

CONFORTO ACÚSTICO EM ARQUITETURA: ANALISANDO PROJETO ARQUITETÔNICOS E SEU DESEMPENHO ACÚSTICO

INTRODUÇÃO

A compreensão do “conforto” e do bem-estar do usuário, são um dos principais objetos de investigação das disciplinas do curso de Arquitetura e Urbanismo de diversas instituições de ensino superior. Para tal, o estudante de arquitetura deve compreender aspectos essenciais ao desenho do projeto, como ergonomia, normas técnicas e legislação. Contudo, o bem-estar do usuário vai além do desenho formal de um edifício, visto que se relaciona também com as atividades desempenhadas nesse espaço e no seu entorno. Nesse sentido, um dos elementos ligados ao bem-estar e ao uso do espaço, consiste no Conforto Acústico.

A acústica é uma área da física que estuda o comportamento das ondas sonoras, de acordo com sua origem, propagação, absorção e difusão (Silva, 2011, p. 17). Já o Conforto Acústico, é uma ciência explorada dentro da arquitetura, urbanismo e engenharia, que analisa o impacto do projeto, dos materiais, elementos construtivos, uso e atividades desempenhadas no edifício, que possuem impacto na propagação ou isolamento do som (Oliveira, 2006, p. 18). Segundo a autora Oliveira (p. 18, 2006), “na acústica arquitetônica trabalha-se com o tratamento acústico, modo pelo qual se procura dar aos ambientes boas condições de clareza e inteligibilidade, de acordo com a atividade desenvolvida. O tratamento engloba isolamento e condicionamento acústicos.”

Diante da importância do condicionamento sonoro dos ambientes, o Grupo de Pesquisa e Tecnologia em Arquitetura, Urbanismo, Design e Infraestrutura, do curso de Arquitetura e Urbanismo da UniCatólica, promoveu diversos estudos de avaliação de acústica em diferentes tipologias arquitetônicas. A atividade buscou construir um paralelo entre a disciplina de Conforto Ambiental II, do referido curso, onde o tema de acústica é discutido de forma teórica e prática. Enquanto, no grupo de pesquisa, os alunos puderam realizar uma abordagem acadêmica dessas análises, com enfoque na pesquisa científica e contribuição para referenciar trabalhos futuros a serem desenvolvidos no curso.

Ítalo da Silva Santos



Centro Universitário Católica de
Quixadá (UniCatólica)
itimmsilva649@gmail.com

Maria Clara Ferreira Silva



Centro Universitário Católica de
Quixadá (UniCatólica)
claramaria8605@gmail.com

Mariana Yasmin Santos Dias



Centro Universitário Católica de
Quixadá (UniCatólica)
2023010189@unicatolicaquixada.edu.br

Werbson Davi da Silva Facundo



Centro Universitário Católica de
Quixadá (UniCatólica)
werbson.davi.silva10@aluno.ifce.edu.br

Me. Rochelle Silveira Lima



Centro Universitário Católica de
Quixadá (UniCatólica)
rochellesilveira@unicatolicaquixada.edu.br

OBJETIVOS

O Objetivo Geral do presente texto consiste na apresentação de análise de Conforto Acústico em exemplares arquitetônicos.

Objetivos Específicos:

- Apresentar o conceito de conforto e desconforto acústico;
- Descrever processos de análise acústica;
- Demonstrar a importância da análise acústica para edifícios.

METODOLOGIA

O presente texto consiste em um relato de experiência das pesquisas realizadas pelo Grupo de Pesquisa e Tecnologia em Arquitetura, Urbanismo, Design e Infraestrutura, do curso de Arquitetura e Urbanismo da UniCatólica de Quixadá em colaboração com a disciplina de Conforto Ambiental II, do mesmo curso. A proposta de pesquisa idealizada no grupo focou na análise de edifícios de diferentes tipologias arquitetônicas sob a perspectiva do conforto acústico. Para tal, foi indicado que os edifícios selecionados possuíssem restrições quanto a qualidade de condicionamento acústico, como por exemplo, teatros, sala de aula, entre outros.

O escopo da análise foi indicado os seguintes elementos: 1 – Descrição do edifício e de seus usos; 2 – Descrição de elementos construtivos que possuíssem impacto na qualidade de som e por fim, 3 – Análise acústica, observando as condicionantes de materiais, projeto arquitetônico e demandas de uso. Essa estrutura se debruçou sobre cinco resumos expandidos apresentados na XX ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA 9EEDIC), sendo dois Teatros, duas salas de concerto musical e uma Escola Infantil.

A metodologia utilizada para o presente texto consiste em uma abordagem Qualiquantitativa. Ancorada em pesquisa bibliográfica e análise de artigos e livros para exploração de conceitos pertinentes a acústica. Além do levantamento de informações técnicas, através da análise de plantas, modelos tridimensionais e normas de qualidade acústica. Vale ressaltar que no tangente a avaliação da Escola Margarida Alves localizada em Madalena -CE, também foram realizados levantamentos *in-loco*, e testes empíricos quanto a propagação do som.

Dito isso a pesquisa realizada possui objetivos descritivos, ao apresentar os exemplares arquitetônicos observados e explicativa no processo de análise avaliação do desempenho acústico dos objetos de estudo observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da qualidade de um ambiente segundo os aspectos sonoros é diretamente interligada as atividades exercidas nele. De modo que, o ruído produzido por uma indústria e o produzido por uma sala de aula são diferentes. Dessa forma, o tratamento arquitetônico desses ambientes é diferenciado. Ainda neste exemplo, o conforto sonoro para os trabalhadores desses espaços é distinto e deve contar com estratégias que mitiguem o incomodo do ruído.

Segundo Silva (2011, p. 17), o desconforto acústico surge quando o nível de ruído de uma determinada atividade promover problemas físicos ou psicológicos nas pessoas que

utilizam esse espaço. O incomodo pode ser mínimo, porém a constante exposição a fonte sonora pode causar danos graves.

Diante da importância da qualidade sonora no espaço arquitetônico, o presente texto congrega uma série de estudos realizados em avaliação acústica arquitetônica, visando refletir a importância do projeto e acabamentos materiais no impacto sonoro dos ambientes. Para realização da análise acústica é essencial observar as demandas de uso do espaço, fonte e potência sonora dessas atividades. Assim como, sua relação com o entorno que a cerca.

Em seguida faz-se necessário compreender os principais materiais que compõem esse espaço. Nesse ponto, os estruturais, responsáveis pela base de construção do espaço, até os materiais de acabamento e mobiliário, que desempenham importante função no processo de absorção e difusão de som. Com base nessas informações é possível observar tanto o perfil desse edifício, quanto ao comportamento sonoro, identificando seus principais problemas, como também é possível observar se as condições presentes nele, colaboram para esse condicionamento sonoro, ou se comprometem. Mediante essa análise é possível elaborar possíveis soluções, ou mesmo refletir sobre a qualidade do projeto acústico implementado.

Buscando a melhor visualização dos trabalhos e análises realizados, a seguir é apresentado o Quadro 01, que aborda os elementos previamente citados, a fim de demonstrar os aspectos técnicos dos edifícios analisados e o comportamento sonoro desses ambientes:

Quadro 1 – Análise acústica de edifícios estudados pelo grupo de pesquisa

Edifício Analisado	Ocupação e uso	Componente construtiva	Avaliação e análise de desempenho acústico
<p>Escola Margarida Alves localizada em Madalena - CE</p>	<p>Escola, com salas de aula.</p>	<p>As salas de aula analisadas possuem paredes de gesso, com acabamento de pintura simples, e rebocadas a cerca de 1 metro de altura com cerâmica. O piso também é em cerâmica e o forro em gesso acartonado.</p>	<p>O trabalho promove uma análise em duas salas construtivamente iguais. Contudo, a primeira sala analisada não apresentava nenhum mobiliário e devido a extensa área de revestimento cerâmico, que é um material de alta reflexão sonora e pouca absorção, era possível verificar a presença de eco, no ambiente. Ao passo que a segunda sala analisada apresentava diversos mobiliários, como cadeira, estante para livros, janelas com cortinas, entre outros, permitindo assim, uma melhor absorção e difusão das ondas sonoras. A reverberação é um comportamento acústico fundamental ao espaço de sala de aula, visto que é ideal que o som, seja capaz de se propagar ao longo de toda a extensão da sala. Contudo, quando essa propagação não é equilibrada com elementos absorventes, ela pode ocasionar em um comportamento de eco, comprometendo a qualidade da aula (Remorini, p. 75, 2018). Dessa forma, é preciso investir em materiais de absorção, como carpetes, cortinas e tapetes, que possam ser facilmente removidos, quando a maior reverberação for necessária nesse espaço.</p>
<p>Referência do Resumo expandido: SANTOS, Í. da S.; LIMA, R. S.; SILVA, L. M. G. da. Análise acústica em arquitetura: comportamento do som no ambiente educacional. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. Anais [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.</p>			

<p>Theatro José de Alencar em Fortaleza - CE</p>	<p>Teatro, com espaço de apresentação teatral e concertos.</p>	<p>O palco e plateia do teatro foram construídos em formato de ferradura, visando um formato concavo para estimular a propagação do som. Já sua envoltória é de alvenaria convencional, mas internamente é revestido de placas de madeira semirrígidas, além de contar com vedação por meio de vidro.</p>	<p>O teatro analisado foi criado em 1910, passando por 4 significativas reformas, dentre elas destacam-se a reforma de 1990 e de 2005, onde o edifício passou por adaptação e melhorias quanto a estrutura e conforto acústico. A estrutura em alvenaria convencional em composição com os revestimentos madeirados, permitem uma melhor absorção do som, assim como os acabamentos de carpetes, estofados de assentos, tecidos e cortinas utilizados na estrutura. A vedação em vidro apesar de não oferecer grande potencial de isolamento, compõe com o aspecto estético que demanda o projeto. No que tange os materiais presentes, hoje no teatro é possível verificar que a solução de acabamentos equilibra bem as suas superfícies de absorção, visto que ele conta com sistema de som, para reprodução de áudio, primando pela qualidade de propagação das ondas e evitando, efeitos como eco, ou reflexão excessiva do som. Além disso o formato do palco e plateia já favorecem o comportamento de reflexão do som, permitindo que as ondas sonoras sejam refletidas em diferentes direções.</p>
<p>Referência do Resumo expandido: SANTOS, Í. da S.; SILVA, L. M. G. da.; LIMA, R. S. Análise acústica do Theatro José de Alencar. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. Anais [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.</p>			
<p>Teatro Alla Scala em Milão - Itália</p>	<p>Teatro, com espaço de apresentação teatral e concertos.</p>	<p>Auditório em forma de ferradura. Dente os acabamentos destacam-se: o teto rebocado e as paredes e os assentos são estofados, o batente da porta forrado por dentro com lã inglesa e as paredes forradas com cortinas. O local também tem o uso de madeira, gesso, estuque e veludo, além de alguns locais, como o camarote real. Além de algumas superfícies revestidas em espelho.</p>	<p>Teatro Alla Scala busca um equilíbrio de reverberação na escolha de materiais de superfícies. Utilizando como estrutura de reflexão o teto, sem acabamentos estofados e as paredes com presença de espelho. Ao passo que distribui sobre outras superfícies acabamentos estofados, como, piso em carpete, cadeiras, cortinas, veludos, e a própria vedação das paredes, com sistemas de absorção de som e isolamento de lã. Apesar de construído em 1778 por determinação da imperatriz Maria Teresa I da Áustria, foi possível observar durante a pesquisa que o projeto do Teatro já primava por uma boa acústica, como pode ser observado na decisão do auditório em formato de ferradura. Além disso, com o passar dos anos o teatro passou por diversas reformas que permitiram ajustes no comportamento de reverberação e aprimoraram a qualidade acústica do espaço.</p>
<p>Referência do Resumo expandido: SILVA, M. C. F.; SILVA, A. B.do N. da; LIMA, R. S. Análise acústica do Teatro Alla Scala. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. Anais [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.</p>			

<p>Palácio da Música Catalã (Palau de la Música Catalana), em Barcelona - Espanha</p>	<p>Sala de concertos musicais.</p>	<p>O Palau de la Música Catalana, apresenta um programa que congrega, salas de ensaio, restaurante, salas de trabalho e reunião, lojas, praça central e salas de concerto. Dessa forma, a presente análise tem como foco a sala de concerto principal, Lluís Millet. A sala de concerto apresenta grandes estruturas robustas em alvenaria que é rompida por diversas janelas com vitrais. O desenho da sala obedece ao formato de ferradura com cerca de 120 lugares.</p>	<p>A sala de concertos do Palau de la Música Catalana, apresenta uma engenhosa solução para difusão de som levando em consideração que foi construída entre os anos de 1905 e 1908. A sala possui grandes superfícies de absorção como os acentos, cortinas, o palco em madeira e piso em carpete. Mas o destaque fica para o teto, com a abertura de uma grande claraboia envidraçada e a uma extensa estrutura no forro que apresenta nervuras e revestimento em azulejo. Essa solução permite que o som seja refletido, mas distribuído de forma difusa pela parte superior da sala. Quando assim uma importante superfície de reflexão para o espaço, mas que se comporta de forma difusa, contribuindo para o conforto de quem assiste ao espetáculo e garantindo ainda a qualidade de som, pois evita o <i>flutter echo</i>.</p>
<p>Referência do Resumo expandido: DIAS, M. Y. S.; LIMA, J. L.; LIMA, R. S. Análise acústica: Palau de La Música Catalã. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. Anais [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.</p>			
<p>Musikverein em Viena - Áustria</p>	<p>Sala de concertos musicais</p>	<p>A sala de Concertos Musikverein, conta com estruturas de vedação densa, em alvenaria com acabamentos de gesso e menos de 15% das estruturas utilizam madeira. Mas essa densidade estrutural se intercala com a presença de diversas aberturas, com mais quarenta janelas na altura máxima e mais vinte portas acima do percurso da varanda.</p>	<p>Diferentemente do que pode ser observado nos demais teatros e salas de música observados até o presente momento neste texto, a Sala de Concertos Musikverein, não investiu em grandes superfícies de absorção, ou soluções que busquem uma reverberação mais equilibrada. Pelo contrário a estrutura como um todo e seus materiais de acabamentos são elementos fortes para reflexão do som. Mas, se atribui a qualidade de desempenho acústico interno dela ser em função da sua proporção de 48 metros de comprimento, 19 metros de largura e 18 metros de altura e sua lotação de 1.680 pessoas, o que proporciona um tempo de reverberação de 2 segundos. Essa grande proporção permite que o som perca sua potência até atingir uma superfície de reflexão, além de ser parcialmente absorvido pelos próprios ocupantes. Contudo, vale acrescentar que devido a numerosa quantidade de acentos presente no espaço, a sala não se adequa as normas de incêndio previstas pela cidade.</p>
<p>Referência do Resumo expandido: FACUNDO, W. D. da S.; LIMA, R. S. Análise acústica e atributos arquitetônicos da sala de concertos Musikverein. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. Anais [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.</p>			

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Como pode ser observado ao longo do Quadro 1, as soluções acústicas estão diretamente relacionadas as especificidades de uso, e de estrutura do projeto. No caso da sala de aula da Escola Margarida Alves, foi possível verificar que a condicionamento acústico do espaço se apresenta deficitário, à medida que necessita ser ocupado e mobiliado para um melhor conforto. Mas, como o espaço é proposto para sala de aula, em seu uso diário será necessário a mobília e a ocupação dos usuários, o que reitera que o conforto acústico e seus fatores componentes estão diretamente ligados ao uso.

Essa relação de uso e condicionamento acústico também pode ser observada na distinção de soluções observadas entre os teatros analisados (Theatro José de Alencar e Teatro Alla Scala) e salas de concertos de músicas (Palau de la Música Catalana e Musikverein). Os teatros possuem maior rigor com o equilíbrio de reverberação, em virtude de os espetáculos demandarem cuidados específicos com a reprodução do som, mídias de áudio e fala dos personagens. Em contrapartida, as salas de concerto, possuem maior foco na reflexão do som, difusão e tempo de decaimento do som, visto que o ideal é que a reflexão seja alta, permitindo um tempo prolongado para o percurso das ondas sonoras. Todavia, é fundamental que essas salas busquem uma reflexão equilibrada e soluções de difusão do som, a fim de evitar o eco, ou *flutter echo*.

Por meio dessa breve análise foi possível observar a relação indissociável do Uso, Materiais e Conforto Acústico para diferentes tipologias de edificações, o que demanda uma análise intercruzada de fatores e reflete em soluções bem distintas. Diante disso é importante ressaltar que o projeto arquitetônico deve sempre incorporar conceitos de Acústica, primando pelo conforto das pessoas e círculo vizinhança do empreendimento, como pode ser observado nos casos analisados. Mesmo para projetos de pequena proporção, ou com baixo número de usuários, como uma residência, o conforto acústico deve ser colocado em evidência, colaborando com o bem-estar dos ocupantes do local.

CONCLUSÕES

Diante da análise observada ao longo do presente texto, foi possível verificar a importância da acústica para diferentes tipologias arquitetônicas, e como as soluções de acústica podem variar de acordo com os objetivos e proposta de uso do espaço. Desse modo, compreende-se aqui que essa pesquisa poderia ser aplicada ainda, para outros exemplares arquitetônicos, utilizando como base a proposta de avaliação indicada na metodologia: 1 – Descrição do edifício e de seus usos; 2 – Descrição de elementos construtivos que possuíssem impacto na qualidade de som e por fim, 3 – Análise acústica, observando as condicionantes de materiais, projeto arquitetônico e demandas de uso. Essa estruturação permite que o avaliador possa relacionar o Uso, materiais construtivos e condicionantes acústico, promovendo uma avaliação simples, mas orientada do comportamento de ondas sonoras e fenômenos do som.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UniCatólica pelo suporte em pesquisa e produção acadêmica e a Professora orientadora Rochelle Silveira Lima.

REFERÊNCIAS

DIAS, M. Y. S.; LIMA, J. L.; LIMA, R. S. Análise acústica: Palau de La Música Catalã. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. **Anais** [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.

FACUNDO, W. D. da S.; LIMA, R. S. Análise acústica e atributos arquitetônicos da sala de concertos Musikverein. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. **Anais** [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.

MURGEL, E. **Fundamento de Acústica Ambiental**. São Paulo Editora SENAC: 2007.

OLIVEIRA, N. F. Avaliação acústica de salas de aulas de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva. 2006, 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

REMORINI, S. L. **Acústica arquitetônica**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book.

SANTOS, Í. da S.; LIMA, R. S.; SILVA, L. M. G. da. Análise acústica em arquitetura: comportamento do som no ambiente educacional. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. **Anais** [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.

SANTOS, Í. da S.; SILVA, L. M. G. da.; LIMA, R. S. Análise acústica do Theatro José de Alencar. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. **Anais** [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.

SILVA, K. de S. **Conforto acústico na concepção do projeto de arquitetura**: estudo de caso: igrejas evangélicas a pioneira no Município de Macapá. 2011. 119 f. Monografia (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Amapá, Amapá, 2011.

SILVA, M. C. F.; SILVA, A. B.do N. da; LIMA, R. S. Análise acústica do Teatro Alla Scala. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, DOCÊNCIA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2024, Quixadá. **Anais** [...]. Quixadá: UniCatólica, 2024.