XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Impacto do layout de sala de aula no conforto acústico: Uma análise comparativa para método tradicional e metodologia ativa

Impacto del layout del aula en el confort acústico: Un análisis comparativo entre el arreglo tradicional y la metodologia activa

Impact of classroom layout on acoustic comfort: A comparative analysis of traditional and active learning methods

Acústica de Salas / *Acústica de Salas / Room Acoustics*

Pereira, Camila Amorim
Acadêmica do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Campinas, Brasil, c241181@dac.unicamp.br

Garcia, Felipe da Fonseca
Mestrando do PPGATC da FECFAU Da UNICAMP, Campinas, Brasil, f214301@dac.unicamp.br

Oliveira, Maria Fernanda
Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Construção da FECFAU da UNICAMP, Brasil, mariafo@unicamp.br

Resumo

Este estudo examina o impacto acústico de dois arranjos distintos em uma sala de aula, utilizados em práticas pedagógicas que utilizam métodos tradicionais e metologias ativas de aprendizagem. Por meio de simulações computacionais, dois cenários foram comparados: o layout tradicional em fileiras e o layout organizado em grupos. O tempo de reverberação (T30), o tempo de decaimento inicial (EDT) e o nível de pressão sonora (NPS) foram os parâmetros examinados. Os achados indicaram que, apesar da similaridade entre T30 e EDT, o arranjo em grupos exibiu uma distribuição mais uniforme do EDT e níveis mais altos de NPS, o que pode afetar a compreensão da fala.

Palavras-chave: Acústica de Salas. Inteligibilidade. Simulação acústica computacional. Acústica para comunicação verbal.

Resumen

Este estudio analiza el impacto acústico de dos disposiciones distintas en un aula, utilizadas en prácticas pedagógicas que incorporan tanto métodos tradicionales como metodologías de aprendizaje activo. A través de simulaciones computacionales, se compararon dos escenarios: la disposición convencional en filas y la organización en grupos. Los parámetros examinados fueron el tiempo de reverberación (T30), el tiempo de decaimiento inicial (EDT) y el nivel de presión sonora (SPL). Los resultados revelaron que, a pesar de la similitud entre T30 y EDT, la disposición en grupos presentaba una distribución más uniforme del EDT y niveles de SPL más elevados, lo que podría influir en la comprensión del habla.

Palabras clave: Acústica de aulas. Inteligibilidad. Simulación acústica computacional. Acústica para comunicación verbal.

Abstract

This study investigates the acoustic impact of two distinct classroom arrangements employed in pedagogical practices that incorporate both traditional methods and active learning methodologies. Through computer simulations, two scenarios were compared: the conventional row-based layout and the group-based arrangement. The parameters analyzed included reverberation time (T30), early decay time (EDT), and sound pressure level (SPL). The findings revealed that, despite the similarity between T30 and EDT, the group-based arrangement exhibited a more uniform distribution of EDT and higher SPL levels, which may influence speech comprehension.

Keywords: Classroom acoustics. Intelligibility. Computational acoustic simulation. Acoustics for verbal communication.

Introdução

As metodologias ativas de aprendizagem, como o ensino baseado em projetos, sala de aula invertida e aprendizagem colaborativa, colocam o aluno no centro do processo educacional, promovendo participação ativa e engajamento (Moran, 2015). Essas metodologias exigem um ambiente de aprendizado adaptável e confortável, incluindo o controle do ruído e a qualidade acústica.

Em ambientes escolares que adotam métodos de ensino/aprendizagem tradicionais, onde os alunos se organizam em fileiras com o professor posicionado à frente da turma, cada aluno receberá a voz da fonte, professor, de forma diferente, devido à distância e às características acústicas da sala. Entretanto, em salas de aula com metodologias ativas de ensino, essa organização padrão em fileiras pode mudar e alterar a recepção sonora no ambiente escolar. De acordo com Cocco e Kozloski (2020), as atividades em que os estudantes se organizam em pequenos grupos distribuídos na sala, a aprendizagem por pares quando a interação é feita em duplas e a aprendizagem baseada em problemas quando toda a turma participa ao mesmo tempo, são exemplos de metodologias ativas que interferem no layout das salas de aula.

As metodologias ativas e a dinâmica em salas inteligentes impactam o campo acústico das salas de aula, influenciando o conforto acústico, especialmente, a inteligibilidade da fala (Rands *et al.*, 2017; Di Loreto *et al*., 2023). A inteligibilidade da fala é um dos requisitos primários para um bom ambiente de aprendizado e é afetada por fatores como o tempo de reverberação (*T*) e a relação sinal-ruído (SNR) (Di Loreto et al., 2023).

As condições acústicas de salas de aula devem garantir que a mensagem verbal do professor seja captada pelos alunos com clareza. Isso pode envolver tanto as características físicas do espaço para alcançar um tempo de reverberação adequado, quanto aspectos comportamentais como, por exemplo, o nível de pressão sonora da voz do professor, sendo uma forma de adaptação de cada indivíduo ao contexto sonoro de cada ambiente (Zhang et al., 2021).

O layout da sala de aula pode influenciar o engajamento dos alunos, propiciando condições para o processo de aprendizagem plena. No entanto, em salas de aula com uso de metologias ativas, são adotadas diferentes dinâmicas que podem envolver deslocamentos e a movimentação dos alunos durante as atividades, o que pode aumentar os níveis de ruído (Rands et al., 2017).

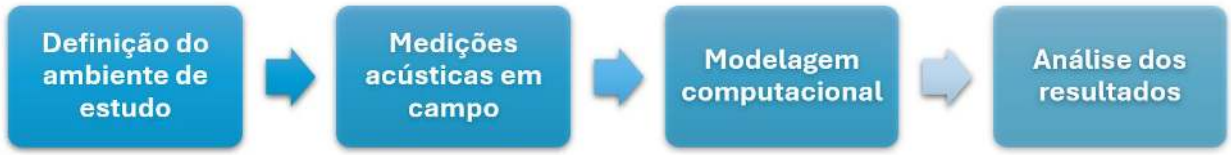
Objetivo

Este estudo analisa o impacto acústico de dois arranjos distintos em uma sala de aula, utilizados em práticas pedagógicas que utilizam métodos tradicionais e metologias ativas de aprendizagem.

Método

A pesquisa foi composta por 4 etapas básicas, conforme ilustrado na Figura 1. Após a definição da sala de aula, foram realizadas medições acústicas para validação do modelo computacional. Os resultados foram analisados comparativamente, por meio da diferença mínima perceptível (JND), indicada na ABNT ISO 3382 (2017).

Figura 1: Etapas da pesquisa.



Ambiente de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em uma sala de aula da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP. A sala é retangular, 8,81 m x 7,81 m, com pé-direito não variável de 3,30 m, volume de 227,06 m³ e capacidade para 45 lugares (Figura 2). A dispõe de carteiras com prancheta, mesa e cadeira para o professor, quadro verde, tela de projeção, cortinas rolo *blackout*, ar-condicionado tipo split e sistema de som. A sala tem revestimento vinílico no piso, e alvenaria de blocos de concreto pintados sem reboco nas paredes e teto com

laje de concreto aparente. O ambiente possui 4 aberturas, 1 porta de aço e 3 janelas com vidros simples.

Figura 2: Interior da sala de aula.



Medições acústicas

Para fins de validação do modelo computacional, foram realizadas medições conforme a NBR ISO 3382, em bandas de oitava entre 125 Hz e 4kHz.

A resposta acústica das salas foi gravada e processada por meio do sistema de medição *DIRAC* e os equipamentos utilizados foram:

- Notebook com placa de som Scarlett 8i6 Focusrite.

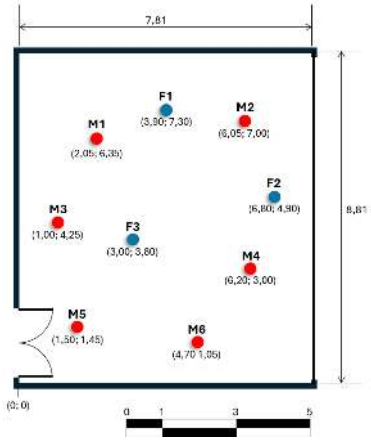
- Amplificador de potência sonora Type 2716, da Bruel&Kjaer.

- Fonte sonora omnidirecional OmniPower Type 4296, da Bruel&Kjaer.

- Microfones omnidirecionais de ½" da Behringer.

Durante as medições, as carteiras estavam dispostas em fileiras, as portas e janelas ficaram fechadas e as cortinas e a tela de projeção recolhidas. O posicionamento da fonte sonora (M) e dos microfones (M) pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3: Posicionamento dos equipamentos nas medições acústicas.



Simulações computacionais

Os modelos foram gerados no software i-Simpa 1.3.4 para contemplar um layout de sala de aula em fileiras, com o professor posicionado à frente da turma, e outro com alunos separados em 6 grupos dentro da sala. A Figura 4 mostra os 2 modelos em vista superior com as marcações de posicionamento de fontes (pontos vermelhos) e receptores (pontos verdes).

Foi adotado o tipo de cálculo SPPS (*Simulation de la Propagation de Particules Sonores*) e o método abordagem energética.

Os principais dados de entrada foram:

- Altura dos receptores 1,20 m.

- Altura da fonte 1,20 m.

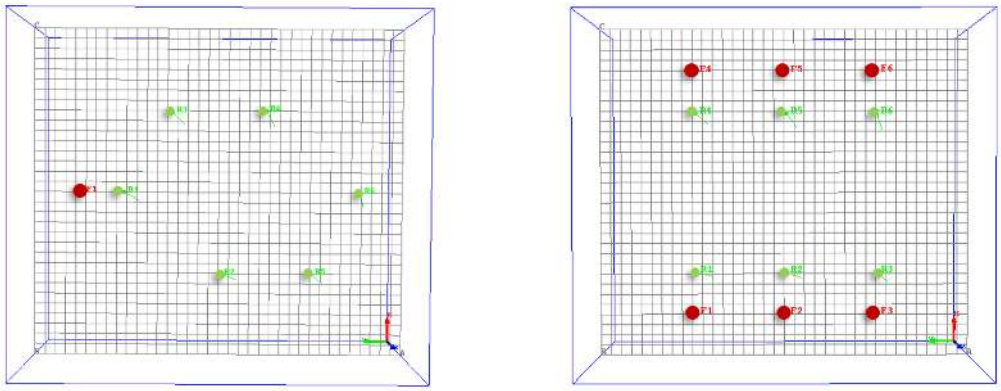
- Espectro da fonte sonora ruído branco com Lw global de 60 dB.

- Cálculos em bandas de oitava de 125 a 4.000 Hz.

- Plano de cálculo com resolução de grid de 0,25 m.

- Fontes e receptores onmidirecionais.

Figura 4: Posição de fontes e receptores nos modelos virtuais da sala.

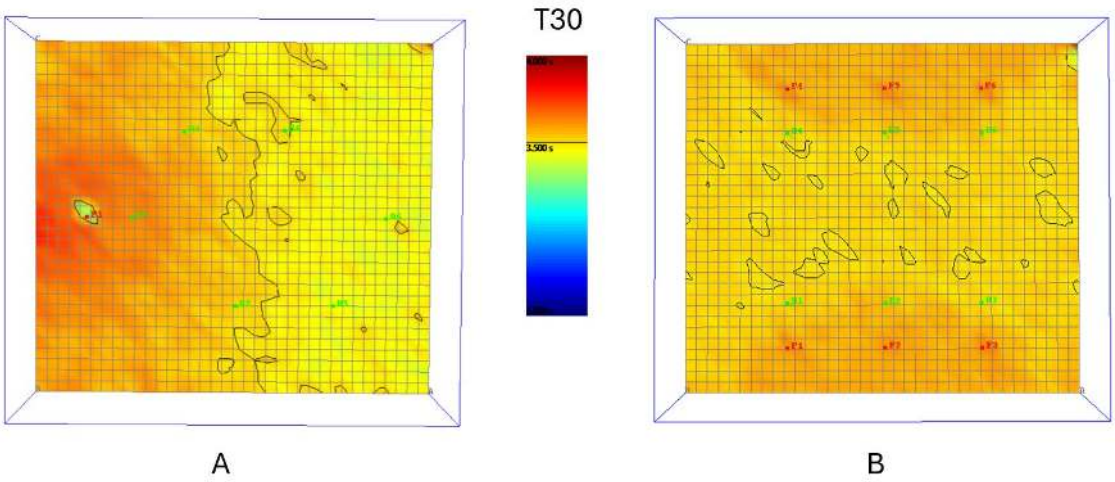


Resultados

T30

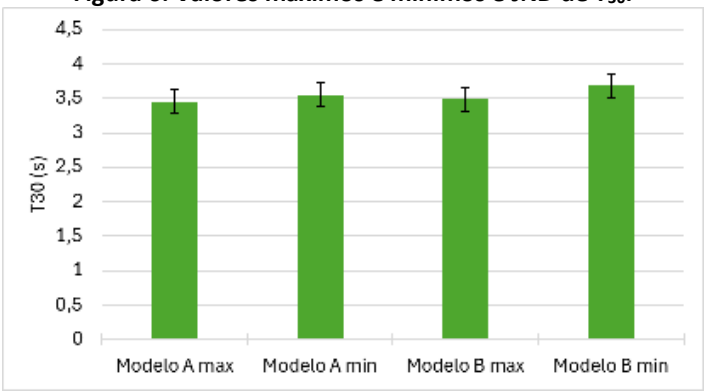
As Figuras 5 e 6 mostram os resultados de T30 da simulação acústica das duas situações. Inicialmente, pode-se perceber a diferença na distribuição dos resultados, sendo o Modelo A com a distribuição mais heterogênea, em decorrência da influência das reflexões da parede do fundo da sala.

Figura 5: Resultados de T_{30}.



Apesar da diferença na distribuição, os valores obtidos nas simulações foram próximos, considerando-se a diferença mínima perceptível (JND) de 5% (ABNT, 2017), com valores entre 3,45 s e 3,55 s no Modelo A, e entre 3,49 s e 3,68 s no Modelo B (Figura 5).

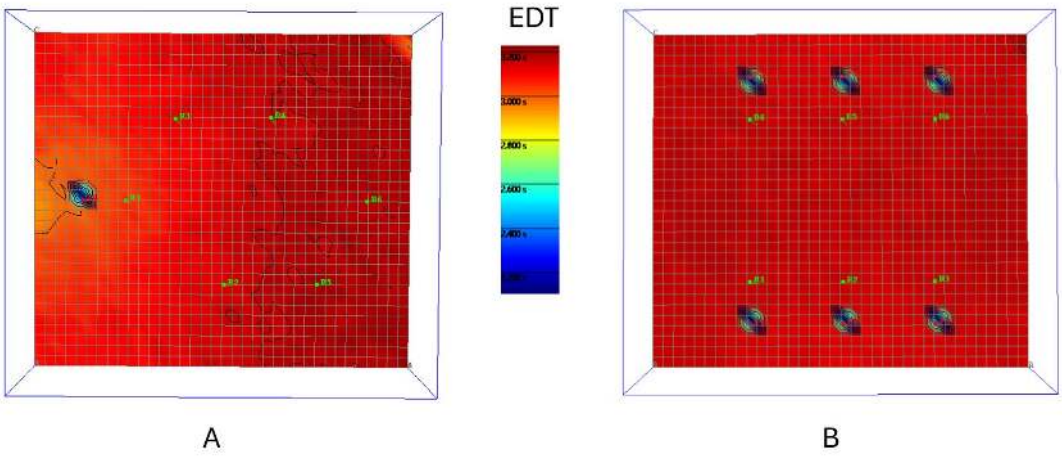
Figura 6: Valores máximos e mínimos e JND de T_{30}.



EDT

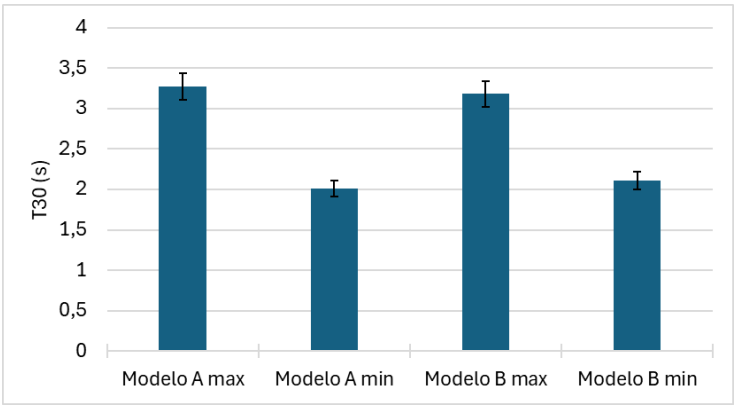
Nas Figuras 7 e 8 é possível verificar que a adoção do layout em fileiras, do Modelo A, resulta em diferenças na reverberação das primeiras reflexões no sentido longitudinal ao eixo da sala (Figura 7). No Modelo B, o EDT está distribuído de forma mais homogênea, como uma consequência da distribuição dos locutores na sala.

Figura 7: Resultados de EDT.



Assim como os valores de T30, o EDT não apresentou resposta quantitativa diferente entre os modelos simulados, considerando-se o JND. As variações foram de 2,01 s a 3,27 s no Modela A e de 2,11 s a 3,18 s no Modelo B.

Figura 8: Valores máximos e mínimos e JND de EDT.

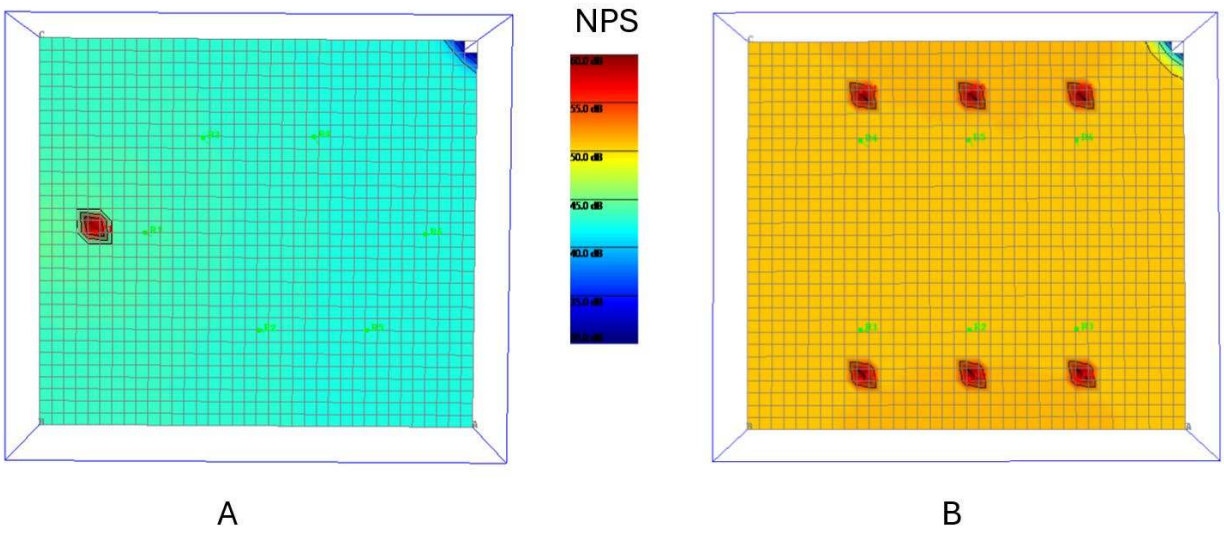


NPS

A Figura 9 mostra os resultados do nível de pressão sonora (NPS) da simulação acústica dos dois modelos. Em ambos os cenários há uniformidade no NPS. No entanto, no cenário em que o professor estaria falando na frente da turma, Modelo A, a maior concentração de NPS está localizada na frente da sala, próximo ao quadro, onde o professor estaria emitindo o sinal sonoro. Isso sugere que a inteligibilidade da fala é maior nas áreas próximas ao professor, mas pode ser reduzida à medida que os alunos estão mais distantes. Nesse contexto, pode-se afirmar que a inteligibilidade da fala pode ficar comprometida caso ocorra um aumento do ruído residual.

No Modelo B, como consequência da distribuição dos locutores, há várias áreas com maiores níveis de pressão sonora distribuídas pela sala, o que acarreta uma elevação no ruído geral no ambiente. A inteligibilidade da fala pode ser maior dentro de cada grupo, pois os locutores estão próximos aos ouvintes. Além disso, o aumento da quantidade de fontes sonoras pode causar sobreposição de ruídos entre os grupos, potencialmente dificultando a compreensão da comunicação verbal.

Figura 9: Resultados NPS.



Comparativamente, pode-se perceber a diferença nos níveis de pressão sonora, que ficam mais elevados para o modelo que simula uma dinâmica de metodologia ativa de aprendizagem. No Modelo A foram estimados NPS de 47,7 dB, na posição do receptor 1, e 45,7 dB no receptor 6. No Modelo B, as diferentes posições dos receptores não apresentaram resultados diferentes.

Conclusões

A adoção de metodologias ativas de aprendizagem tem sido cada vez mais valorizada nas práticas pedagógicas atuais. No entanto, algumas estratégias podem impactar de forma negativa o conforto acústico nos ambientes de aprendizagem.

A mudança no arranjo da sala de aula, passando de fileiras para grupos, afetou o ambiente sonoro. Apesar da similaridade entre T30 e EDT, o arranjo em grupos apresentou uma distribuição mais uniforme do que o EDT. No entanto, os níveis de pressão sonora (NPS) foram mais altos, o que pode intensificar o ruído e comprometer a compreensão da fala. A pesquisa produziu resultados relacionados à resposta acústica do ambiente.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR ISO 3382-2****: Acústica – Medição de Parâmetros de Acústica de Salas – Parte 2: Tempo de Reverberação em Salas Comuns. Rio de Janeiro, 2017.*

COCCO, R. M. et al. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem em cursos de Arquitetura e Urbanismo. ***Revista de Arquitetura, Cidade e Contemporaneidade****, v. 4, n. 15, 2020.*

DI LORETO, S. et al. Assessment of speech intelligibility in scholar classrooms by measurements and prediction methods. ***Building Acoustics****, v. 30, n. 2, p. 165–202, 1 jun. 2023. ISSN 20598025. DOI 10.1177/1351010X231158190.*

MORAN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. In: SOUZA, C. A.; MORALES, O. E. T. (orgs.). ***Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens****. Vol. II. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2015, pp. 15-33. Disponível em: https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso: fevereiro. 2025.*

RANDS, M. L. et al. The Room Itself Is Active: How Classroom Design Impacts Student Engagement. ***Journal of Learning Spaces****. [s.l: s.n.].*

ZHANG, D. et al. Individual control as a new way to improve classroom acoustics: A simulation-based study. ***Applied Acoustics****, v. 179, 1 ago. 2021. ISSN 1872910X. DOI 10.1016/j.apacoust.2021.108066.*