

LÉA CRISTINA LUCAS DE SOUZA
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Verificam-se os efeitos dos fatores climáticos na propagação do som, demonstra-se como as formas e superfícies influenciam na reflexão sonora e o papel dos materiais construtivos na acústica arquitetônica. São examinadas as relações acústicas do entorno com o ambiente estudado e é proposto um projeto de auditório ao ar livre para a cidade de São Carlos, baseado nos critérios estabelecidos através do estudo.

ABSTRACT

The climatic factors effects on sound propagation are checked; it is shown how forma and surfaces have influence on sound reflection and the role that the constructive materials play on architectural acoustics. It is examined the acoustical relations between surroundings and the studied place, and it is proposed and open-air auditorium project in the city of Sao Carlos, based on the acoustical criteria obtained from the research.

1 INTRODUÇÃO

A acústica de ambientes é um elemento fundamental para que se obtenha o conforto de um espaço físico, onde são desenvolvidas atividades humanas sociais e culturais. A través do estudo acústico busca-se a estruturação de um projeto arquitetônico, que garanta o máximo de aproveitamento sonoro.

Tratando-se de auditórios ao ar livre, o comportamento do som tem características específicas, que revelam a necessidade de distribuição e difusão sonora adequada, além de um tempo de permanência do som no ar suficientemente apropriado.

Neste estudo, procura-se estabelecer critérios para o desenvolvimento de um projeto de auditório ao ar livre para a cidade de São Carlos.

2 PROPAGAÇÃO DO SOM AO AR LIVRE

Ao ar livre, o comportamento do som é modificado por fatores climáticos e topográficos, que mantêm o ar em constantes movimentos. Portanto, para determinação da propagação do som ao ar livre devem ser considerados os efeitos dos ventos, da temperatura e das superfícies absorventes e difusoras sobre o som.

2.1 Influência do Vento

A distância atingida pelo som ao ar livre depende, entre outras razões, do sentido do vento que atua sobre a onda sonora. Se o movimento do ar está no mesmo sentido que a onda sonora, a distância percorrida por esta e sua velocidade são maiores. Estando a fonte sonora próxima ao solo, o vento provoca uma intensificação do som junto à superfície terrestre, através das inúmeras reflexões entre o solo e as camadas superiores do ar, que apresentam maiores velocidades do vento.

Por outro lado, o vento com direção contrária ao fluxo sonoro dificulta a propagação do som a grandes distâncias, produzindo uma região de sombra acústica.

2.2 Influência da Temperatura

Se a temperatura do ar decresce com a altura e a densidade do ar é, portanto, menor nas camadas inferiores, a onda sonora tem menores velocidades nas camadas mais altas da atmosfera e maiores nas mais baixas. Deste modo, ocorre uma zona de sombra acústica junto ao solo.

Estando a temperatura do ar maior em altitude, a onda sonora sofre reflexões sucessivas entre o solo e as camadas superiores do ar, e o som percorre grandes distâncias. Esta situação do ar ocorre geralmente a noite, quando a terra perde calor por radiação.

2.2 Influência do Vento e Temperatura Combinados

A medida que a temperatura aumenta, a velocidade do vento também aumenta, e a combinação de seus gradientes de termina efeitos diversos sobre uma fonte sonora.

Se o gradiente de temperatura é negativo e os raios sonoros se propagam no mesmo sentido do deslocamento do vento, as ações do vento e da temperatura se anulam nas camadas superiores e somam-se nas camadas inferiores do ar; enquanto que, para os raios sonoros no sentido contrário ao vento, as ações somam-se nas camadas superiores e anulam-se nas inferiores.

Com o gradiente de temperatura positivo, as ações de anulam nas camadas superiores do ar e somam-se nas inferiores, se o raio sonoro está propagando-se no sentido contrário ao vento. Para os raios sonoros propagados no mesmo sentido do vento, as ações somam-se nas camadas superiores e anulam-se nas inferiores.

2.4 Absorção do Som no Ar

A onda sonora, quando atravessa o ar, provoca uma agitação nas partículas atmosféricas, que leva à dissipação da energia em forma de calor. Quanto mais as moléculas se agitam, maior é a dissipação e maior é a perda de energia sonora. Esta perda depende da umidade do ar, já que quanto maior é a umidade, menor é a sua viscosidade e menor é a absorção sonora.

2.5 Outros Atenuantes do Som

Platêia - as pessoas agem como elementos absorventes, extraindo energia da onda sonora.

Terreno - conforme a superfície do solo, as ondas sonoras podem ser atenuadas, dependendo do coeficiente de absorção da superfície.

Vegetação - sua absorção relaciona-se com a altura em que se encontra a fonte e suas ondas sonoras, além da homogeneidade da vegetação. A flexibilidade, a porosidade e a leveza das folhas são características responsáveis pela absorção sonora.

Nuvens e Nevoeiros - conforme a sua distância à fonte, refrata-se parte da onda sonora e outra parte é refletida. Pode ocorrer ainda reflexão total da onda sonora, levando a uma propagação à longa distância.

Materiais de construção - alguns materiais apresentam características específicas, que os tornam absorventes sonoros.

3 FORMAS E SUPERFÍCIES

Um grande problema acústico nos recintos ao ar livre é o tempo de permanência do som no ambiente, que tende a ser pequeno. Como solução para este problema utiliza-se a concha acústica, que age como superfície refletora e difusora, reforçando o som e proporcionando maior inteligibilidade para a palavra e a música.

3.1 Concha Acústica

Para o projeto de conchas acústicas de auditórios ao ar livre, admite-se que a platêia absorva todo o som que incide sobre ela e que o alcance da voz humana, sem refletores ou amplificadores, seja de 40 m para frente, 30 m para os lados e 20 m para trás (Carvalho, 1967).

A parábola, por possuir características próprias, é a curva mais indicada para o perfil de conchas acústicas. Todo som emitido no foco da parábola será refletido de maneira paralela ao eixo.

Existem diversas variações no design das conchas acústicas, que podem fornecer uma reprodução adequada do som.

3.2 Método Gráfico

Para a determinação da forma de conchas acústicas existem métodos gráficos, que permitem estabelecer o perfil apropriado, conforme a capacidade de espectadores apresentada pelo auditório.

No caso de pequenos auditórios, o Método de Lyon (Miñana, 1969) permite esboçar o perfil da superfície refletora.

O perfil resultante não é necessariamente um arco contínuo, podendo ser constituído de pequenos segmentos.

4 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS

No caso de auditórios ao ar livre, que o tempo de reverberação é praticamente nulo, já que não há superfícies suficientes para manter o som no ar através de sucessivas reflexões, é importante conhecer as propriedades dos materiais empregados, para que não haja absorção demasiada do som.

As propriedades dos materiais permitem distinguir alguns coeficientes acusticamente importantes, sendo o coeficiente de absorção sonora o principal parâmetro para a classificação e escolha do material.

4.1 Coefficiente de Absorção

O coeficiente de absorção sonora é a diferença entre os raios sonoros incidentes e os refletidos, ou seja, é a soma dos coeficientes de dissipação e de transmissão, ou ainda, é a porcentagem de energia total retida pelo material.

Distinguem-se três categorias de materiais: muito refletores, pouco absorventes e muito absorventes.

Muito refletores - coeficiente de absorção em torno de 0,01.

Pouco absorventes - coeficiente de absorção superior a 0,10.

Muito absorventes - coeficiente de absorção superior a 0,50.

4.2 Materiais Refletores

Os auditórios ao ar livre necessitam do emprego de materiais refletores, para suprir a falta de tempo de reverberação, através de reflexões sonoras.

Dentre os materiais refletores destacam-se as pedras, o granito, o mármore, o concreto e as pastilhas, por serem resistentes a intempéries e serem duráveis. Portanto, são adequados à exposição ao ar.

5 ENTORNO URBANO

Além da necessidade de uma distribuição sonora homogênea, de um tempo de reverberação adequado e de condições climáticas favoráveis, influi nos auditórios ao ar livre o ruído de fundo.

O controle ou diminuição do ruído é um dos principais fatores para um bom nível sonoro, e requer a identificação das possíveis fontes de ruído, para a obtenção de barreiras acústicas eficazes.

5.1 Fontes de Ruídos Urbanos

Sabe-se que o ruído urbano tem poder residual, produzindo um nível de ruído de fundo praticamente constante. Segundo Knudsen e Harris (1953) o ruído de fundo não deve ultrapassar 40 dB, pois não deve suplantiar o sinal de interesse.

Para a adequação do auditório ao seu entorno, faz-se necessário estabelecer de quais pontos partem os ruídos. As fontes de ruídos urbanos estão ligadas a atividades comerciais e industriais, recreativas, de transporte, etc. As ligadas ao transporte são as mais prejudiciais.

Em geral, para o controle de ruído externo, é necessária a consideração de três elementos: a fonte de ruído, o meio de propagação e o receptor, sendo importante que haja uma separação da fonte de ruído e do receptor. Para esta separação recorre-se a barreiras acústicas.

5.2 Barreiras Acústicas

A eficiência de qualquer barreira acústica depende do modo de separação que essa estipula entre a fonte e o receptor. A altura e a distância entre a fonte de ruído e o receptor determinam o aproveitamento da barreira; quanto maior o anteparo e mais perto da fonte, maior a eficiência.

Os tipos mais comuns de barreiras acústicas são os muros, os taludes, construções e acidentes naturais. Em geral, os materiais para isolamento de ruídos aéreos devem ser estanques e pesados.

O fator estético deve ser considerado. Sob este aspecto, o emprego de vegetação parece apropriado, pois, apesar da vegetação sozinha não ser uma barreira acústica suficiente, se não for densa e profunda, ela pode ser agrupada a outros elementos, amenizando os efeitos agressivos que os mesmos possam ter.

6 PROPOSTA DE PROJETO

A elaboração de um projeto de auditório ao ar livre deve seguir alguns critérios para atender aos princípios acústicos estudados.

6.1 Critérios para Escolha do Local

- Proporcionar à platêia condições visuais e acústicas satisfatórias, respeitando um ângulo de inclinação que possibilite a chegada de raios sonoros diretos;

- o auditório deve ser dotado de concha acústica, capaz de fornecer bons níveis sonoros, tendo um tamanho compatível ao seu uso e ao tamanho da platéia;

- a concha deve ser provida de faixas refletoras, que sejam proporcionais ao comprimento de onda das frequências desejadas;

- os materiais empregados devem ser refletores;

- o número de espectadores deve ser limitado, para que não haja necessidade de sistema de amplificação. Segundo Knudsen e Harris (1953), este número não deve ultrapassar 600 pessoas.

6.2 Critérios para Escolha do Local

- A topografia deve proporcionar aclive no sentido palco - platéia;

- o vento dominante deve coincidir com o sentido palco - platéia;

- o vento não deve ultrapassar 15 km/h (Carvalho, 1967);

- o local deve ser afastado de vias que apresentem tráfego intenso;

- o nível do ruído de fundo deve ser o menor possível, para que não suplante a fonte sonora de interesse, não podendo ser nunca maior que o limite de 40 dB.

6.3 Desenvolvimento do Projeto

O projeto é uma proposta de auditório ao ar livre, destinado a palavra falada e pequenos conjuntos instrumentais, para a cidade de São Carlos - SP, que tem aproximadamente 200.000 habitantes.

O vento dominante o ano todo é o nordeste, com velocidade máxima de 3,5 m/s, sendo mais frequente no mês de maio e menos no mês de novembro.

Para a escolha do local optou-se por uma região que, ao mesmo tempo que fornecesse meios para uma boa acústica, fosse um lugar condizente com a utilização cultural e social gerada por um ambiente deste tipo. Respeitou-se, portanto, os critérios estudados.

O auditório tem lotação máxima de 500 pessoas, número estabelecido para o melhor aproveitamento do som, sem a necessidade do emprego de um sistema de amplificação, e sendo também proporcional ao número de habitantes da cidade.

É proposta uma concha acústica, para melhor e maior tempo de reverberação; e, evitando-se a focalização provocada por superfícies côncavas, os espelhos dos degraus da platéia foram inclinados.

Considerou-se que o material a ser empregado é o concreto, por sua trabalhabilidade, resistência e, principalmente, coeficiente de reflexão.

As instalações sanitárias são dispostas como elementos difusores e no entorno recorre-se a terraplenagem, acompanhada por elementos vegetais densos, para proteção do ruído de fundo.

Admite-se, para a boa acústica, que o melhor horário para uso do auditório é o noturno, quando então o nível de ruído de fundo é menos intenso e o gradiente de temperatura é positivo, evitando-se assim sombras acústicas.

6.4 Apresentação do Projeto

A apresentação da proposta consta de:

- estudo gráfico da concha acústica (Figura 3);
- planta baixa (Figura 1);
- corte (Figura 2).

Estes são apresentados no final do trabalho.

CONCLUSÃO

A acústica de auditórios ao ar livre apresenta sua maior problemática centrada no aspecto da falta de tempo de reverberação. Faz-se necessário, portanto, um maior rendimento da fonte sonora, de maneira a distribuir o som sobre a platéia e fornecer maior inteligibilidade aos espectadores mais afastados.

A eficiência de um auditório ao ar livre é obtida através da interrelação de princípios estéticos, físicos e acústicos, sendo a escolha do design e do local os primeiros cuidados a serem tomados para a elaboração do projeto.

Um ambiente deste tipo é adequado para o desenvolvimento de atividades políticas, sociais e culturais, além de contar com a vantagem do seu baixo custo, se comparada a recintos cobertos ou fechados. Por isso são espaços que devem tomar parte no contexto urbano e terem prosseguimento como obras arquitetônicas.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

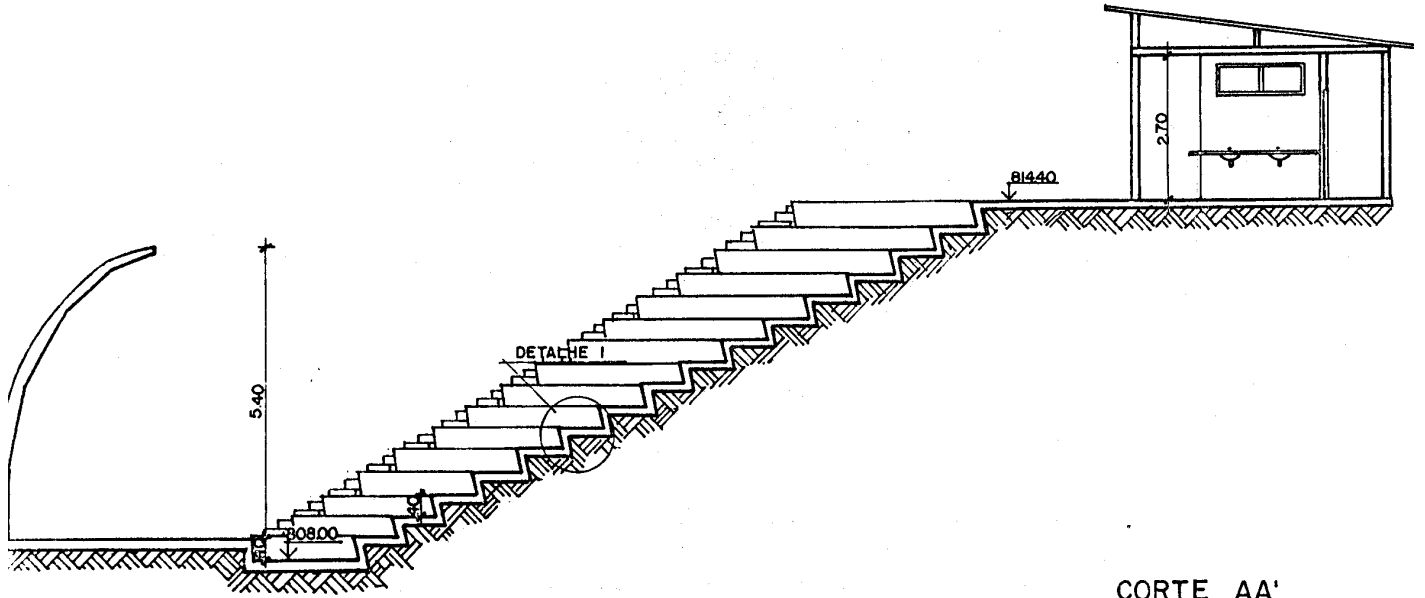
BRUEL, Per V. Sound Insulation and Room Acoustics. London: Chapman + Hall, 1951.

CARVALHO, Benjamin de A. Acústica Aplicada à Arquitetura. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1967.

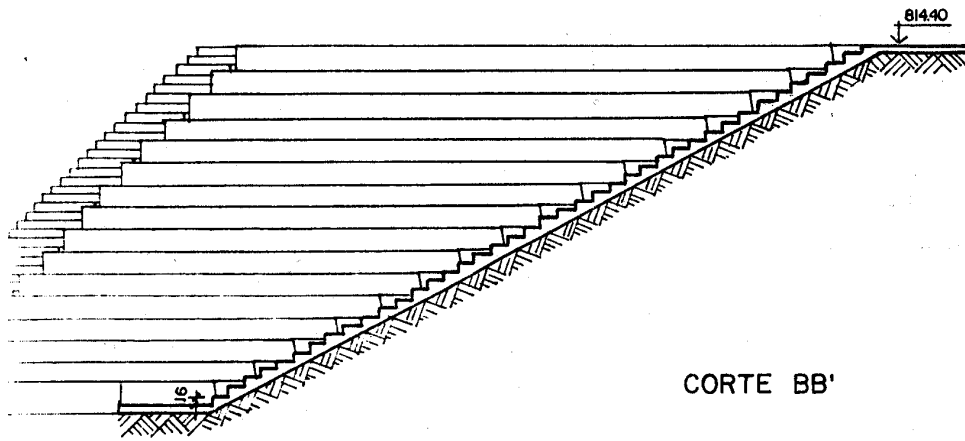
INGERSLEV, Fritz. Acoustics in Modern Building Practice. Glasgow, Robert Maclehose, 1952.

KNUDSEN, Vern O. /HARRIS, Cyril. Acoustical Designing in Architecture. New York, John Wiley, 1953.

MIÑANA, José Perez. Compendio Practico de Acustica. Barcelona, Editorial Labor, 1969.



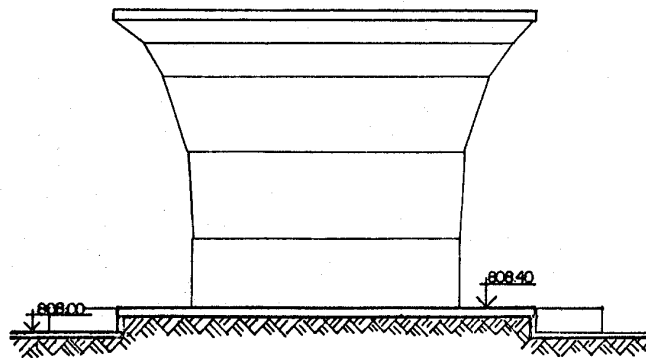
CORTE AA'



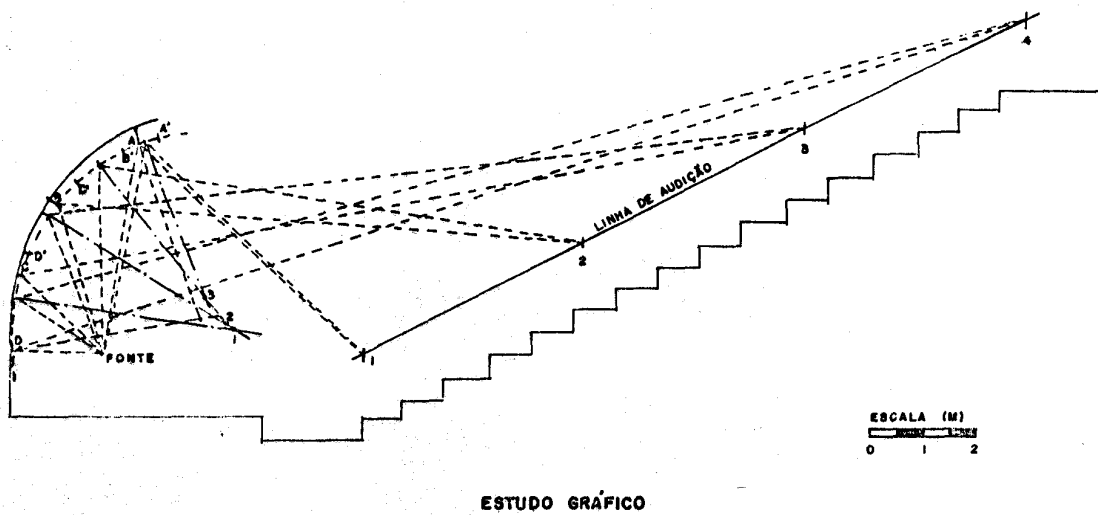
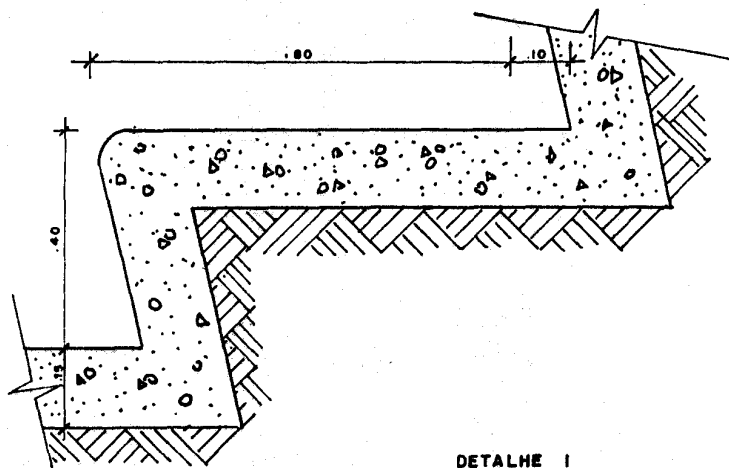
CORTE BB'

ESCALA (m)
0 1 2

CORTE CC'



CORTES



DETALHE I E ESTUDO GRÁFICO DA CONCHA