

Acústica arquitetônica: estudo de caso na proposta de ampliação da Escola Trinta de Outubro em Lebon Régis-SC

Silva, C. M.¹ ; Varela, A. S.¹ ; Witiuk, A. C. N.¹ ; Hara, A. H.¹ 

¹ Arquitetura & Urbanismo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, SC, camila.silva14@edu.udesc.br, adrielle.varela0130@edu.udesc.br, amanda.nisz@gmail.com, americo.hara@udesc.br

Resumo

O artigo analisa a importância do tratamento acústico em escolas, focando no estudo de caso da Escola Estadual Trinta de Outubro, em Lebon Régis-SC. A instituição atende 220 alunos com ênfase no ensino regular voltado para o campo, oferecendo atividades diversificadas que integram aprendizado teórico-prático e cultural. A proposta de ampliação da escola visa criar espaços adicionais, como salas de aula, laboratórios e um auditório, para melhorar a infraestrutura e promover a interação com a comunidade local. Assim, o trabalho apresenta os tratamentos acústicos nesses espaços, revelando a importância da acústica para os ambientes escolares. A metodologia incluiu a fundamentação teórica acerca do som, do controle do ruído, normativas dos níveis aceitáveis de ruído e métodos de condicionamento acústico, bem como o tratamento acústico com cálculos de tempo de reverberação e a escolha de materiais apropriados nas salas de aula, laboratório de informática e auditório. As intervenções acústicas demonstraram resultados positivos, alcançando tempos de reverberação dentro dos parâmetros recomendados. A conclusão destaca o atendimento às especificações normativas do condicionamento acústico nos ambientes estudados, reforçando a relevância de considerar a acústica na proposição de espaços educacionais e favorecer o processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Arquitetura escolar, acústica arquitetônica, auditório, tratamento acústico.

PACS: 43.55.-n, 43.55.Br, 43.55.Fw.

Architectural acoustics in educational environments: a case study of the expansion of Trinta de Outubro School in Lebon Régis, Brazil

Abstract

The article examines the importance of acoustic treatment in schools, focusing on a case study of the Escola Estadual Trinta de Outubro in Lebon Régis, Santa Catarina, Brazil. The institution serves 220 students with an emphasis on regular education tailored to rural contexts, offering diverse activities that integrate theory with practical and cultural learning. The proposed expansion of the school aims to create additional spaces, such as classrooms, laboratories, and an auditorium, to improve infrastructure and foster interaction with the local community. Objectively, the study presented the acoustic treatments applied to these spaces, highlighting the significance of acoustics in educational environments. The methodology includes the theoretical basis for sound, noise control, regulations on acceptable noise levels and acoustic conditioning methods, as well as acoustic treatment with reverberation time calculations and the selection of appropriate materials in classrooms, computer labs and auditoriums. The acoustic interventions yielded positive results, achieving reverberation times within recommended parameters. The conclusion underscores compliance with normative specifications for acoustic treatment in the studied environments, emphasizing the importance of considering acoustics in the design of educational spaces to enhance the teaching and learning process.

Keywords: Architecture, school, auditorium, acoustic treatment.

1. INTRODUÇÃO

A educação é um pilar essencial para o desenvolvimento de qualquer sociedade, e o ambiente escolar tem papel crucial nesse processo. A qualidade acústica das escolas influencia diretamente o desempenho cognitivo e a saúde de alunos e professores, afetando a inteligibilidade da fala, a concentração e o bem-estar geral. Pesquisas demonstram que condições inadequadas de conforto acústico aumentam a dispersão de atenção, dificultam a compreensão oral e podem causar estresse, fadiga vocal e perda auditiva no futuro [1].

Este trabalho trata da importância do condicionamento acústico em ambientes escolares em fase de projeto, a partir do estudo de caso realizado na Escola Estadual Trinta de Outubro, localizada no município de Lebon Régis-SC, e que representa um exemplo significativo da importância da educação em localidades rurais pelo Brasil. A cidade de Lebon Régis está situada na mesorregião Oeste Catarinense, a 360 km da capital, conhecida como "Coração do Contestado" e carrega uma dramática história marcada por lutas sociais e pelo desenvolvimento agrícola [2].

A escola, dedicada ao ensino regular com um viés voltado para o campo, oferece a formação completa do Ensino Fundamental e Médio, funcionando em períodos matutino e vespertino. Em média, a escola atende 220 alunos matriculados, os quais participam de atividades de análise *in loco* voltadas ao estudo de temas como açudes, nascentes, lavouras e hortas sintrópicas, entre outros [3]. Além disso, a instituição se destaca pela sua rica produção e diversidade cultural, promovendo atividades que incluem a elaboração de filmes, danças, poemas, desenhos, livros e peças de teatro [4]. Essa abordagem multifacetada proporciona aos alunos um ambiente educativo dinâmico e integrado à realidade local.

O estudo de caso na Escola Trinta de Outubro se baseia no fato de ela necessitar de uma ampliação para acomodar os alunos

adequadamente, com mais 6 salas de aula, 1 laboratório de informática, e 1 laboratório de ciências para atividades práticas dado a sua vocação como escola agrária. Outro espaço proposto na escola é um auditório para 300 pessoas destinado às atividades culturais, principalmente, o teatro e às artes cênicas, dado a sua inclinação artística. O auditório também se destina ao uso da comunidade, como um espaço para eventos, palestras e atividades culturais, promovendo a interação social e fortalecendo o desenvolvimento local.

A proposta de ampliação da escola está fundamentada na necessidade de reforçar a integração da instituição com a localidade, promovendo a troca de saberes e experiências. Este trabalho visa apresentar os tratamentos acústicos para as salas de aula, laboratório de informática e auditório considerando as recomendações normativas, qualificando o ambiente escolar.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. Acústica e sua importância no ambiente escolar

O som como onda mecânica necessita de um meio para a sua propagação, sendo percebida pelo ouvido humano nas frequências entre 20 Hz e 20 kHz. O ruído corresponde ao som indesejado que causa desconforto e/ou excede os limites normativos. Para ambientes escolares, a NBR 10.152 recomenda manter o ruído residual entre 40 dB a 50 dB em salas de aula e laboratórios e, de 35 dB a 45 dB, em auditórios de uso múltiplo [5].

A inteligibilidade da fala, que pode ser avaliada por meio da pronúncia de uma lista de palavras e está relacionada a níveis aceitáveis de som residual, indica, em percentual, quantas palavras foram compreendidas corretamente, definindo assim a taxa de inteligibilidade em sala de aula. Essa taxa depende diretamente da Relação Sinal/Ruído (S/N), que corresponde à diferença, em decibels (dB), entre a fonte emissor e o ruído residual. Quanto maior o S/N, melhor a compreensão; quando o S/N é

negativo, o ruído supera a voz, tornando a compreensão muito difícil. O S/N também varia no espaço: a intensidade de um som diminui proporcionalmente ao quadrado da distância da fonte – lei do inverso do quadrado da distância [1]. Isso acontece porque a energia sonora se espalha por uma área esférica à medida que a onda avança, e a área aumenta com o quadrado do raio.

No Brasil, evidências apontam que cerca de 90% das escolas avaliadas apresentam tempos de reverberação acima dos valores recomendados, comprometendo a inteligibilidade da fala e elevando o esforço auditivo [1]. Em consonância, estudos internacionais demonstram que intervenções com forros e painéis absorventes reduzem a dose diária de ruído em 4 a 6 vezes e diminuem os níveis médios de pressão sonora de 6 dB a 9 dB nos períodos de maior ocupação, com melhorias na percepção da fala e no conforto por parte dos usuários [6].

Em escolas cuja concepção original não considerou o desempenho acústico, é possível melhorar significativamente a qualidade sonora por meio de intervenções simples e direcionadas. Neste caso, o condicionamento acústico envolve a aplicação de materiais e revestimentos capazes de absorver, atenuar ou difundir o som, controlando a reverberação, o Tempo de Decaimento Inicial e a definição da fala (C50), parâmetro diretamente relacionado à inteligibilidade e, portanto, mais adequado para ambientes de ensino [7]. Entre as soluções mais eficazes para atenuar o som estão a instalação de painéis absorventes acústicos no teto e nas paredes onde a reflexão sonora é indesejada, aplicação de cortinas espessas e revestimentos resilientes no piso, como carpetes ou placas vinílicas [6].

A presença de mobiliário associada à inclusão e disposição estratégica de elementos difusores, como ripados de madeira, também contribuem para equilibrar a propagação sonora. Essas medidas, quando baseadas em diagnóstico acústico prévio e alinhadas às recomendações normativas, permitem

transformar ambientes escolares ruidosos em espaços mais confortáveis, favorecendo a comunicação e o aprendizado [8].

2.2. Cuidados e recomendações com a acústica em ambientes escolares e auditórios

Um dos aspectos fundamentais no projeto acústico de auditórios refere-se à geometria do ambiente, devendo-se evitar a disposição de paredes e superfícies paralelas para prevenir a formação de *flutter echo* ou eco flutuante [9].

Outro ponto é a escolha dos revestimentos e acabamentos, pois influenciam diretamente na reverberação no interior dos espaços e, portanto, no tempo que o som leva para deixar de ser percebido após a sua emissão, conhecido como tempo de reverberação (TR) [10]. A ABNT NBR 12.179 estabelece tempos ótimos de reverberação (TOR) relacionando o volume do ambiente em função das atividades exercidas.

O TOR deve ser ajustado considerando as bandas de oitava de 250 Hz, 500 Hz e 2000 Hz. Entretanto, a norma brasileira vigente [10] só disponibiliza informações na banda de 500 Hz, sendo necessário aplicar fatores de correção em função da frequência [11].

Em ambientes escolares, também é possível utilizar as recomendações obtidas em [12] e reportadas pela Associação Brasileira para a Qualidade Acústica – ProAcústica, para o Tempo de Reverberação Ótimo (TOR) em função das bandas de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. Ainda segundo a ProAcústica, para as bandas de 125 Hz e 250 Hz, pode-se admitir um aumento de 50% do valor indicado [12, 13]. Neste quesito, estudos realizados por [14] evidenciam que é possível readequar a acústica em salas de aula a partir aplicações economicamente acessíveis.

Além disso, a qualidade acústica nas salas de aula desempenha papel importante no

desenvolvimento cognitivo dos estudantes. O estudo de [15] avaliando o impacto de diferentes condições de isolamento e condicionamento acústico em ambientes escolares com uso de simulações em realidade virtual, indicou que o ruído de conversa foi o mais prejudicial ao desempenho cognitivo dos participantes, especialmente quando apresentava inteligibilidade do conteúdo falado, enquanto o ruído de tráfego teve efeito menos distrativo. Também foi observado que salas com baixo isolamento acústico apresentaram pior desempenho, e que a relação sinal-ruído e o tempo de reverberação devem ser considerados de forma integrada para garantir a inteligibilidade da fala e a atenção dos alunos [15].

Paralelamente, o tratamento acústico em auditórios deve ser realizado com atenção, dado que existem dois espaços bem definidos, o palco, onde se origina o som e o espetáculo é realizado, e a plateia, onde o som deve chegar com intensidade e clareza para a correta apreciação da apresentação [16]. Ou seja, são espaços distintos que necessitam de tratamento acústico específicos. Também é necessário definir a posição dos refletores no forro e nas paredes do auditório, para que as reflexões sonoras sejam dirigidas para a plateia a fim de melhorar a audibilidade nas últimas fileiras, compensando a perda de energia devido à distância da fonte, conforme nos trabalhos premiados com o segundo e terceiro lugar no III Concurso Estudantil de Acústica Conrado Silva [17, 18].

Finalmente, evidencia-se dois efeitos contrários das aberturas no conforto acústico dos ambientes. De um lado, a necessidade de ventilação natural para a remoção de calor interno e renovação do ar, enquanto, de outro, o isolamento acústico para a realização das atividades. Essa situação conflitiva é agravada em ambientes escolares, onde a natureza das interações sociais das crianças, marcada pela exuberância vocal, contribui para um elevado nível de ruído [19].

Este dilema exige o desenvolvimento de soluções projetuais criativas capazes de

conciliar a qualidade do ar interno com o conforto acústico. Em contraste, a literatura especializada sugere que as janelas, quando tem suas aberturas controladas, pode resultar na melhoria de parâmetros acústicos, como a atenuação do tempo de reverberação e o consequente aumento da Clareza (C50) e do Índice de Transmissão da Fala (STI) [20].

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos tomam como objeto de análise a proposta arquitetônica de ampliação da Escola Trinta de Outubro. O projeto levou em consideração o programa de necessidades e o pré-dimensionamento dos espaços, a relação com a edificação existente, o relevo, os acessos e a volumetria dos recintos, principalmente, do auditório.

A partir da definição espacial e dos fechamentos das salas de aula, laboratórios e do auditório, realizaram-se os cálculos de tempo de reverberação segundo a fórmula de Sabine. Os dados dos coeficientes de absorção sonora foram obtidos tanto na norma brasileira [10] e de fabricantes de materiais acústicos de fornecedores comerciais. A equação de Sabine é expressa por:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{\sum Si \cdot ai}, \quad (1)$$

em que V é o volume da sala em m^3 (metros cúbicos), Si é a área superficial de cada material presente no recinto e, ai , o coeficiente de absorção sonora de cada material.

3.1. Contextualização da Escola Trinta de Outubro

A Escola Estadual Trinta de Outubro está localizada na macrozona rural do município de Lebon Régis, cujo município faz divisa com as cidades Fraiburgo, Rio das Antas, Caçador, Calmon, Timbó Grande, Santa Cecília e Curitiba (Figura 1).

A escola está situada na Comunidade do Assentamento Rio dos Patos, sendo acessada pela Rodovia SC-355 que conecta Lebon Régis a Fraiburgo, servindo como seu principal acesso, assim como para a comunidade local.



Figura 1: Localização de Lebon Régis (Mapchart, adaptado pelos autores [21]).

A escola possui terreno de 18 hectares obtida de uma de reforma agrária e sua edificação, iniciada em 1992, ocupando 10% da área total do lote. O entorno é caracterizado por apresentar baixa densidade populacional, com predominância de fazendas dedicadas à agricultura e à pecuária [22].

A Figura 2 apresenta a localização da escola (1) e o entorno imediato: quadra coberta (2), capela (3) e o campo de futebol (4), que é um espaço importante para a prática esportiva e de lazer da comunidade. O acesso (5) leva aos assentamentos, mas a falta de sinalização na SC-355 e de pavimentação nas vias secundárias dificultam a circulação em dias de chuva.

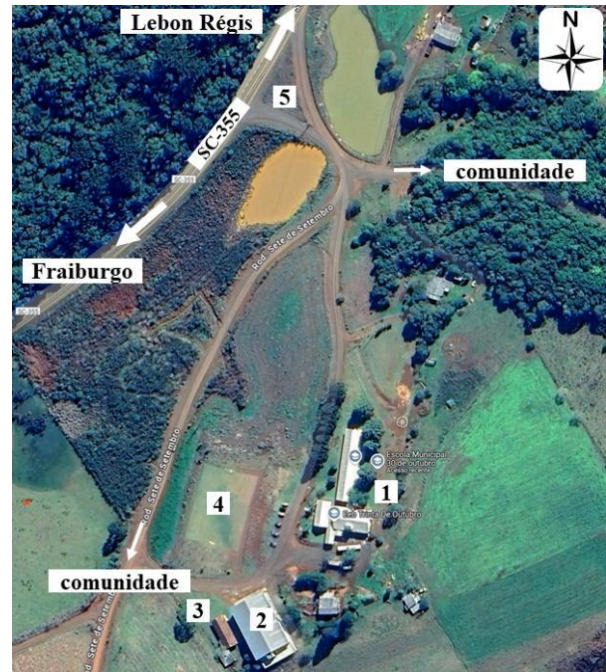


Figura 2: Localização da Escola Trinta de Outubro. Fonte: Google Maps [23], adaptado pelos autores.

3.2. Ampliação da Escola Trinta de Outubro

A proposta de ampliação considerou o relevo plano, a integração com a edificação preexistente e a necessidade de um acesso coberto para receber os alunos, servidores e demais usuários. O projeto resultou na criação de uma nova ala, com seis salas de aula, laboratórios de informática e de ciências, além do auditório como bloco independente, com proscênio, coxia, camarins e depósito entre outros espaços [24].

A Figura 3 apresenta o conjunto volumétrico da escola preexistente (1) com a ampliação (2), o auditório (3), e anfiteatro (4), o ginásio (5) e a capela (6).

A nova ala de salas de aula e laboratórios foi concebida como uma extensão da estrutura original, gerando um pátio interno aberto, alinhado com a fachada sul da edificação principal existente. Entre a edificação existente e a nova ala, há um espaço que atuará como o acesso principal dos alunos à escola, direcionando-os para o pátio interno. Esse

acesso coberto integra a escola, o auditório, o estacionamento e o pátio destinado aos veículos coletivos, promovendo uma circulação organizada e protegida (Figuras 4 e 5).



Figura 3: Perspectiva da Escola Trinta de Outubro.

O auditório atende tanto os alunos quanto a comunidade local e está conectado ao acesso coberto já mencionado. Na fachada sul do auditório, encontra-se o estacionamento e a área de carga/descarga, e na fachada norte, um pátio aberto que serve de acesso secundário e saída de emergência, e que também se liga por uma rampa ao anfiteatro aberto, localizado mais abaixo (Figura 4).

Proposto como um espaço secundário para ensaios e apresentações ao ar livre, o anfiteatro se assenta no relevo natural do terreno, que moldam as arquibancadas escalonadas em direção à escola. Seu posicionamento estrategicamente definido a 32 m do novo bloco da escola, levou em consideração a atenuação do som em função da distância – Lei do Inverso do Quadrado da Distância – minimizando, de certa forma, as interferências nas atividades internas das salas de aula, localizadas cinco cotas acima. Adicionalmente, o entorno do anfiteatro é composto por áreas gramadas, contribuindo para uma reflexão difusa do som, atenuando

ainda mais a intensidade sonora em direção aos demais edifícios.

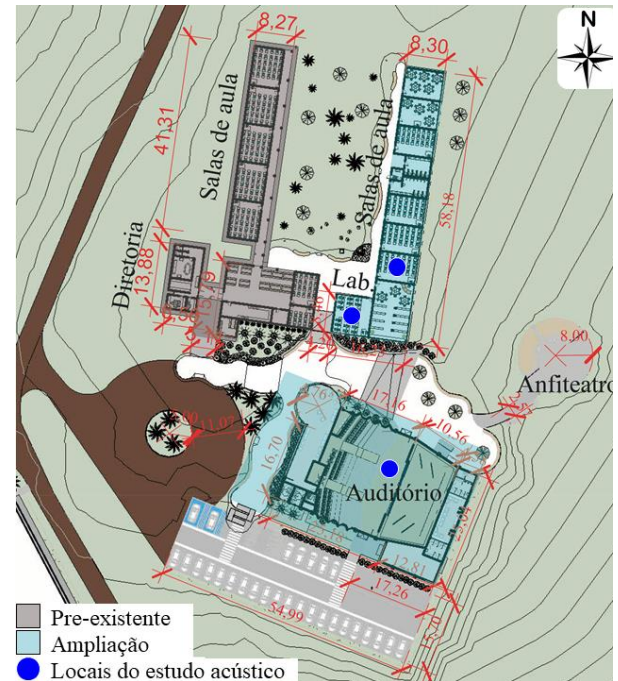


Figura 4: Planta baixa da Escola Trinta de Outubro e indicação dos locais do estudo acústico.

Este caso evidencia a importância do estudo acústico preliminar e da setorialização funcional durante a fase de concepção do projeto. O partido arquitetônico e a organização espacial estruturada são fundamentais para definir a composição formal do conjunto, assegurando a compatibilidade entre os usos dos ambientes e otimizando o conforto ambiental, neste caso, especificamente o acústico.

A Figura 4 apresenta a planta baixa da escola com as indicações dos locais do estudo acústico proposto, e a Figura 5, recorte da planta baixa da nova ala da escola.

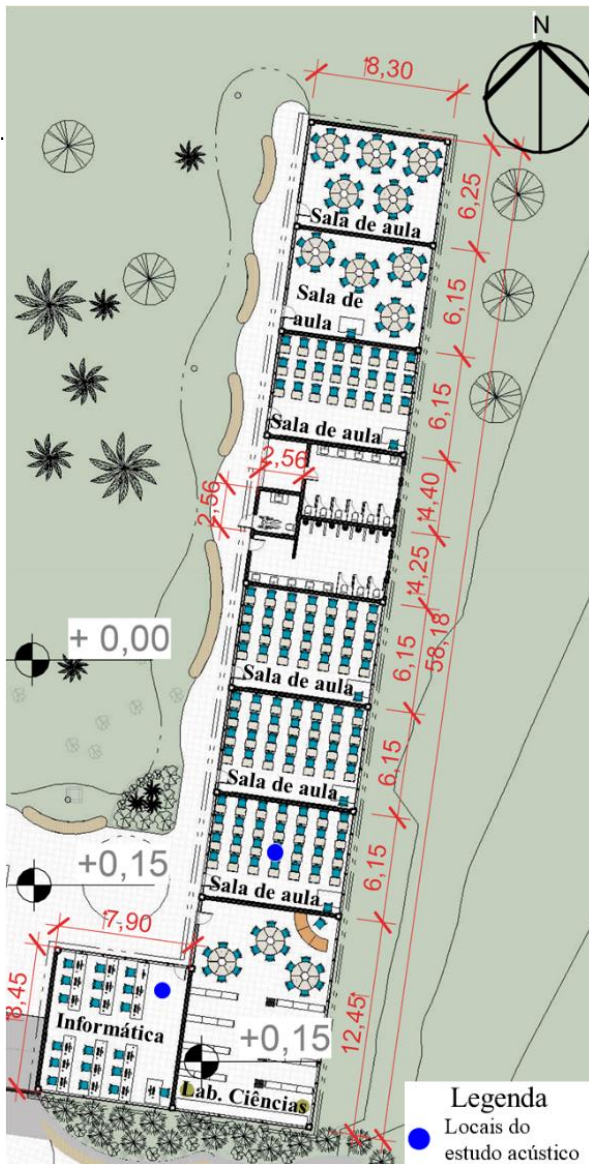


Figura 5: Planta baixa da nova ala da Escola Trinta de Outubro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados dos estudos de tratamento acústico para as salas de aula, laboratório de informática e auditório, respectivamente.

4.1. Tratamento acústico para nas salas de aula

As seis salas de aula possuem dimensões padronizadas de 8,00 m x 6,00 m e pé direito de 3,00 m, totalizando um volume de 144 m³. As salas de aula também têm aberturas nas

paredes orientadas para leste e oeste com objetivo de favorecer a ventilação cruzada. Como a ventilação natural e o condicionamento acústico são conflitantes, as janelas voltadas para o oeste, são menores e mais altas, com peitoril de 2,20 m (Figuras 6 e 7).

Dessa forma, com as janelas maiores voltadas para leste, elas permitirão a ventilação natural contínua, mesmo que aquelas voltadas para oeste estiverem fechadas. Essa solução foi adotada para todas as salas do novo bloco, incluindo o laboratório de informática.

Para realizar o estudo, elegeu-se a salas de aula conforme indicado na Figura 5. As Figuras 6 e 7 apresentam a planta baixa e o corte transversal da sala de aula em estudo.

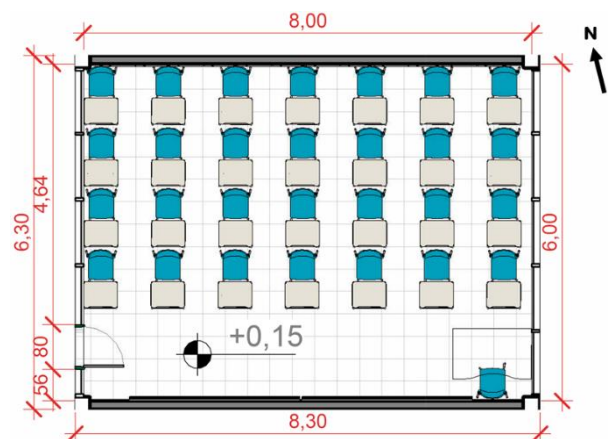


Figura 6: Planta baixa da sala de aula em estudo.

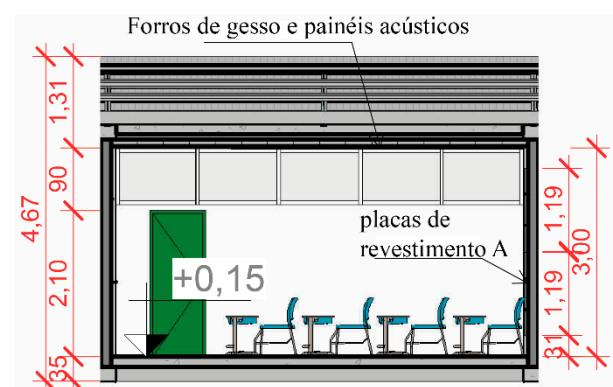


Figura 7: Corte transversal da sala de aula.

Para alcançar um TR próximo do recomendado, foram instalados forros de gesso

e painéis acústicos, conforme a Figura 8. As características de absorção sonora dos materiais empregados no cálculo do TR estão indicadas no gráfico da Figura 9.

Os materiais absorvedores sonoros foram utilizados de forma estratégica nas paredes e nos forros, a fim de atingir o TR recomendado nas bandas de frequência usuais (250 Hz, 500 Hz e 2000 Hz), conforme indicações dos estudos apresentados em [7] recomendando o posicionamento desse tipo de material na parede oposta à fonte sonora predominante.

Assim, os revestimentos com alta absorção sonora foram posicionados de maneira a evitar os locais onde a reflexão era indesejada, na parede oposta à lousa (Revestimento A - $\alpha_{250\text{ Hz}}=0,60$; $\alpha_{500\text{ Hz}}=1,00$ e $\alpha_{2000\text{ Hz}}=1,00$) e no teto (painéis acústicos - $\alpha_{250\text{ Hz}}=0,75$; $\alpha_{500\text{ Hz}}=0,95$ e $\alpha_{2000\text{ Hz}}=1,00$), na região onde fica o aluno. Para exemplificar a atuação dos materiais propostos no condicionamento acústico, nas paredes ao fundo da sala, foram aplicadas placas de revestimento com

coeficientes de absorção sonora elevadas para sons médios e agudos, cujas frequências são representativas da palavra falada (500 Hz e 2000 Hz) [10].

Essas medidas contribuem para controlar a reverberação no ambiente, melhorando a clareza do som e a inteligibilidade da fala, conforme simulações realizadas por [20].



Figura 8: Perspectiva da sala de aula com os materiais acústicos.

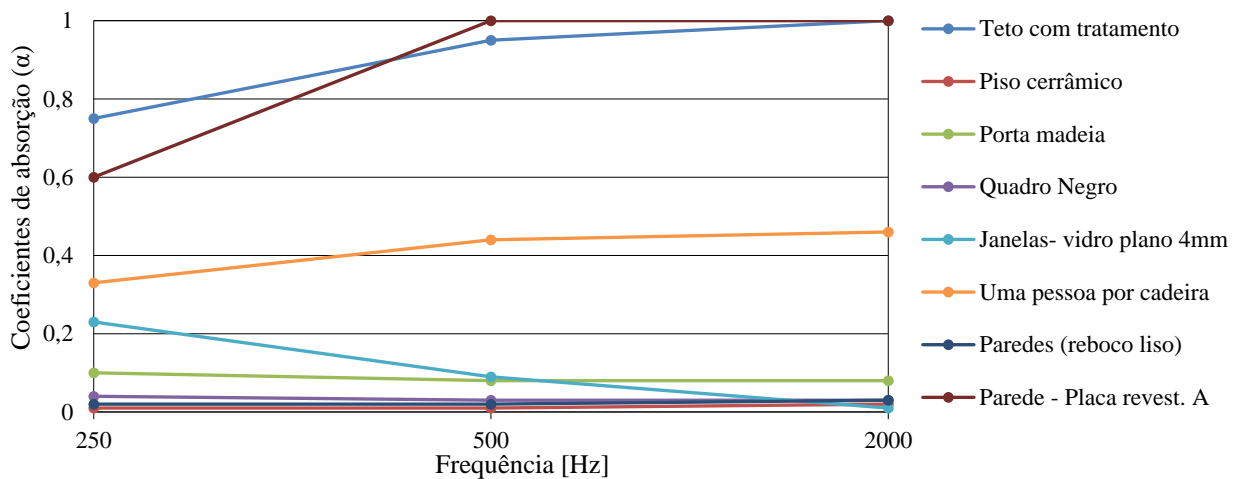


Figura 9: Coeficientes de absorção sonora dos fechamentos da sala de aula.

Os cálculos de TR segundo Sabine foram realizados para as bandas de 250 Hz, 500 Hz e 2.000 Hz, sendo obtidos os tempos de 0,67 s, 0,56 s e 0,55 s, conforme apresentado no gráfico da Figura 10, onde é possível comparar com os TOR para as respectivas frequências.

Assim, nota-se que foi possível adequar o TR com o TOR, conforme as recomendações normativas [10,11].

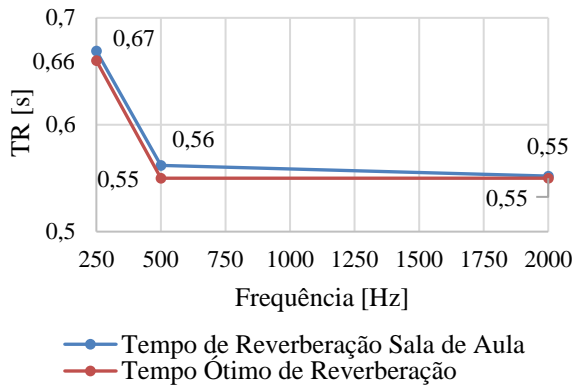


Figura 10: Comparação do TR e TOR na sala de aula.

4.2. Tratamento acústico no laboratório de informática

O laboratório de informática apresenta as dimensões de 8,16 m de comprimento por 7,78 m de largura e pé direito de 3,00 m, resultando num volume de 190,45 m³ (Figuras 11 e 12).

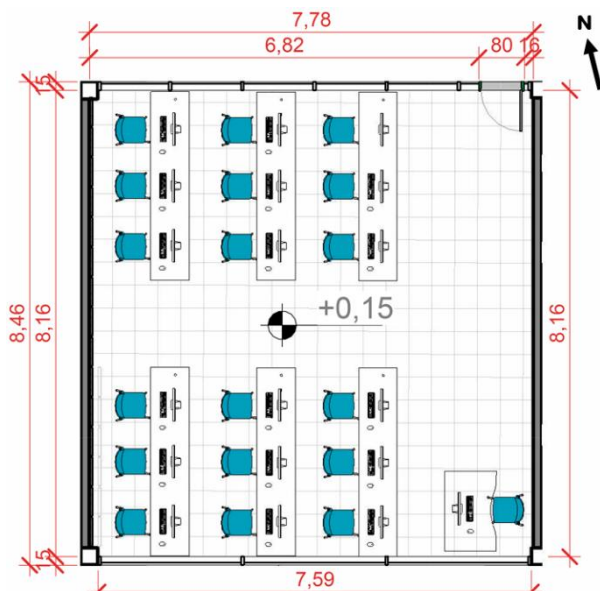


Figura 11: Planta baixa do laboratório de informática.

Para se alcançar um TR adequado no laboratório de informática, foram instaladas nuvens acústicas de 600 mmx600 mm ($\alpha_{250 \text{ Hz}}=0,70$; $\alpha_{500 \text{ Hz}}=0,91$ e $\alpha_{2000 \text{ Hz}}=0,97$) junto ao forro de gesso e placas acústicas

(Revestimento B de $\alpha_{250 \text{ Hz}}=0,64$; $\alpha_{500 \text{ Hz}}=0,98$ e $\alpha_{2000 \text{ Hz}}=0,96$) na parede oposta à da lousa e de frente para o professor, para absorver o som após passar pelos alunos, ver Figuras 12 e 13.

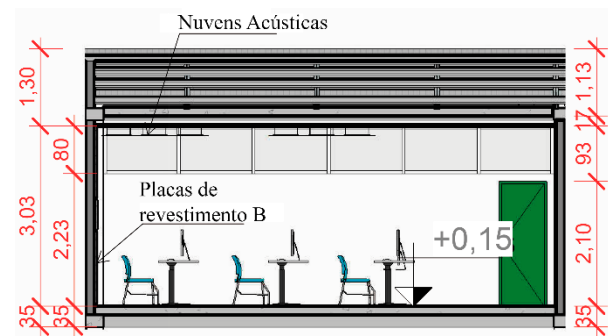


Figura 12: Corte transversal do laboratório de informática.

Semelhante à sala de aula, os revestimentos aplicados no laboratório de informática consideraram a aplicação de materiais de alta absorção sonora dispostos de maneira a prevenir os pontos de reflexão indesejada, principalmente, no fundo da sala, criando um ambiente favorável ao aprendizado e ao desenvolvimento dos alunos ao reduzir a reverberação e difundir melhor o som pelo ambiente (Figura 13).

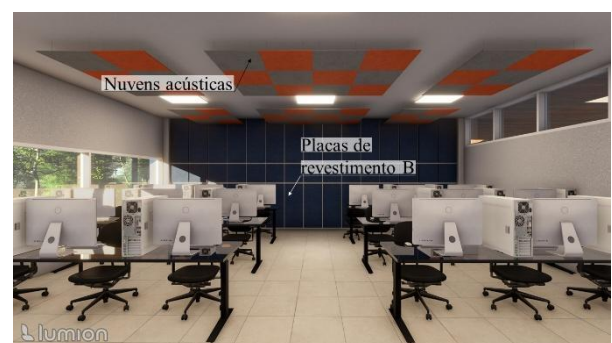


Figura 13: Perspectiva do laboratório de informática com os materiais acústicos.

Para conduzir o estudo acústico, foram efetuados os cálculos de TR com base nos dados dos coeficientes de absorção sonora dos materiais presentes no ambiente de modo para alcançar os TOR conforme as recomendações

[10,11] (Figura 14), sendo obtidos os tempos de 0,73 s, 0,59 s e 0,58 s para as bandas de

250 Hz, 500 Hz e 2.000 Hz, respectivamente (Figura 15).

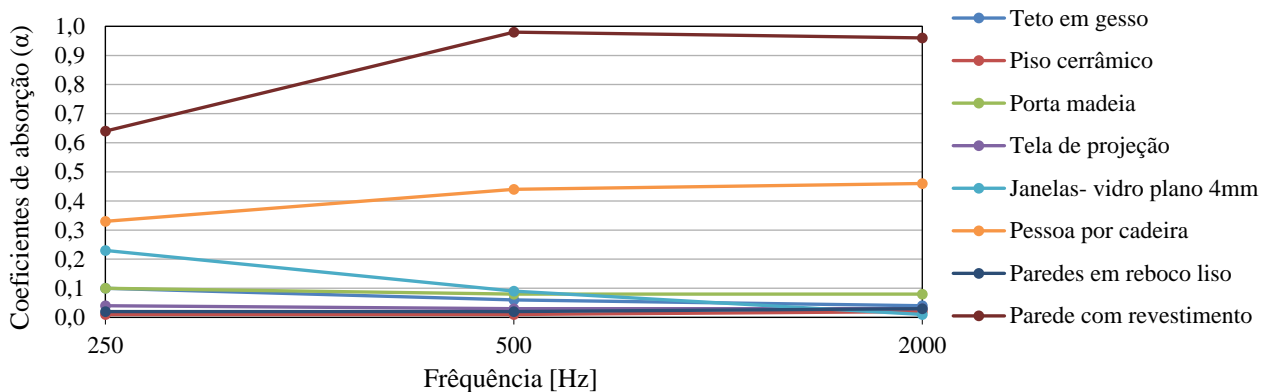


Figura 14: Coeficientes de absorção sonora dos fechamentos do laboratório de informática.

O gráfico da Figura 15 apresenta os resultados comparativos dos TR calculados e do TOR, onde se observa a adequação dos TR nas três bandas de frequência conforme as recomendações normativas [10, 11].

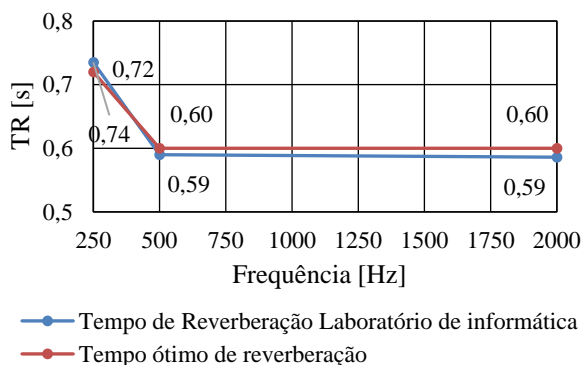


Figura 15: Comparação do TR e TOR no laboratório de informática.

4.3. Tratamento acústico no auditório

O auditório da escola foi concebido como espaço multiuso, fundamental para a interação entre a escola e a comunidade. A sua implantação considerou o relevo e a sendo apresentado nas Figuras 16, 17 e 18.

A forma do auditório foi concebida conforme as recomendações acústicas que preconizam a quebra de superfícies paralelas. A geometria adotada para o palco é a de um tronco de pirâmide, com a base maior voltada para a

plateia, pé-direito de 4,87 m e superfícies rígidas, densas e lisas, visando potencializar a reflexão e a difusão sonora (Figura 16).

Em contrapartida, a plateia apresenta pé-direito variável entre 3,70 m e 5,02 m, com paredes angulares que formam reentrâncias, estrategicamente projetadas para promover uma distribuição sonora homogênea. Aberturas para ventilação cruzada e iluminação natural foram incluídas nessas paredes, todas dotadas de mecanismos operáveis que permitem aos usuários ajustar abertura e fechamento conforme a necessidade (Figura 17).

O volume total do auditório é de 3.272 m³ e, considerando a ocupação completa, a relação por cabeça chega a 6,23 m³/pessoa [11], o que se torna adequado para salas de concerto, porém, alto para salas de conferência, cujo valor recomendado é de 5,6 m³/pessoa [11], indicando a necessidade tratamento acústico para reduzir a reverberação para palavra falada.

No palco, especificou-se a madeira no piso, materiais absorventes ($\alpha_{250\text{ Hz}}=0,65$; $\alpha_{500\text{ Hz}}=0,75$ e $\alpha_{2000\text{ Hz}}=0,80$) na parede ao fundo para evitar que as primeiras reflexões do som retornem e se misturem ao som direto emitido em direção à plateia, o que poderia ocasionar certa reverberação. Também, foi indicado o acabamento em gesso ($\alpha_{250\text{ Hz}}=0,10$; $\alpha_{500\text{ Hz}}=0,06$ e $\alpha_{2000\text{ Hz}}=0,04$) no forro sobre o proscênio, como material refletor sonoro.

Na plateia, considerou-se o ambiente de sala de conferência e cinema com base para a verificação do TOR na norma brasileira [10], obtendo-se intervalo entre 0,9 s e 1,0 s.

Assim, para alcançar o TOR, foram instalados os ripados acústicos com função de absorção sonora ($\alpha_{250\text{ Hz}}=0,65$; $\alpha_{500\text{ Hz}}=0,70$ e $\alpha_{2000\text{ Hz}}=0,80$) em todas as paredes do auditório. Essa medida contribui para reduzir os problemas de reflexão sonora, criando um ambiente com reverberação controlada (Figuras 18 e 19).

Ao absorver parte do som incidente, os ripados acústicos evitam que as primeiras reflexões ocorram de forma desordenada, melhorando a clareza do som e a inteligibilidade da fala.



Figura 16: Planta baixa do Auditório.



Figura 17: Corte longitudinal do Auditório.



Figura 18: Perspectiva do auditório com os materiais acústicos.

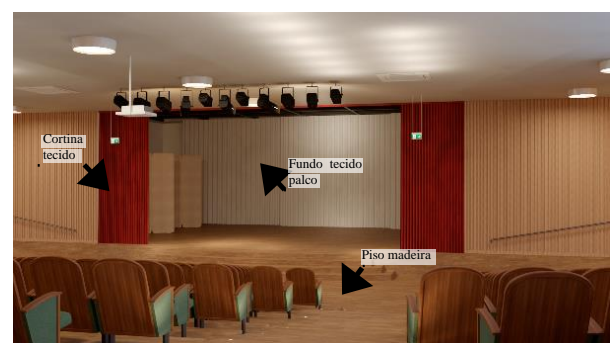


Figura 19: Perspectiva do auditório com os materiais acústicos

O cálculo do TR foi realizado discriminando o auditório em palco e plateia com base nos coeficientes de absorção sonora apresentados

na Figura 20. Em seguida, foi realizado um estudo considerando ambos os ambientes para verificar o desempenho acústico do ambiente

no que se refere ao TR, nas bandas de 250 Hz, 500 Hz e 2000 Hz, sendo obtidos os valores de

1,00 s, 0,90 s e 0,84 s, respectivamente, conforme demonstrado na Figura 21.

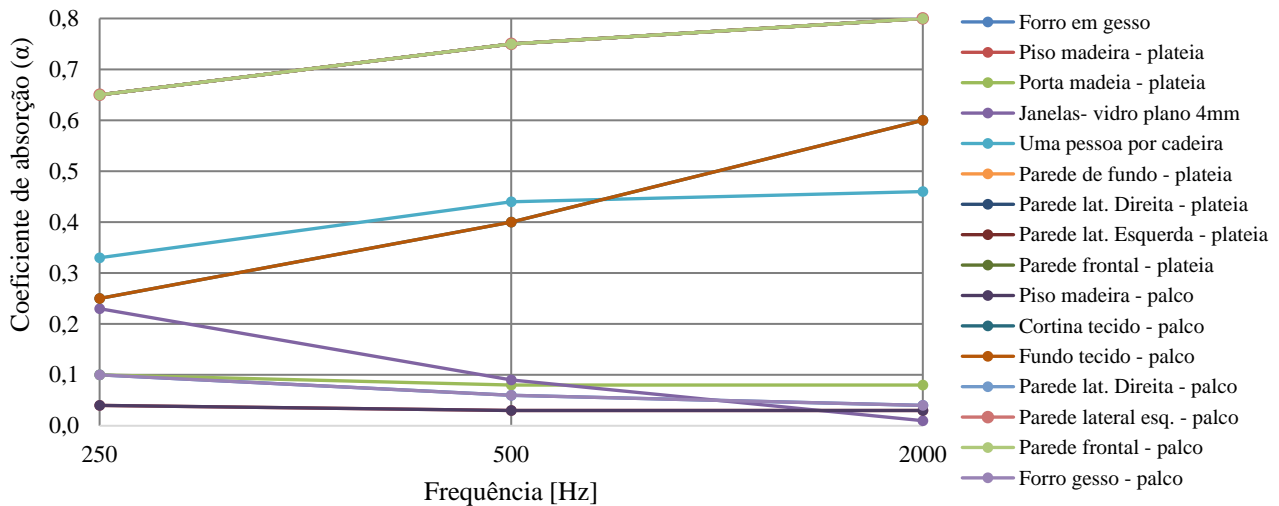


Figura 20: Coeficientes de absorção sonora dos fechamentos no auditório.

O gráfico da Figura 21 apresenta os resultados comparativos dos TR calculados e do TOR demonstrando a observância no atendimento às recomendações normativas [10, 11].

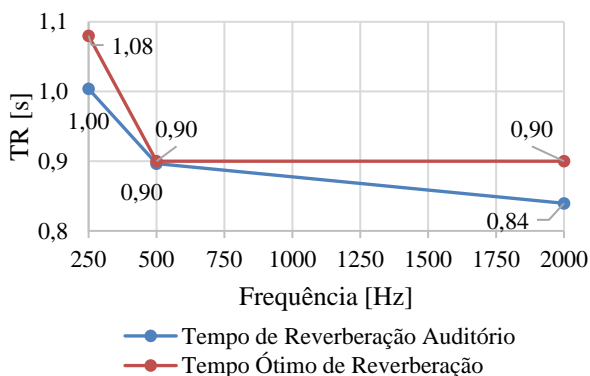


Figura 21: Comparação do TR e TOR no auditório.

5. CONCLUSÃO

A melhoria acústica da Escola Estadual Trinta de Outubro representa um passo significativo em direção à valorização do ambiente escolar e à promoção da integração com a comunidade local. As estratégias implementadas nas salas de aula, laboratório de informática e auditório refletem o compromisso com a qualidade da educação e o desenvolvimento social.

Na sala de aula, foram instalados forros de gesso e painéis acústicos, além de placas de revestimento nas paredes ao fundo da sala. Com essas intervenções, o TOR alcançado foi de 0,66 s a 250 Hz, 0,55 s a 500 Hz e, 0,55 s a 2000 Hz, todos dentro dos parâmetros recomendados.

No laboratório de informática, foram utilizados forros de gesso e nuvens acústicas de 600mm x 600mm, além de placas de revestimento nas paredes ao fundo. O TOR obtido foi de 0,72 s a 250 Hz, 0,60 s a 500 Hz e 0,60 s a 2000 Hz, também atendendo às recomendações normativas.

No auditório, para alcançar um TR entre 0,9 s a 1,0 s, foram instalados ripados de madeira em todas as paredes. Essa medida foi eficaz, resultando num TOR de 0,9 s a 500 Hz, em atendimento à norma brasileira. Além disso, o tratamento acústico no auditório também beneficia os artistas e palestrantes, garantindo que as atuações tenham qualidade acústica condizente com as apresentações, permitindo a apreciação e a valorização da música, do discurso e da arte cênica.

Esses resultados demonstram que as intervenções acústicas propostas podem não

somente melhorar as condições acústicas apropriadas para o processo de ensino-aprendizagem, mas também criar um ambiente propício para favorecer a comunicação e a integração das pessoas. Ao proporcionar um ambiente acústico adequado, não apenas a experiência dos usuários, professores, alunos, servidores e visitantes é aprimorada, mas também os laços entre a escola e a comunidade são fortalecidos, tornando a educação um verdadeiro agente de transformação social.

Essa proposta reforça a importância de considerar a acústica como um elemento fundamental na arquitetura escolar, contribuindo para um aprendizado mais eficiente e de uma convivência harmoniosa na comunidade. Ao documentar o processo, as soluções adotadas e seus resultados, estabelece-se uma base concreta para subsidiar novas intervenções e estudos que visem à melhoria da qualidade sonora em ambientes educacionais.

Finalmente, destaca-se o partido arquitetônico como princípio determinante das soluções arquitetônicas. As decisões projetuais adotadas nesta fase, incluindo aquelas relativas ao conforto acústico, resultam em soluções de maior eficiência e menor impacto ambiental. A eficácia dessas intervenções, por sua vez, reflete-se diretamente na redução dos custos da obra.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a diretora e professora Michele Carlin Padilha Silveira pelas informações prestadas sobre a Escola 30 de Outubro, ao então Prefeito de Lebon Régis, Douglas Melo, e ao servidor José Vanderlei de Campos pelo suporte e estadia na cidade para a coleta de dados realizada durante a Operação ReEncontro do Projeto Rondon-UDESC.

REFERÊNCIAS

1. PEREIRA, Pedro Henrique Medeiros; RESENDE, Ana Cláudia Pereira de. **Conforto acústico em ambientes escolares**. 2019. Relatório (Iniciação Científica Júnior – Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.
2. FRANÇA, Juliano. **Seja bem-vindo(a) ao Coração do Contestado**. Disponível em: <https://lebonregis.sc.gov.br/pagina-8377/>. Acesso em: 26 fev. 2025.
3. QEdU. **EEB Trinta de Outubro**. Disponível em: <https://qedu.org.br/escola/42106575-eeb-trinta-de-outubro>. Acesso em: 27 fev. 2025.
4. **EEB 30 de Outubro**. Publicação no Facebook, [09 dez. 2022]. Disponível em: https://www.facebook.com/escola30deoutubro?locale=pt_BR. Acesso em: 27 fev. 2025.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1987.
6. KOTUS, Józef; SZCZODRAK, Maciej; CZYŻEWSKI, Andrzej; KOSTEK, Bożena. Long-term comparative evaluation of acoustic climate in selected schools before and after acoustic treatment. **Archives of Acoustics**, Gdańsk, v. 35, n. 4, p. 551-564, 2010. DOI: 10.2478/v10168-010-0042-0.
7. SANTANA, A. L. S.; OHANA, G. J.; MELO, G. S. V.; SOEIRO, N. S. Estudo da acústica de salas voltadas ao ensino de música em Belém-PA. **Acústica e Vibrações**, n. 45, p. 23-32, dez. 2013.
8. SILVA, Ana Paula de Oliveira; MOURA, José Antônio de; ALMEIDA, Renata Dias de. Análise do condicionamento acústico em salas de aula do Campus Palmas, do IFTO. **Revista Sítio Novo, Palmas**, v. 4, n. 2, p. 66-76, 2020. Disponível em: <https://sitionovo.iftto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/315>. Acesso em: 14 ago. 2025.

9. DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992.
11. CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2. ed., rev. e ampl. Brasília: Thesaurus, 2010. 238 p.
12. UNITED KINGDOM. Department for Education. **Acoustic design of schools: performance standards**. [S. l.]: Department for Education, 2015. (Building Bulletin, 93). Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a8170d3e5274a2e8ab54012/BB93_February_2015.pdf. Acesso em: 25 out. 2025.
13. PRO ACUSTICA (Brasil). Associação Brasileira Para a Qualidade Acústica. **MANUAL PROACÚSTICA PARA QUALIDADE ACÚSTICA EM ESCOLAS**. São Paulo: Proacústica, 2019. 39 p. Disponível em: www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-proacustica-qualidade-acustica-em-escolas/. Acesso em: 01 out. 2025.
14. VEIGA, Wellington Bertagnolli; PALMA, Luiza Paim; TENENBAUM, Roberto A.; MELO, Viviane Suzey Gomes de. Medições acústicas de uma sala de aula modelo para projeção por meio de simulações das demais salas de aula de uma mesma escola. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. **Anais** [...]. [S. l.], 2025. DOI: 10.46421/encacelacac.v18i1.7252. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/7252>. Acesso em: 26 out. 2025.
15. ALVES, Luciana da Rocha. Avaliação da interferência do ruído e da qualidade acústica no desempenho cognitivo do usuário de sala de aula com uso da realidade virtual. 2023. 174 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.
16. SIMÕES, Flávio Maia. **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2011.
17. NOGUEIRA, Marco Aurélio Stoppe; SILVA, Ruan Matos da; SANTOS, Edna Sofia de Oliveira; MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento. Escola Entre Lagos: Projeto arquitetônico e qualidade acústica para ambientes de aprendizagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. **Anais** [...]. [S. l.], 2025. DOI: 10.46421/encacelacac.v18i1.7353. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/7353>. Acesso em: 26 out. 2025.
18. ARAÚJO, Bianca Carla Dantas de; CARVALHO, Vitória Jade Alves de; SILVA, Gabriella Tabita da. Escola Harmonia: proposta de escola pública com ênfase em qualidade acústica. **Projetar: Projeto e Percepção do Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 227-235, set. 2024.
19. BITAR, Mariângela Lopes; SOBRINHO, Luiz Ferreira Calaço; SIMÕES-ZENARI, Marcia. Ações para a melhoria do conforto acústico em instituições de educação infantil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 1, p. 315-324, 2018. DOI: 10.1590/1413-81232018231.22932015.
20. SILVA, J. T.; OITICICA, M. L. G. R. Influência da dimensão das aberturas na qualidade acústica de salas de aula naturalmente ventiladas. **Acústica e Vibrações**, n. 46, p. 49-56, dez. 2014.
21. Brazil - municipalities (municípios). Disponível em: <https://www.mapchart.net/brazil-municipalities.html>. Acesso em: 27 fev. 2025.
22. KANAAN, Hanen; ROCHA, Kleicer; SILVA, Marcos; SANTOS, Maurício;

SOUZA, Michelle; COSTA, Paloma; DIAS, Vera. **Assentamento Rio dos Patos - Lebon Régis (SC): Uma história de luta nos acampamentos do MST.** Florianópolis: UDESC, 2006.

23. Escola Trinta de Outubro. Disponível em Google Maps.
https://www.google.com/maps/@-26.9838981,-50.7085204,1084m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDIyNS4wIKXMDSOJL

DEwMjExNDUzSAFQA%3D%3D. Acesso em 27 fev. 2025.

24. WITIUK, Amanda Caroline Nisz. **Proposta de auditório e expansão para a Escola Estadual 30 de Outubro, em Lebon Régis/SC.** 2023. 31 f. Trabalho de conclusão de Curso - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES), Universidade do Estado de Santa Catarina, Laguna, 2023.