XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DIRETRIZES DE PROJETO PARA AUDITÓRIOS DESTINADOS À FALA

Gabriel Feitoza Carvalho (1); Elisabeth de A. C. Duarte Gonçalves (2)

(1) Graduando, Curso de Arquitetura e Urbanismo, GEAS – Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro, gabrielfc9@gmail.com, Universidade Federal de Alagoas – campus Arapiraca, Av. Manoel Severino Barbosa, Bom Sucesso, Arapiraca-AL, (82) 99831-5009

(2) Doutora, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, GEAS – Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro, elisabeth.goncalves@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas – campus Arapiraca, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Av. Manoel Severino Barbosa, Bom Sucesso, Arapiraca-AL, (82) 99973-7784

RESUMO

Auditórios são espaços cada vez mais presentes em edificações nos mais diferentes usos. O bom projeto acústico de um auditório é proveniente de diversas variáveis ergonômicas e de conforto ambiental, sendo necessário por vezes a atuação de uma equipe multidisciplinar. Apesar de existir um conhecimento estabelecido na área de acústica arquitetônica, observa-se uma considerável escassez de referências que traduzam para o arquiteto tais diretrizes, as quais estão muitas vezes pulverizadas em normas e livros técnicos e sem conexão com outros parâmetros importantes, como a ergonomia e a acessibilidade, dificultando o momento da elaboração de projetos de auditórios. O objetivo deste artigo é apresentar diretrizes para elaboração de projetos de auditórios que possam facilitar o processo criativo do arquiteto no momento da concepção do projeto e auxiliá-lo para que as decisões projetuais possam se rebater em um bom desempenho acústico do recinto. Para isso foram levantados através de referências e normas na área, os parâmetros considerados mais relevantes: geometria interna, inclinação do piso, distribuição e organização da plateia, desenho das galerias, condicionamento acústico e isolamento sonoro.
Palavras-chave: auditórios para fala, conforto acústico, processo de projeto.

ABSTRACT

Auditoriums are increasingly present in buildings in the most different features. The good acoustic design of an auditorium comes from several ergonomic and environmental comfort variables, which is necessary at times a multidisciplinary team for this purpose. Although there is an established knowledge in the area of architectural acoustics, it has been noticed a lack of references that can translate to the architect such parameters which are often pulverized in standards and technical books without a connection between other important precepts, such as ergonomy and accessibility, hindering the process to elaborate auditorium designs. The purpose of this article is to present guidelines for auditorium designs that can enable the creative process of the architect at the moment of designing and help it so that the design decisions can result in a good acoustic performance of the room. The parameters considered most relevant were: internal geometry, angle of the floor, distribution and organization of the audience, design of the galleries, acoustic conditioning and sound insulation.
Keywords: auditoriums for speeches, acoustic comfort, design process.

1. INTRODUÇÃO

Auditórios são espaços cada vez mais presentes em edificações nos mais diversos usos – educacionais, culturais, corporativos, etc. Estes ambientes devem atender às demandas ergonômicas de cada projeto, incluindo o conforto acústico. Tais aspectos não são tão simples de serem atingidos, pois o bom desempenho acústico do recinto é proveniente de diversas variáveis, o que torna os auditórios locais complexos de serem desenvolvidos, sendo necessário por vezes a atuação de uma equipe multidisciplinar.

Para que uma boa resposta acústica seja alcançada, certas decisões devem ser levadas em consideração desde a concepção do projeto, cabendo ao arquiteto entender as diretrizes necessárias a serem atendidas. Tem-se percebido que grande parte dos erros de projeto nos auditórios são provenientes da falta de conhecimento sobre princípios básicos de acústica arquitetônica. Este artigo pretende trazer as informações contidas em referências técnicas na área de acústica arquitetônica para o contexto do arquiteto, para que assim possa servir como base a fim de buscar atingir o conforto acústico desejado a este tipo de espaço.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar diretrizes para elaboração de projetos de auditórios que possam facilitar o processo criativo do arquiteto no momento da concepção do projeto e auxiliá-lo para que as decisões projetuais possam se rebater em um bom desempenho acústico do recinto.

3. MÉTODO

O método aplicado para atingir o objetivo deste trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

1. Pesquisar referências que abordam a temática de conforto acústico em auditórios;
2. Analisar e organizar de forma coerente as informações obtidas;
3. Adaptar imagens e informações técnicas para garantir uma melhor compreensão do arquiteto;
4. E, por fim, descrever os principais pontos que devem ser analisados no momento da elaboração do projeto, a fim de garantir uma boa orientação para aqueles que desejam trabalhar com o tema abordado.

4. DIRETRIZES PROJETUAIS PARA AUDITÓRIOS

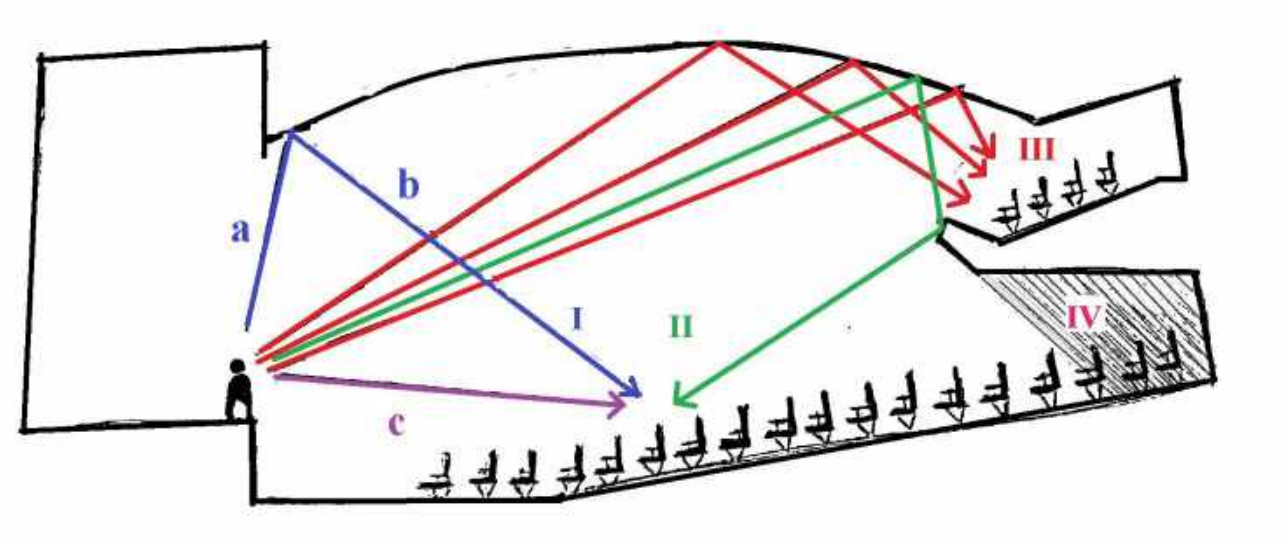
É necessário que o auditório forneça conforto nas suas mais variadas formas, tendo em vista que os seus usuários passarão um longo período acomodados em seu interior durante a aula ou palestra, fazendo com que a experiência seja agradável e produtiva. Entre os principais aspectos relevantes para o arquiteto estão: geometria interna, inclinação do piso, distribuição e organização da plateia, desenho das galerias, condicionamento acústico e isolamento sonoro.

4.1. Geometria interna

A geometria interna de um ambiente impacta diretamente em sua difusão sonora e pode ser considerada um dos principais elementos para que se consiga uma boa qualidade sonora no espaço. Existem diversas formas que podem ser escolhidas na elaboração do projeto e cada uma possui determinadas características de resposta sonora. Em casos onde já há uma geometria estabelecida por terceiros, o arquiteto pode verificar a necessidade do uso de painéis refletores e/ou superfícies absorventes em tetos, paredes, piso e mobiliário, a fim de corrigir possíveis erros e obter um controle do tempo de reverberação ideal do recinto.

Em auditórios, existe uma série de erros de projeto que ocorrem quando o conforto acústico não é levado em consideração. Esses problemas devem ser evitados ao máximo, pois podem prejudicar o entendimento e o bem-estar do usuário. Dentre estes problemas destacam-se os ecos, as reflexões tardias, ecos flutuantes, focalização dos raios sonoros, criação de sombras acústicas e coloração inadequada, como representados na Figura 1.

Segundo Brandão (2016), os ecos flutuantes (Figura 2) são ocasionados por uma ou mais reflexões entre paredes paralelas e ocasionam interferência destrutiva a uma porção de frequências, o que pode ser associado a um som metalizado. E já a coloração, é o efeito formado pelo destaque em algumas faixas de frequência em detrimento de outras, ocasionado, geralmente, pela existência de modos acústicos muito pronunciados, pelo uso excessivo de apenas um tipo de material de absorção, fazendo com que apenas uma faixa de frequência seja atenuada, ou até mesmo associada aos ecos flutuantes.



Onde:
I representa os ecos (a+b-c<17m);
II representa as reflexões tardias;
III representa a focalização de ondas;
IV representa a criação de zonas de sombra acústica.

Figura 1 - Ilustração de problemas acústicos que podem acontecer em um auditório. (Fonte: adap. BRANDÃO, 2016)

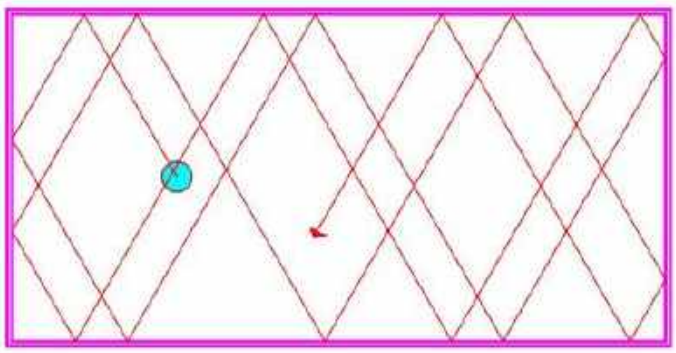


Figura 2 – Eco Flutuante.

Existem variadas opções de formato de planta de auditórios de acordo com Carrion (1998): trapezoidal, em leque, em leque invertido, poligonais, circulares, ferradura e retangular. Entre os formatos de plantas mais adotados para auditórios, estão a planta em forma de leque e a retangular ou tipo “caixa de sapato”, que serão abordadas a seguir destacando as principais diretrizes projetuais.

4.1.1 Forma de leque

A forma de leque funciona como uma boa solução para aumentar a capacidade da sala, ou seja, aumentar a sua área, como também diminuir a distância entre a fonte sonora e o ouvinte. Assim como uma de suas vantagens, em relação à forma caixa de sapato, é o possível direcionamento do raio refletido, a depender do ângulo de inclinação da parede, direto para o fundo da sala, que trata se do local que mais necessita de reforço acústico, (SOLER, 2004).

O paralelismo entre as paredes laterais é quebrado pelo ângulo de inclinação de suas paredes, porém há mais uma característica a ser observada neste ângulo. Segundo Soler (2004), é importante ter em mente que o formato da sala em leque não deverá ter um ângulo de abertura muito grande, pois prejudica linha de visibilidade para o palco além do direcionamento das ondas para o fundo da sala.

A forma em leque pode promover uma melhor visibilidade e evitar problemas decorrentes do eco palpitante gerado por superfícies paralelas muito próximas. Na figura 3, é apresentado o ângulo de abertura recomendado para garantir raios direcionados para a plateia, sendo o ângulo de 30° o mínimo e o ângulo de abertura máxima sendo o ângulo de 65°, sugeridos por Mehta, Johnson e Rocafort (1999). O possível

problema acústico desta forma seria a ausência das primeiras reflexões laterais na parte central do recinto, como pode ser observado na Figura 4.

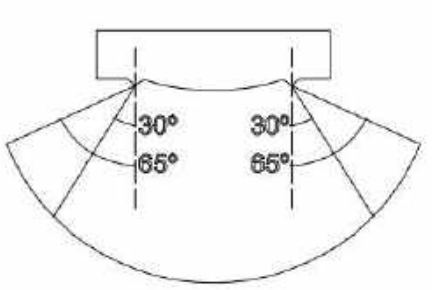


Figura 3 - Angulação de abertura recomendada para o formato em leque. (Fonte: MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999).

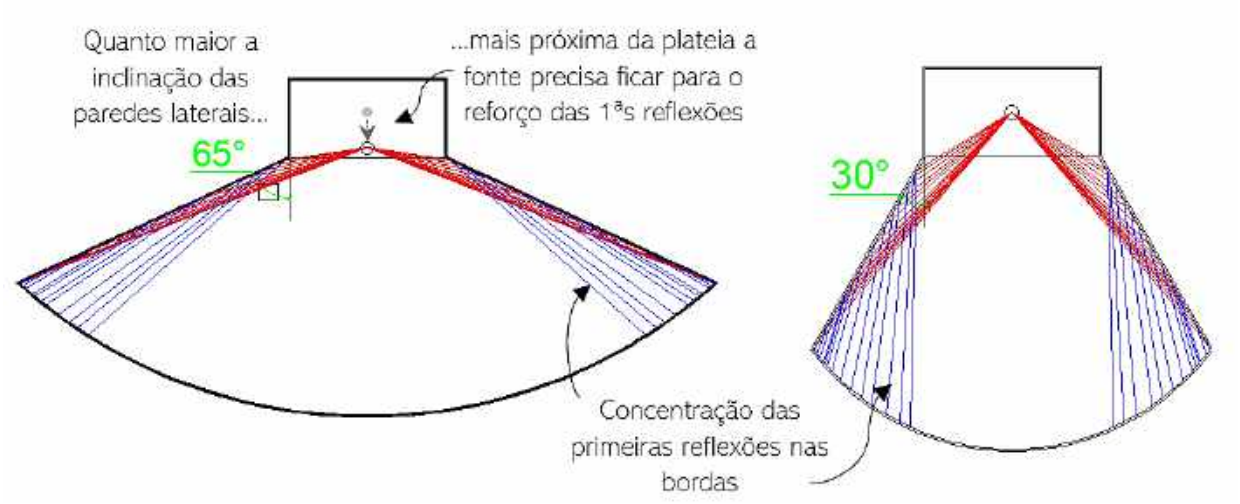


Figura 4 – Primeiras reflexões das paredes laterais das plantas em leque

4.1.2. Forma Retangular ou tipo Caixa de Sapato (Shoe box)

Também conhecida como “shoe box” ou caixa de sapato, trata-se de uma sala de planta retangular, longa, alta e estreita e possui um grande destaque na área de acústica arquitetônica por possuir exemplos de salas que são consideradas detentoras das melhores qualidades acústicas do mundo, uma delas é o Shymphony Hall em Boston de acordo com Beranek (2004). Como se pode observar na Figura 5, o auditório possui uma série de ornamentos que está bastante presente em auditórios antigos (BRANDÃO, 2016), As ornamentações nas paredes laterais ajudam a criar reflexões difusas, fazendo com que difusão sonora se torne mais eficiente.

As três medidas: comprimento, largura e altura, são de extrema importância como também a sua relação, pois estas não devem ser múltiplas entre si e não podem possuir fatores comuns entre elas. O formato retangular possui um som mais claro, mais distinto, especialmente na propagação de notas agudas. Porém deve-se ter atenção ao optar por este formato, pois a forma retangular, por possuir o paralelismo de paredes, pode ocasionar ressonâncias e ondas estacionárias que podem interferir em sua acústica. Portanto, é recomendado alguns cuidados específicos para esta geometria de recinto.

Deve-se evitar paredes lisas e paralelas e é recomendado quebrar o paralelismo com painéis que possam direcionar o som do palco para a plateia localizada, principalmente, no fundo do ambiente. Se necessário, pode-se utilizar superfícies absorventes no fundo para absorver as reflexões dos raios sonoros. A Figura 6 mostra um exemplo de como quebrar o paralelismo entre as paredes laterais, através de placas refletoras e o uso de painéis absorventes no fundo da sala para controlar o tempo de reverberação. Segundo Soler (2004), há a possibilidade de utilização de painéis móveis para a palavra falada, que devem estar rebaixados para realçar as primeiras reflexões. Estes painéis podem ser relativamente pequenos, pois somente altas frequências são necessárias para a fala.



Figura 5 – Auditório em forma de caixa de sapato: Shymphony Hall em Boston. (Fonte: adap. GRIESINGER, 2010).



Figura 6 - Uso de refletores nas paredes laterais e no teto quebram o paralelismo entre as faces do auditório. (Fonte: adap. VALCHROMAT, 2019).

4.2. Inclinação do Piso

Em auditórios com patamares, é fundamental observar a inclinação do piso, além de verificar a distância vertical entre as fileiras, para garantir uma boa visibilidade do palco. É recomendado que a diferença entre os pontos de observação dos usuários esteja entre 10 e 16 centímetros, a fim de garantir uma boa visibilidade assim como uma melhor recepção do som direto, tendo em vista que a cabeça de um usuário imediatamente à frente poderá se tornar uma barreira acústica (ROSSING, 2007). A Figura 7 mostra de forma mais clara as relações espaciais indicadas para auditórios.

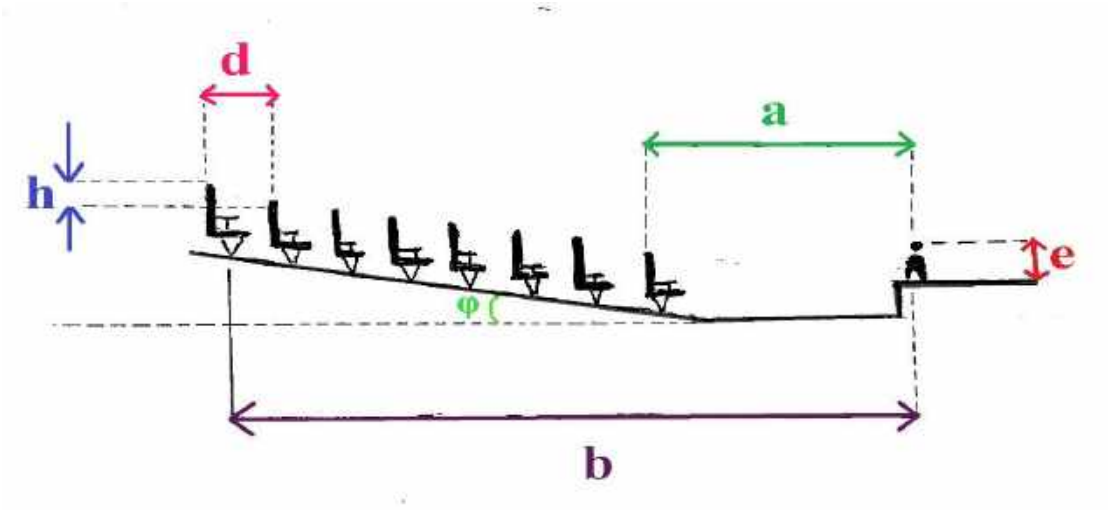


Figura 7 - Esquema demonstrando medidas que devem ser observadas em um auditório. (Fonte: adap. BRANDÃO,2016).

É possível calcular a inclinação da plateia a partir do estudo trigonométrico, apresentado na equação 1. Segundo Rossing (2007), esse ângulo pode ser obtido por:

$$\tan(\varphi) = \frac{h.b}{d.a} - \frac{e}{a}$$ Equação 5

Onde:
e: altura da fonte em relação ao palco [cm];
d: distância entre fileiras [cm];
a: distância entre a fonte e a primeira fila [cm];
h: distância vertical entre fileiras escolhidas [cm];
φ: ângulo de inclinação [°];
b: distância entre a fonte e a última fileira

4.3. Distribuição e organização da plateia

A distribuição e a organização da plateia é o fator que vai causar impactos desde a geometria interna da obra ao conforto dos usuários. Todos os membros da plateia devem conseguir ver e ouvir tudo que está acontecendo no palco ou plataforma.

Em relação aos assentos, o padrão de conforto pode variar de acordo com a tolerância de cada tipo de público, por exemplo, um jovem tende a tolerar assentos menores e mais rígidos, sendo os mesmos considerados desconfortáveis se o público alvo for de idosos. A quantidade e o tipo de revestimento das poltronas vão ter uma relação direta com o tempo de reverberação do recinto.

Em geral, os assentos são projetados de acordo com a média de indivíduos que possivelmente irá utilizá-los, e caso não seja possível estabelecer esta média, é recomendado que a seleção dos assentos favoreça a aproximadamente 90% da plateia dentro do nível de conforto aceitável. Na Figura 8 e na Tabela 1, é possível observar um resumo das sugestões indicadas por Littlefield (2011) para o dimensionamento das poltronas.

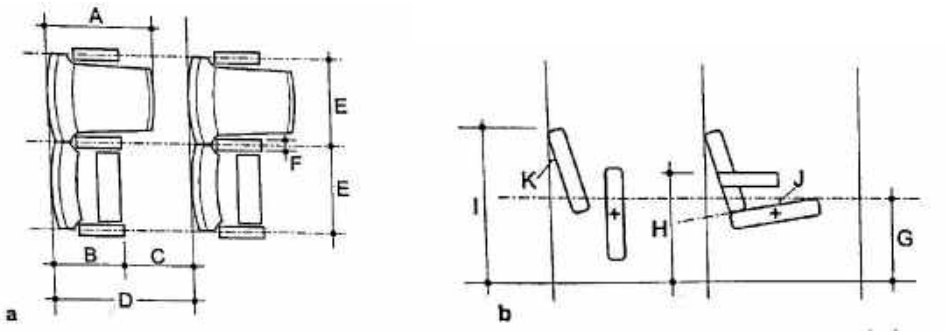


Figura 8 – Dimensionamento de assentos de auditórios (Ler juntamente à tabela 2), sendo **a:** planta baixa; **b:** corte. (fonte: LITTLEFIELD, 2011).

Tabela 1 – Dimensões dos assentos de auditório. (Fonte: LITTLEFIELD, 2011).

Dimensão	Descrição	Mínimo	Máximo	Tamanho padrão
A	Profundidade total do assento	600 mm	720 mm	650 mm
B	Profundidade do assento levantado (equivalente ao comprimento do apoio de braços)	425 mm	500 mm	450 mm
C	Espaço livre entre os assentos (espaço vertical desobstruído entre as poltronas)	305 mm		400 mm
D	Afastamento entre os espaldares de duas fileiras contíguas	760 mm		850 mm
E	Largura do assento com apoio para os braços	500 mm	750 mm	525 mm
	Largura do assento sem apoio para os braços	450 mm		
F	Largura do apoio para os braços	50 mm		50 mm
G	Altura do assento	430 mm	450 mm	440 mm
H	Altura do apoio para os braços	600 mm		600 mm
I	Altura do espaldar	800 mm	850 mm	800 mm
J	Inclinação do assento a partir da horizontal	7º	9º	7º
K	Inclinação do espaldar a partir da vertical	15º	20º	15º

Para a compreensão das expressões faciais do palestrante em relação a plateia, Egan (1998) indica uma distância máxima de 20 metros entre o palestrante é a última fileira de cadeiras. Quando não é considerado fundamental o reconhecimento das expressões faciais do emissor, a distância pode ser aumentada até no máximo 25 metros.

4.4. Desenho das galerias

Em alguns casos pode ser necessário a utilização de galerias, que auxiliam em aumentar o número de assentos sem ter que aumentar a distância entre o palco e a plateia. Porém, alguns aspectos devem ser observados pelo arquiteto para garantir uma boa aplicação das mesmas.

As galerias ocasionam uma divisão de ambientes dentro da sala, causando separação acústica, e se não forem bem planejadas podem gerar áreas com sombras acústicas. Segundo Long (2006), abaixo da galeria há menos energia sonora, tendo em vista que a galeria serve como uma barreira acústica para as reflexões do teto. Assim, é recomendado que a profundidade das galerias seja a menor possível, ao passo que a altura abaixo delas possa ser suficiente para o som chegar com clareza nas últimas fileiras, logo elas devem seguir a relação de que sua profundidade não pode ser maior que duas vez a sua altura. Como demonstrado na Figura 9.

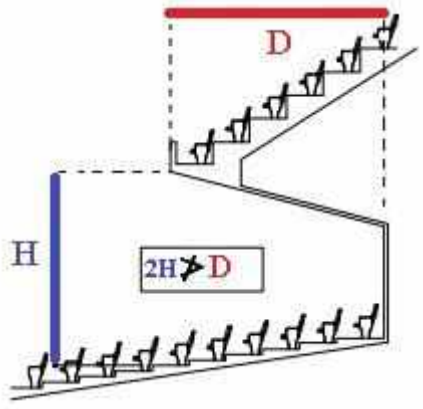


Figura 9 – Relação entre profundidade e altura da galeria. (Fonte: adap. SOLER, 2004).

Normalmente, a inclinação do piso da galeria é um pouco maior que a inclinação do piso no térreo, porém a inclinação não deve ultrapassar os 30°, pois pode causar vertigem (LONG, 2006). As galerias também podem ser utilizadas de forma estratégica como difusor de onda sonoras (Figuras 10 e 11) assim como superfície absorventes (Figura 12), a depender do material e da forma de sua estrutura.

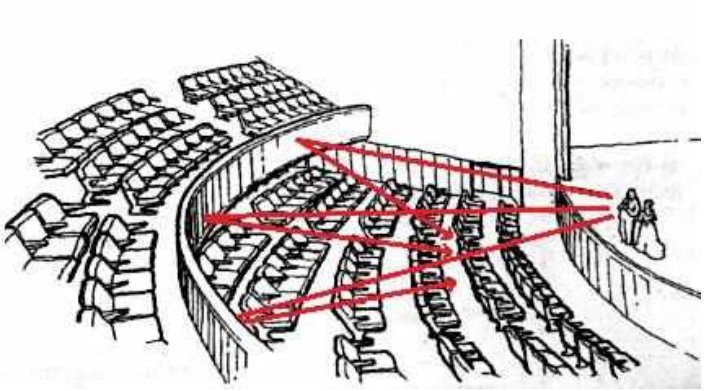


Figura 10 – Esquema demonstrando alternativas de uso da galeria para melhorar condições acústicas do ambiente (Fonte: adap. SOLANO,2017).

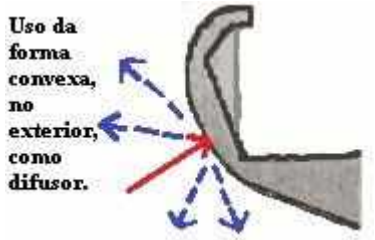


Figura 11 – Uso de forma convexa para difundir os raios sonoros (Fonte: adap. SOLANO,2017).

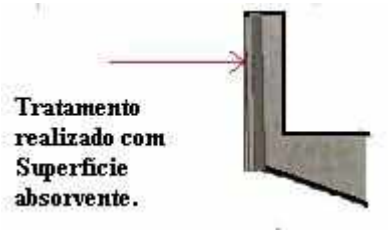


Figura 12 –Uso de superfície absorvente para ajustar o tempo de reverberação do ambiente (Fonte: adap. SOLANO,2017).

4.5. Condicionamento acústico

A queda da intensidade sonora em um recinto não é resultado apenas da distância que a onda deverá percorrer, mas também da absorção de ondas sonoras pelos materiais. Ao incidir em uma superfície, parte da energia será absorvida pelo material, assim como uma parte será refletida. Geralmente este coeficiente de absorção é definido pela porosidade do material, quanto mais poroso e fibroso o material, maior será sua absorção.

Para que um auditório possua um bom desempenho acústico, é necessário que haja uma boa inteligibilidade do som, distribuição sonora uniforme, controle de problemas acústicos, como ruído, ecos e sombras e um tempo de reverberação adequado. O uso de superfícies absorventes é um bom caminho para adequação do tempo de reverberação do recinto.

As superfícies que se encontram próximas ao palco devem ser reflexivas, pois possuem o intuito de garantir uma distribuição sonora mais uniforme. Os materiais com características absorventes de som, se necessário, devem ser instalados no fundo da sala inicialmente, como apresentado na Figura 13.



Figura 13 – Esquema demonstrando o uso de materiais absorventes e reflexivos em um auditório.

Mehta, Johnson e Rocafort (1999) sugerem uma relação rápida para o dimensionamento de painéis refletores ou difusores retangulares relacionados com o comprimento de onda, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Condição de Mehta, Johnson e Rocafort (1999) para dimensionamento de painéis difusores ou refletores

Paineis serão refletores quando:	**Paineis serão difusores quando:**	**Painel se torna "invisível" em relação ao comprimento de onda quando:**
$L \geq 5\lambda$	$5\lambda \geq L \geq \lambda$	$L < \lambda/2$
Onde L é a largura do painel [m] e λ é o comprimento de onda [m] (Para auditórios para a fala, pode-se adotar como referência o comprimento de 0,68m para a frequência de 500 Hertz.)		

4.6. Isolamento Sonoro

Existem várias formas de controle eficiente para ruídos externos que são captados pelo ambiente interno. Os desníveis do solo como elemento de barreira e a massa da estrutura podem ser de grande ajuda, como por exemplo: o uso de uma alvenaria com espessura mais elevada, paredes duplas, triplas ou com a incorporação de lã de vidro ou fibra mineral no interior das partições.

Para o controle de ruídos internos, que muitas vezes são causados por aparelhos instalados dentro do recinto, cabe a escolha adequada de aparelhos que produzam menos ruídos ou a diminuição do número de fontes emissoras ou ainda um distanciamento da fonte.

Os elementos mais prejudiciais para o isolamento acústico de um ambiente são as aberturas, incluindo portas, frestas, janelas e dutos de ventilação. Como solução, é indicado o uso de antecâmaras que isolem o interior do auditório do seu exterior. Nessas câmaras, deve-se evitar que as portas fiquem de frente para a outra e é orientado que as superfícies sejam tratadas com materiais absorventes. Os espaços anexos do auditório, como camarins, depósitos e circulação podem também servir como isoladores sonoros, como mostra a Figura 14.



onde:
I – Área do auditório;
II – Áreas de uso público;
III – Áreas de uso restrito.

Figura 14 - Esquema demonstrando como os espaços anexos podem servir como proteção do auditório do ruído externo (Fonte: adap. SOLANO,2017)

5. PROPOSTA DE PROCESSO DE PROJETO DO AUDITÓRIO

Na Figura 15, segue uma representação para auxiliar o arquiteto na elaboração de um projeto de auditório de forma a atingir um bom conforto acústico aos usuários. As etapas não precisam ser seguidas de forma linear com exceção da primeira etapa que é primordial, pois antes de qualquer intervenção, faz-se necessária uma análise do entorno e das possíveis fontes de ruído do lugar.

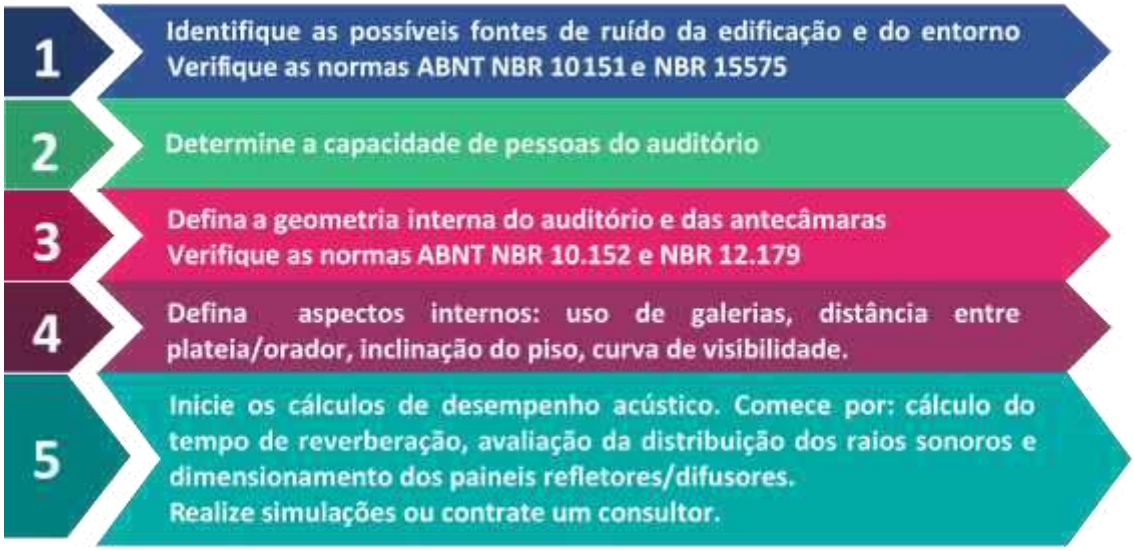


Figura 15 – Representação gráfica etapas relevantes do processo de projeto de arquitetura para auditórios

6. CONCLUSÕES

Sabe-se que qualquer decisão projetual irá impactar positiva ou negativamente no desempenho acústico de um recinto, mesmo que este não seja prioridade do arquiteto. Sabe-se também que as melhores e principais definições para o bom desempenho acústico de uma edificação se encontram nas fases iniciais do projeto de arquitetura. No entanto, percebe-se que, nas publicações específicas de arquitetura, a acústica um aspecto pouco considerado, ocorrendo a ideia enganosa de que as decisões do arquiteto não vão ter impacto na qualidade sonora do recinto, a qual, muitas vezes, só é considerada como parte posterior à construção. Nesse artigo foram apresentadas diretrizes gerais que poderão auxiliar o arquiteto desde as primeiras decisões de projeto, buscando orientá-lo a partir de uma série de parâmetros acústicos e ergonômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BERANEK, L. Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture. 2ª Edição. New York: Springer-Berlarg, 2004.
BRANDÃO, E. **Acústica de salas**: projeto e modelagem. 1ª Edição. São Paulo: Blucher, 2016.
CARRION, Antoni. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Edicions UPC,1998
CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetonica**. 2ª Edição. Brasília: Thesaurus, 2010.
EGAN, M. D. **Architectural acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988.
GRIESINGER, D. **Phase Coherence as a Measure of Acoustic Quality**, part three: Hall Design. Sydney, Australia: 2010.
LITTLEFIELD, D. **Manual do arquiteto**: planejamento, dimensionamento e projeto. 3ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2011.
LONG, M. **Architectural acoustics**. Cambridge: Elsevier Academic Press, 2006.
MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics:** principles and design. New Jersey: Courier Kendallville Inc.,1999.
ROSSING, T. **Springer handbook of acoustics**. New York: Springer-Verlag,2007.
VALCHROMAT **Auditorium of Bondy, PARC Architectes, France.** Disponível em: <http://www.valchromat.pt/content.aspx?menuid=268&eid=3520> Acessado em: 09/05/2019.
SOLANO, N. **Apostila AEA**. São Paulo, 2017.
SOLER, C. **Contribuição ao projeto de auditórios**: avaliação e proposta de procedimento, --Campinas, São Paulo: [s.n.], 2004.