	53.5	48.8	43.8	38.6
IEC 60268-16	2.9	2.9	-0.8	-6.8	-12.8	-18.8	-18.8

Fonte: AUTOR, 2021

O STI foi simulado com o software Odeon versão 9.0. Este software usa o método híbrido para obter os parâmetros acústicos. Rindel (2000) afirma que os métodos híbridos combinam as melhores características da fonte de imagem e os métodos de rastreamento de raio. Uma comparação de vários métodos de simulação computacional indicou que programas que usam o método híbrido produzem os melhores resultados.

As simulações do STI foram realizadas de acordo com a norma IEC 60268-1617 (IEC, 2011). Para obter parâmetros acústicos por meio de simulações, é necessário primeiro fazer a modelagem tridimensional da sala. Os parâmetros de cálculo adequados foram inseridos (como o comprimento da resposta ao impulso), as características das superfícies de acabamento (coeficientes de absorção e espalhamento) e as especificações da fonte e do receptor. Para a fonte, a norma IEC 60268-16 estabelece que deve ser do tipo direcional, a fim de simular as características da boca humana. O ruído gerado pela fonte deve simular o timbre e o volume da voz humana.

Os modelos tridimensionais foram calibrados com base na comparação dos valores do Tempo de Reverberação (TR) medido e simulado. O TR medido foi obtido conforme a norma ISO 3382-2 (ISO, 2008). Os valores do nível de pressão sonora em banda de oitava medidos em sala de aula foram inseridos no modelo calibrado e em seguida foram definidas as posições da fonte sonora e dos receptores. Adotou-se uma grade de cálculo de 0,50 x 0,50 m, e o fonte foi colocada na posição típica do professor e direcionada para os alunos (receptores).

3 RESULTADOS

3.1 Avaliação subjetiva da percepção ao ruído

Os professores foram solicitados a identificar as fontes de ruído que mais causam interrupções nas atividades em sala de aula. Eles citaram o ruído das salas de aula vizinhas, no nível 2.68 (entre uma perturbação muito pequena e uma perturbação pequena) como a principal fonte de perturbação. O ruído gerado em sua própria sala de aula e os ruídos gerados pelas vozes dos professores em salas de aula vizinhas receberam pontuações de nível 2 (pouca interrupção) e nível de interrupção 1,6 (entre perturbação muito pequena e pequena interrupção).

Por outro lado, a metade dos alunos, ou seja, 49%, considera sua sala de aula barulhenta, e a outra metade, 49%, considera sua sala de aula normal. Somente 2% dos alunos entrevistados consideraram sua sala de aula silenciosa. Além da percepção dos alunos do ruído no ambiente pode prejudicar seu desempenho de aprendizagem. No ambiente escolar, 95% dos alunos entrevistados consideram que o ruído pode prejudicar o seu desempenho de aprendizagem. Os alunos citaram como principais fontes de perturbação na sala de aula: 1) ruído dentro da própria sala de aula, 2) ruído causado por alunos em outras salas de aula e 3) a voz do professor na sala ao lado. Essas três fontes juntas representam 98% da perturbação percebida pelos alunos.

Os professores indicaram que as atividades em sala de aula mais fortemente afetadas pelo ruído são: aulas expositivas, compreensão, leitura individual e realização de provas. Os

professores atribuíram praticamente a mesma pontuação - nível 4 (perturbação considerável) e nível 5 (perturbação intensa) - para todas essas atividades, demonstrando que são fortemente afetadas pelo ruído. Da mesma forma que os professores indicaram que os alunos percebem que a realização de provas, a leitura individual e as palestras ministradas pelo professor são atividades fortemente afetadas pelo ruído.

Segundo os professores, o ruído gerado fora da sala de aula, mas dentro do prédio da escola é provocado por pessoas conversando no corredor. Os alunos responderam à mesma pergunta: "Com qual fator / fonte de som o ruído é gerado fora da sala de aula, mas dentro do prédio da escola diretamente relacionado? "Os resultados indicaram que 51% dos alunos citaram as conversas em outras salas de aula como a principal fonte de perturbação dentro do prédio da escola. Além disso, 48% dos alunos afirmaram que as pessoas conversando e circulando no corredor é a segunda maior fonte dentro da escola.

3.2 Qualidade acústica

A Tabela 3 apresenta em bandas de oitava, os coeficientes de absorção sonora do material de acabamento do teto da sala e utilizado nas simulações. No modelo de construção 023 é desprovido de material de acabamento do teto, constituído simplesmente por lajes de concreto, dessa forma, uma placa de forro acústica de fibra de vidro foi usada nas simulações.

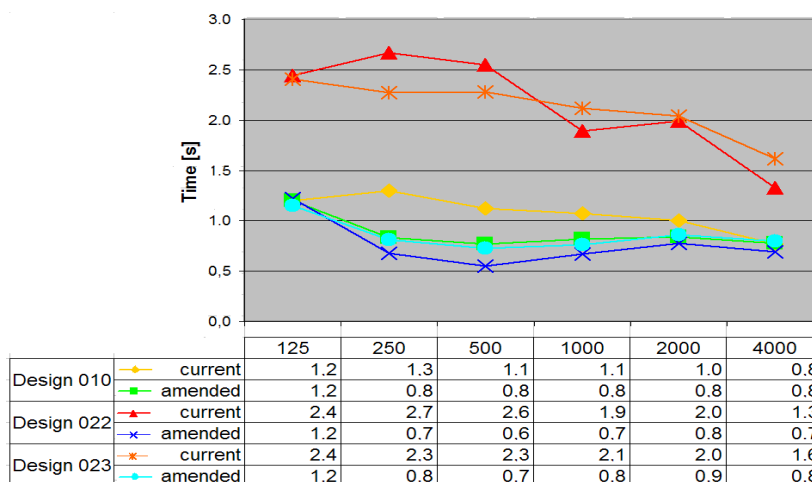
Tabela 3: Coeficiente de absorção sonora do teto nas salas de aula utilizados nas simulações acústicas.

Nome do material	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Fibra de vidro	0,33	0,33	0,79	0,99	0,91	0,76	0,64	0,64

Fonte: AUTOR, 2021.

A Figura 1 mostra o TR simulado com os forros existentes nas salas de aula e com o forro acústico de fibra de vidro. Como pode ser visto na Figura 1 há uma diminuição significativa nos valores de TR, principalmente nas salas de aula com o projeto 022 e 023, que não possuem acabamento no forro.

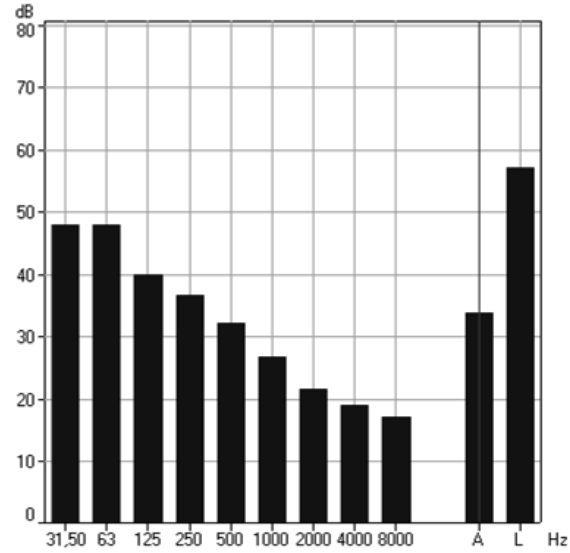
Figura 1: Tempo de reverberação antes e depois do forro acústico



Fonte: AUTOR, 2021

Além do TR, o STI foi simulado com acabamento no forro. Para o ruído de fundo foram utilizados dois níveis de pressão sonora de 34 e 60 dB(A), medidos em sala de aula. A Figura 2 mostra o exemplo do ruído de fundo medido.

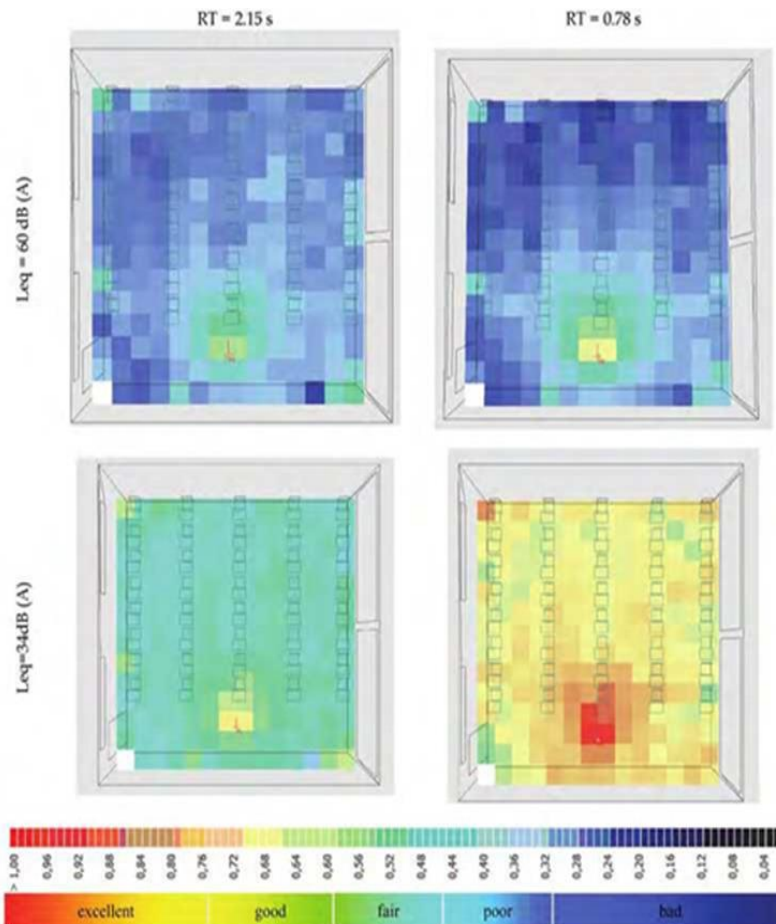
Figura 2: Espectro do ruído de fundo medido



Fonte: AUTOR, 2021

A Figura 3 apresentam os mapas de STI dos padrões de projeto 010, 022 e 023, para dois níveis de ruído de fundo 34 e 60 dB(A) e duas situações de TR, situação atual e situação com material de teto alterado com os dados da Tabela 3.

Figura 3: Relação do Tempo de reverberação , ruído de fundo e Índice de Transmissão da Fala



Fonte: AUTOR, 2021

O mapa na primeira coluna e primeira linha das figuras representa a situação atual das salas de aula em termos do Tempo de Reverberação (TR) e do Nível de Pressão Sonora (NPS). Os mapas da segunda coluna e primeira linha representam a simulação com redução do TR por substituição do atual material de acabamento do teto por um material de maior absorção acústica, e manutenção do ruído de fundo em 60 dB (A).

A comparação desses mapas com a situação atual indica que o STI piorou nos pontos mais distantes da fonte sonora, classificando-os como de inteligibilidade “ruim”. Os mapas da segunda linha e primeira coluna representam o STI para a situação atual do TR nas salas de aula, com ruído de fundo reduzido. Esses mapas mostram uma melhora significativa na inteligibilidade de fala, principalmente na sala de projeto padrão 010, cujo TR foi inferior ao das demais salas. Para esta sala, o mapa nesta situação gerou um STI de “bom” a “excelente”. Para as salas dos padrões de projeto 022 e 023, a inteligibilidade de fala nesta situação de TR e NPS foi classificada de “razoável” a “boa”. Os mapas apresentados na segunda coluna e segunda linha mostram o STI de “bom” a “excelente” para todas as salas em estudo. Esta situação é caracterizada por baixo ruído de fundo e tempo de reverberação adequado.

4 CONCLUSÕES

Os resultados das medidas aqui apresentadas indicam que as salas avaliadas não oferecem conforto acústico adequado para o desenvolvimento das atividades educacionais. O tempo de reverberação medidos em todas as salas revelaram a falta de conforto acústico nas salas de aula. A avaliação subjetiva indicou que tanto os alunos quanto os professores percebem o ruído na sala de aula e são incomodados por ele. Segundo os professores, o ruído é um fator que afeta negativamente o ensino e a aprendizagem. A maioria dos alunos afirmou ouvir bem o professor. Porém, consideraram as salas de aula barulhentas e afirmaram que a atividade de escuta foi a mais prejudicada. Esta afirmação foi confirmada pelos resultados do questionário que os professores responderam.

Os resultados das medições e dos questionários revelaram que o ruído que atrapalha as atividades em sala de aula é proveniente da própria escola, não apenas das salas, corredores e pátios adjacentes, mas também, e principalmente, de dentro da própria sala de aula. A alteração dos materiais de acabamento do teto mostrou-se eficiente, pois resultou na redução do TR para valores adequados ou muito próximos aos estabelecidos pelos padrões construtivos. Quanto à inteligibilidade de fala, a classificação do STI de “bom” para “Excelente” só foi alcançado através de uma combinação de ruído de fundo reduzido e TR reduzido dentro das salas de aula.

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI). ANSI/ASA S12.60-2010/PART 1: Acoustical Performance criteria, Design Requirements, and guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. Acoustic Society of America, 2010.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60268-16: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Switzerland, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 3382-2**: Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, Switzerland, 2008.

MAPP, P. Speech Transmission Index (STI): Measurement and Prediction Uncertainty. **Uncertainty in Acoustics: Measurement, Prediction and Assessment**, p. 217, 2020.

NASCIMENTO, E. O. et al. Mobile Learning and Computational Simulation Applied in Environmental Acoustics. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 1, p. 265-271, 2018.

PENG, J.; LAU, S-K; ZHAO, Y. Comparative study of acoustical indices and speech perception of students in two primary school classrooms with an acoustical treatment. **Applied Acoustics**, v. 164, p. 107297, 2020.

RINDEL, Jens Holger. The use of computer modeling in room acoustics. **Journal of vibroengineering**, v. 3, n. 4, p. 219-224, 2000.

ZANNIN, P. H. T.; ZWIRTES, D. P. Z. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 4, p. 626-635, 2009.