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

Escola Entre Lagos: projeto arquitetônico e qualidade acústica para ambientes de aprendizagem

Escuela Entre Lagos: proyecto arquitectónico y calidad acústica para espacios de aprendizaje

Entre Lagos School: architectural design and acoustic quality for learning spaces

Acústica Arquitetônica e Urbana / *Acústica arquitectónica y urbana / Architectural and Urban Acoustics*

Nogueira, Marco Aurelio Stoppe

Graduando, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, marcoaureliostoppe@usp.br

Silva, Ruan Matos da

Graduando, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil,ruanmatos@usp.br

Santos, Edna Sofia de Oliveira

Doutoranda, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, sofiaoliveira@usp.br

Michalski, Ranny Loureiro Xavier Nascimento

Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, rannym@usp.br

Resumo

Este artigo apresenta o projeto da Escola Entre Lagos, desenvolvido para o III Concurso Estudantil de Acústica Conrado Silva (CACS), cujo tema foi a qualidade acústica em ambientes escolares. Localizada no Bairro Cidade Dutra, em São Paulo, a proposta arquitetônica se inspira no brutalismo paulista, priorizando funcionalidade e conforto acústico. Três ambientes (auditório, sala de aula e sala multiuso) tiveram projetos básicos de condicionamento sonoro elaborados com simulações no *software* RAIOS 7, que auxiliaram na definição dos materiais e na avaliação da qualidade acústica dos espaços. A abordagem projetual integrou desempenho acústico e linguagem arquitetônica, buscando soluções que favorecem a inteligibilidade da fala e o conforto sonoro. Como resultado, a equipe conquistou o segundo lugar no concurso, demonstrando a relevância da simulação acústica como ferramenta de apoio ao projeto arquitetônico.

Palavras-chave: Conforto acústico. Ambientes de aprendizagem. Simulação acústica. Projeto escolar.

Resumen

Este artículo presenta el proyecto de la Escuela Entre Lagos, desarrollado para el III Concurso Estudiantil de Acústica Conrado Silva (CACS), cuyo enfoque fue la calidad acústica en entornos educativos. Ubicada en el barrio Cidade Dutra, en São Paulo, la propuesta arquitectónica se inspira en el brutalismo paulista, priorizando la funcionalidad y el confort acústico. Se desarrollaron proyectos básicos de acondicionamiento sonoro para tres espacios: auditorio, aula y sala multiuso, con simulaciones en el software RAIOS 7, que ayudaron en la selección de materiales y en la evaluación de la calidad acústica de los ambientes. El enfoque del diseño integró rendimiento acústico y lenguaje arquitectónico, buscando soluciones que favorezcan la inteligibilidad del habla y el confort sonoro. Como resultado, el equipo obtuvo el segundo lugar en el concurso, demostrando la relevancia de la simulación acústica como herramienta de apoyo al diseño arquitectónico.

Palabras clave: Confort acústico. Entornos de aprendizaje. Simulación acústica. Diseño escolar.

Abstract

This article presents the Entre Lagos School project, developed for the III Conrado Silva Student Acoustics Competition (CACS), focusing on acoustic quality in educational environments. Located in the Cidade Dutra neighborhood in São Paulo, the architectural proposal is inspired by Paulista brutalism, prioritizing functionality and acoustic comfort. Three spaces (auditorium, classroom, and multipurpose room) had basic sound conditioning projects developed, with simulations in RAIOS 7 software assisting in the selection of materials and the assessment of acoustic quality. The design approach integrated acoustic performance and architectural language, seeking solutions that enhance speech intelligibility and sound comfort. As a result, the team won second place in the competition, demonstrating the relevance of acoustic simulation as a support tool for architectural design.

Keywords: Acoustic comfort. Learning environments. Acoustic simulation. School design.

Introdução

O projeto arquitetônico de escolas deve considerar, além da organização espacial e da estética, o conforto ambiental, essencial ao aprendizado. O conforto acústico, em especial, afeta diretamente a inteligibilidade da fala e a concentração. Um dos principais desafios é o tempo de reverberação elevado de espaços de aprendizado, que compromete a comunicação em sala de aula entre as partes envolvidas no processo pedagógico (Mahl, 2024; Oliveira, 2023). Em climas quentes, como no Brasil, estratégias para conforto térmico podem entrar em conflito com o desempenho acústico, exigindo soluções equilibradas.

Normativamente, o Manual de Orientações Técnicas do FNDE (2025) reconhece a importância do isolamento acústico, com base na ABNT NBR 15575 (ABNT, 2024), mas não aprofunda o condicionamento acústico — fundamental para o aprendizado. Já o Manual ProAcústica (2019) oferece diretrizes detalhadas sobre tempo de reverberação e inteligibilidade da fala, reforçando a importância do condicionamento acústico. Kowaltowski (2011) também destaca a relevância da qualidade ambiental no projeto escolar, defendendo uma abordagem integrada que considere a acústica como parte essencial da arquitetura educacional.

Nesse contexto, o III Concurso Estudantil de Acústica Conrado Silva (CACS), no XXX Encontro da SOBRAC, desafiou os participantes a projetar uma escola para o ensino fundamental II, com foco na qualidade acústica dos espaços de aprendizagem (Morais et al., 2024). Este artigo apresenta o projeto da Escola Municipal de Ensino Fundamental Entre Lagos, desenvolvido para o concurso.

Método

O projeto foi desenvolvido integrando princípios da arquitetura escolar e critérios de conforto acústico, seguindo quatro etapas principais:

1. **Levantamento de diretrizes e normativas:** Foram analisados documentos técnicos, que forneceram parâmetros para o desempenho acústico dos ambientes.
2. **Escolha do terreno:** Seleção com base em disponibilidade, ausência de demolições e condições acústicas favoráveis, considerando ruído urbano, topografia e acessibilidade.
3. **Concepção do projeto arquitetônico**: O projeto seguiu princípios da Escola Paulista de Arquitetura e do Brutalismo, priorizando soluções espaciais que favoreçam

funcionalidade e conforto acústico, além de organizar o programa para separar áreas ruidosas dos espaços de aprendizagem.

4. **Simulação acústica**: Realizada no software RAIOS 7 para três ambientes (sala de aula, auditório e multiuso), orientando a definição de materiais e estratégias acústicas.

Essa abordagem garantiu um projeto baseado em parâmetros técnicos, de modo a assegurar qualidade acústica nos espaços de aprendizagem.

O projeto da Escola Entre Lagos

Localizado no Bairro Cidade Dutra, Zona Sul de São Paulo, o terreno triangular e desocupado elimina a necessidade de demolições, facilitando a implantação. Sua proximidade com a Avenida Senador Teotônio Vilela favorece o acesso. A análise do entorno seguiu a ABNT NBR 10151:2019, que orienta sobre limites de ruído compatíveis com o uso do solo, identificando a Avenida, a Rua Silves e a Rua Eirunepé como as mais ruidosas. No entanto, a topografia elevada do terreno contribui para a atenuação sonora. Esses fatores fundamentaram as decisões projetuais voltadas ao conforto acústico. A Figura 1 apresenta a localização.

Figura 1: Localização em mapa da Zona Sul de São Paulo, o bairro Cidade Dutra com o terreno em marcação, e a planta de situação do local.



Fonte: Autores.

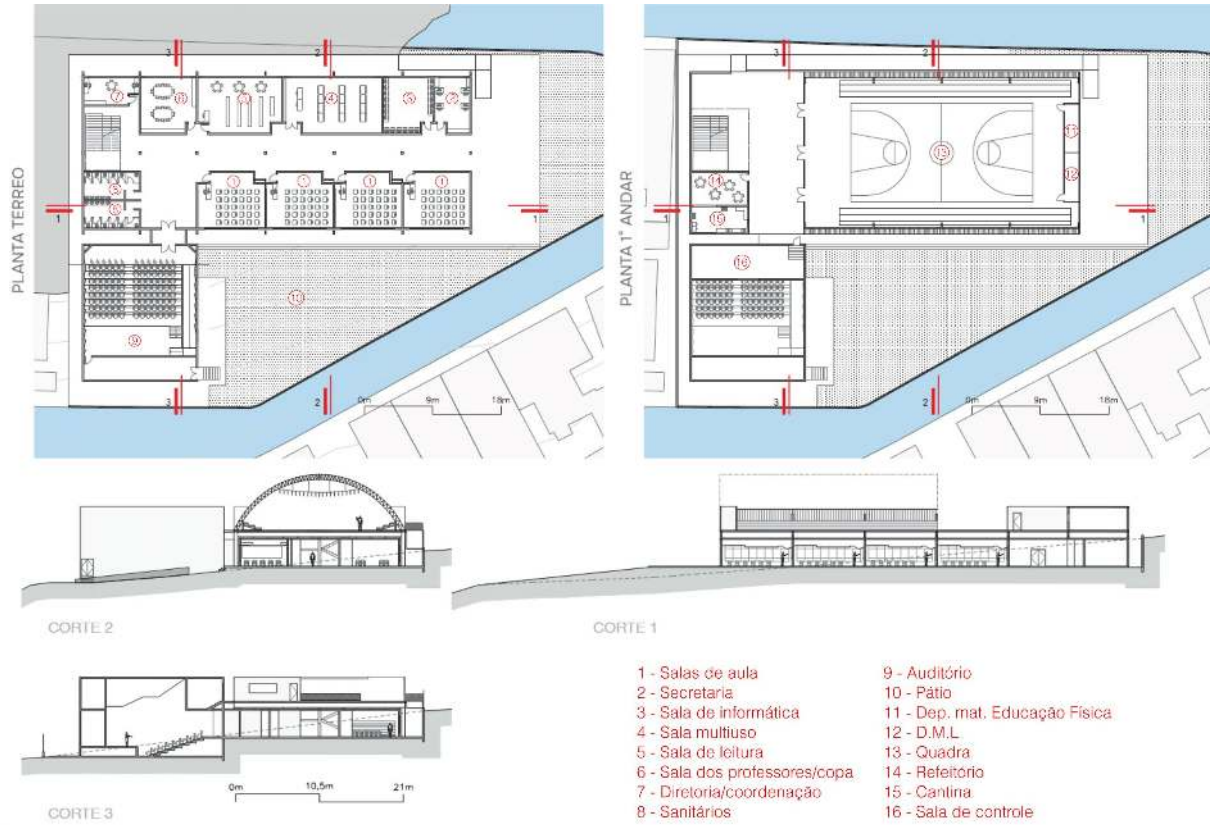
Inspirado na Escola Paulista de Arquitetura, liderada por Vilanova Artigas, o projeto adota concreto aparente, valoriza a estrutura e a integração espacial. Os ambientes de aprendizagem foram organizados para promover a coletividade e garantir soluções construtivas compatíveis com o conforto acústico. A Figura 2 mostra a Fachada Sul, e a Figura 3, as plantas do térreo, do primeiro pavimento, e os cortes. A Figura 4 apresenta a sala de aula projetada.

Figura 2: Fachada Sul do projeto em perspectiva.



Fonte: Autores.

Figura 3: Plantas do térreo, do 1º andar e cortes.



Fonte: Autores.

A escola foi implantada sob a laje da quadra esportiva, com sistemas estruturais independentes que permitem o uso simultâneo dos espaços e asseguram o isolamento acústico. Um vazio intermediário e amortecedores de vibração contribuem para a atenuação sonora, enquanto um recorte na laje do primeiro pavimento favorece a ventilação cruzada. O arco da quadra, visível da rua, reforça a identidade arquitetônica (Figura 3, cortes 1 e 2).

Recuos nas portas das salas formam pequenos halls que reduzem a propagação de ruídos da circulação, e as janelas voltadas para um bosque aproveitam a geografia local como área de lazer. No lado oposto, a topografia viabilizou a implantação de uma rampa de acesso ao pavimento superior, elemento típico da Escola Paulista.

A sala multiuso (Figura 5), com 81 m², conta com halls de entrada para controle acústico e aberturas voltadas ao norte, garantindo ventilação e iluminação naturais.

O auditório, com acessos distintos para público e equipe técnica (Figura 6), adota sistemas construtivos independentes, antecâmara e lajes dissociadas para isolamento acústico. Implantado na porção mais baixa do terreno, permite maior pé-direito e entrada autônoma. Inspirado na estética paulista, foi concebido como uma “caixa inerte”, unindo isolamento e forma interna para otimizar o desempenho acústico.

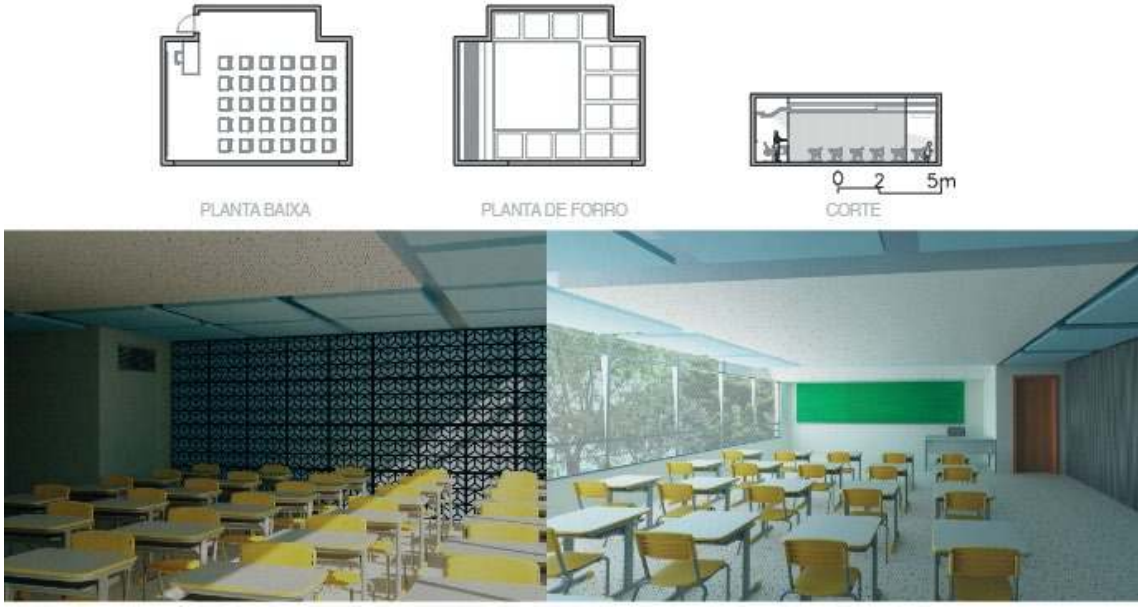
Simulação e Condicionamento Acústico

A proposta de condicionamento acústico adotou estratégias específicas para cada um dos três ambientes.

Na sala de aula, o forro inclinado próximo ao quadro direciona o som aos alunos, enquanto materiais absorvedores foram aplicados nas laterais e painéis refletores ao centro. Painéis no fundo evitam o retorno sonoro, e um painel frisado na parede de entrada contribui para uma distribuição uniforme (Figura 4).

Para a sala multiuso, em ausência de norma nacional, seguiu-se a AS/NZS 2107 (2016), indicada para ambientes abertos e de uso simultâneo. O condicionamento acústico incluiu lousas intercaladas com espumas absorvedoras, um mapa-múndi e luminárias em lã de PET. No teto, três níveis de absorvedores foram aplicados, com forro acústico modular branco ao fundo. Próximo à entrada, uma estante de madeira recebeu um painel vibrante para otimizar a absorção em 125 Hz. A estratégia priorizou a absorção sonora para evitar reforços indesejados. A Figura 5 ilustra essas soluções.

Figura 4: Planta de forro, planta de piso, corte e perspectivas da sala de aula.



Fonte: Autores.

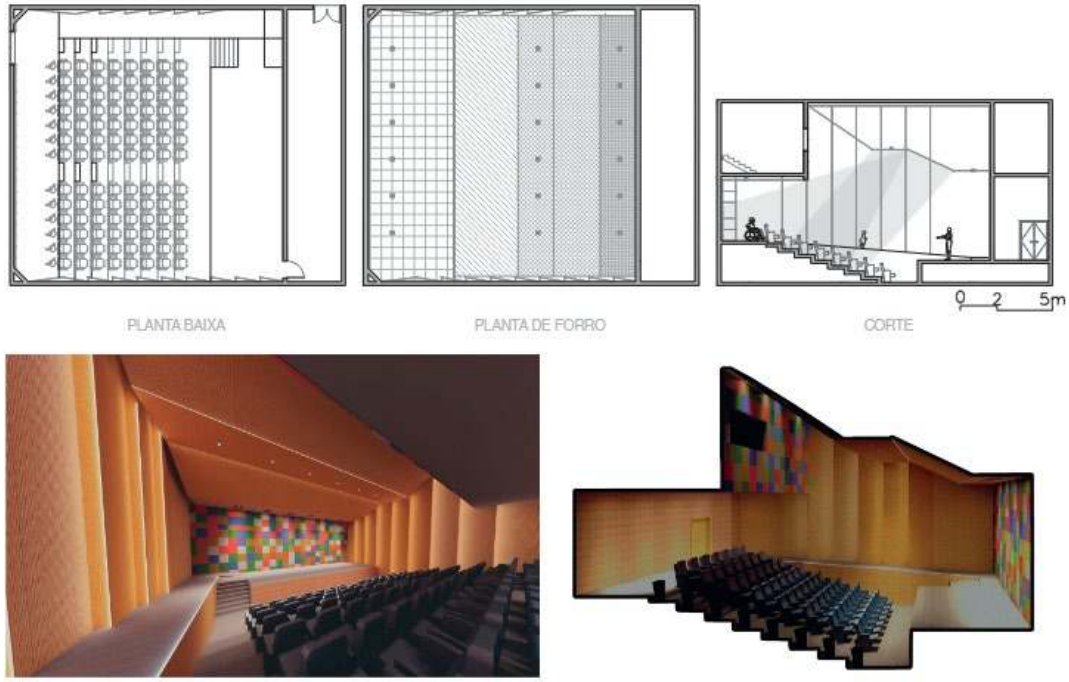
Figura 5: Planta de forro, planta de piso, corte e perspectivas da sala multiuso.



Fonte: Autores.

O condicionamento acústico do auditório utilizou materiais variados para equilibrar absorção e difusão sonora, adaptando-o a diferentes usos. O revestimento interno rompe a geometria cúbica com planos estratégicos, enquanto o piso em carpete e os fechamentos do palco e rampa favorecem a absorção em baixas frequências. O forro inclinado combina superfícies absorventes e refletoras, assegurando boa distribuição sonora (Figura 6).

Figura 6: Planta de forro, planta de piso, corte e perspectivas do auditório.



Fonte: Autores.

Para a simulação do condicionamento acústico dos ambientes, utilizou-se o programa de simulação RAIOS 7. O processo iniciou com a modelagem volumétrica simplificada no AutoCAD, que posteriormente foi importada para o *software*. As configurações adotadas foram:

- 100 mil raios para cada ponto de fonte;
- Temperatura do ar de 22,8°C;
- Umidade relativa do ar de 50%;
- Número de elementos triangulares de superfície igual a 800;
- Decaimento considerado de cada raio de – 60 dB;
- Comprimento da resposta impulsiva de 1 segundo (44.100 amostras).

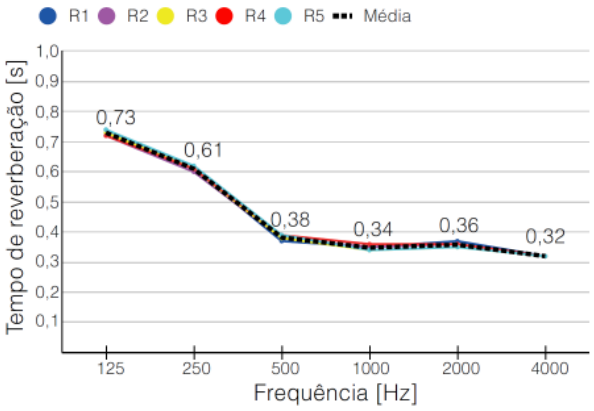
A quantidade de raios foi ajustada para garantir consistência nos resultados, e os elementos triangulares equilibram precisão e tempo de cálculo. Na simulação da sala de aula, utilizou-se uma fonte sonora (F1) e cinco pontos de recepção (R1 a R5), conforme a Figura 7. O tempo de reverberação (TR) para 500 Hz, idealmente de 0,4 s segundo o Building Bulletin 93 (2015), ficou próximo ou ligeiramente abaixo desse valor (Figura 8), e a definição superou 50% em todas as frequências, indicando boa inteligibilidade (Figura 9).

Figura 7: Posição de fonte e receptores na sala de aula utilizados na simulação.



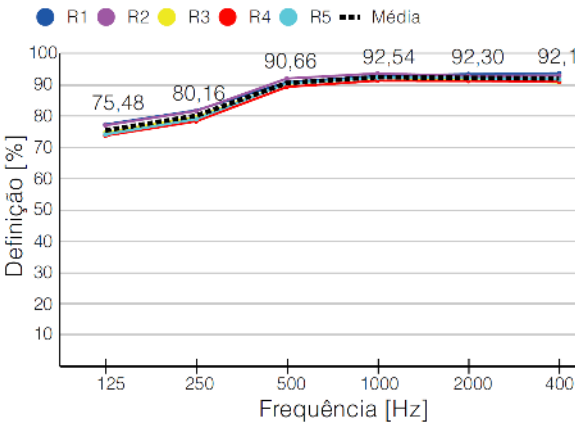
Fonte: Autores.

Figura 8: TR simulado para a sala de aula.



Fonte: Autores.

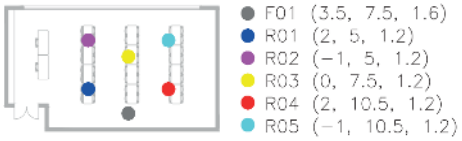
Figura 9: Definição simulada para a sala de aula.



Fonte: Autores.

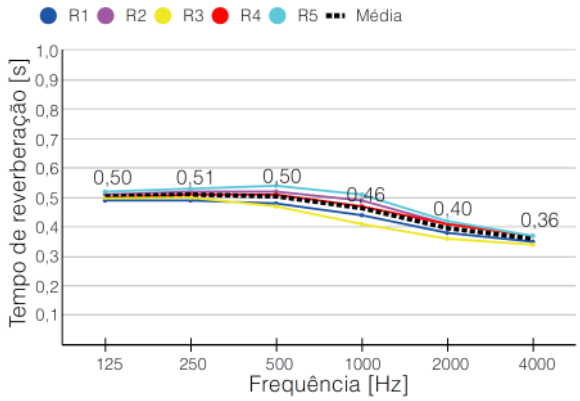
Na simulação da sala multiuso, adotou-se um ponto de fonte (F1) no centro da sala e cinco pontos de recepção (R1 a R5) distribuídos pelo ambiente (Figura 10). O tempo de reverberação permaneceu próximo ao recomendado, com valores ligeiramente elevados até 1000 Hz, apresentando média de 0,5 segundos entre 125 e 500 Hz e 0,36 segundos em 4 kHz (Figura 11). Como a fala é a principal atividade no espaço, o parâmetro de definição manteve-se em torno de 90% em toda a faixa de frequência, garantindo boa inteligibilidade (Figura 12).

Figura 10: Posição de fonte e receptores na sala multiuso utilizados na simulação.



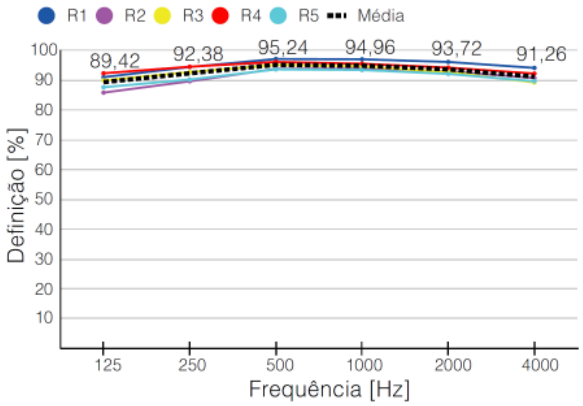
Fonte: Autores.

Figura 11: TR simulado para a sala multiuso.



Fonte: Autores.

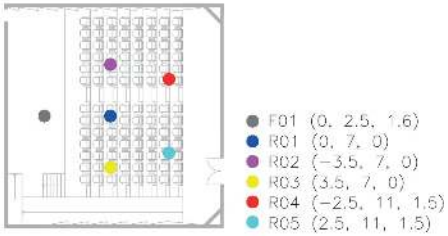
Figura 12: Definição simulada para a sala multiuso.



Fonte: Autores.

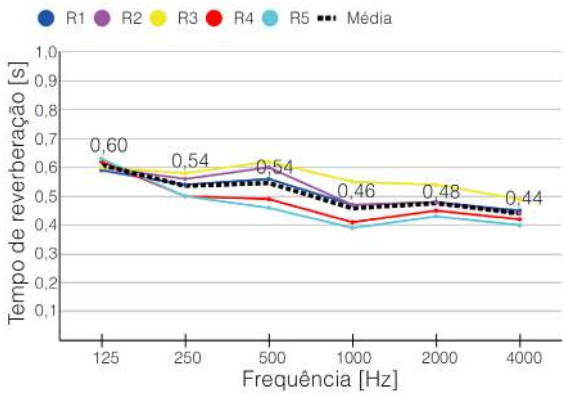
Na simulação do auditório, foi adotado um ponto de fonte (F1) no palco e cinco pontos de recepção (R1 a R5) distribuídos na plateia (Figura 13). O tempo de reverberação ficou abaixo do ideal de 0,72 s em 500 Hz (Long, 2006), possivelmente devido às poltronas ocupadas, que absorvem parte da energia sonora (Figura 14). No entanto, essa condição pode não refletir o uso real, em que o espaço pode ser utilizado com menor ocupação, resultando em um tempo de reverberação maior. O parâmetro de definição manteve-se em torno de 90% em toda a faixa de frequência, indicando uma boa distribuição sonora e alta inteligibilidade da fala (Figura 15).

Figura 13: Posição de fonte e receptores no auditório utilizados na simulação.



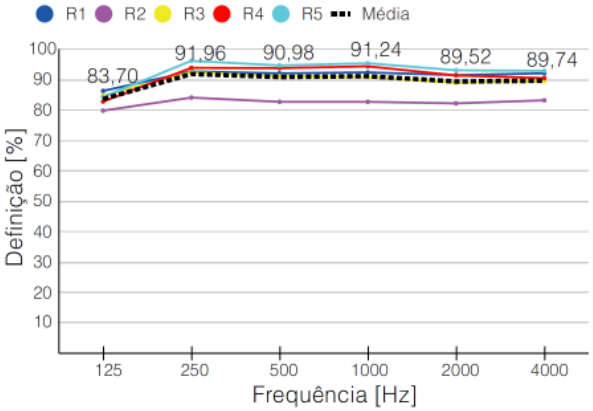
Fonte: Autores.

Figura 14: TR simulado para o auditório.



Fonte: Autores.

Figura 15: Definição simulada para o auditório.



Fonte: Autores.

Considerações finais

O projeto da Escola Municipal de Ensino Fundamental Entre Lagos, desenvolvido para o III Concurso Estudantil de Acústica Conrado Silva (CACS), integrou arquitetura e desempenho acústico para criar um ambiente escolar funcional e confortável. Inspirado no Brutalismo Paulista, priorizou-se a inteligibilidade da fala e o controle da reverberação como diretrizes fundamentais para o conforto sonoro. Soluções como a separação estrutural entre a quadra e os espaços de aprendizagem, o uso de materiais absorvedores, refletores e difusores em pontos estratégicos e a setorização de ambientes conforme o nível de ruído foram determinantes para o desempenho final. As simulações no software RAIOS 7 orientaram o condicionamento acústico dos espaços, e a análise dos resultados comprovou a eficácia das estratégias. A proposta recebeu o segundo lugar no concurso, destacando a relevância da abordagem adotada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – bolsa n◦ 140771/2023-9), pelo apoio financeiro parcial a esta pesquisa.

Referências

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ABNT NBR 10151**: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

AS/NZS (Standards Australia/Standards New Zealand)**. AS/NZS 2107**: Acoustics – Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors. Australia/New Zealand, 2016.

BUILDING BULLETIN 93. **Acoustic design of schools – performance standards**, Reino Unido, 2015.

FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação) (BRASIL). **Elaboração de projetos de edificações escolares**: Ensino Fundamental. In: Manual de Orientações Técnicas – Volume III. Brasília: FNDE. Disponível em: https://www.gov.br/fnde/pt-br. Acesso em: 5 fev. 2025.

Graça, V. A. C. da; Kowaltowski, D. C. C. K. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 3, p. 19–35, 2008. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3555. Acesso em: 5 fev. 2025.

Kowaltowski, D. C. C. K. **Arquitetura escolar**: o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Long, M. **Architectural Acoustics**. New York: Elsevier Academic Press, 2006.

ProAcústica. **Manual ProAcústica para Qualidade Acústica em Escolas**. São Paulo: ProAcústica, 2019.

Mahl, A. L.; Tenenbaum, R. A.; Melo, V. S. G. Avaliação de inteligibilidade em salas de aula com aurilizações simuladas. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 15, p. e024011, Campinas, SP, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8673602. Acesso em: 5 fev. 2025.

Morais, J. M. S. C.; Oliveira, M. F.; Cortês, M. M. III Concurso Estudantil de Acústica Conrado Silva – CACS. **Acústica e Vibrações**, v. 39, n. 56, p. 1–3, 2024.

Oliveira, L. O. M. *et al*. Avaliação e adaptação das condições acústicas de uma sala de aula do ensino superior. In: **Anais do XXX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica** (Sobrac 2023). Natal (RN): UFRN, 2023.