

ESTUDO ACÚSTICO EM UMA PEQUENA SALA PARA MÚSICA

PACS: 43.55.Br.

De Moraes De Zorzi, Lizia; de Oliveira Nunes, Maria Fernanda
Universidade de Caxias do Sul
Jacinto Francisco D'Aguiar, 51/05, Panazzolo, 95084-280
Caxias do Sul – RS
Brazil
Tef: 55 54 30214361
Fax: 55 54 30214361
E-mail: liziadz@gmail.com; mfonunes@ucs.br

ABSTRACT

A good acoustic conditioning is critical in environments facing music because its quality has direct influence on the final result. In this work acoustics has been studied in a rehearsal room with a symphony orchestra. For this, tests were performed to obtain the RT and materials were tested for sound absorption. From the analysis of the results, it was found that the adopted method can not be applied in all environment. Finally, the behavior of sound wave inside the room was studied, made calculations and computer simulations.

RESUMO

Um bom condicionamento acústico é fundamental em ambientes voltados para música, pois a sua qualidade tem influência direta no resultado final. Neste trabalho, foi estudada a acústica em uma sala de ensaio individual de uma orquestra sinfônica. Para isso, foram realizados ensaios para a obtenção do TR e testados materiais para a absorção sonora. A partir da análise dos resultados, descobriu-se que o método adotado não pode ser aplicado a qualquer ambiente. Por fim, foi estudado o comportamento da onda sonora no interior da sala, realizados cálculos e simulações computacionais.

2 INTRODUÇÃO

O estudo da propagação do som nos espaços fechados, sobretudo quando se trata de espaços para a música, é essencial para a obtenção de uma boa acústica. Este trabalho trata da acústica de uma pequena sala de ensaios individuais da Orquestra Sinfônica da Universidade de Caxias do Sul, em que se percebe uma qualidade sonora ruim.

Primeiramente foram estudadas algumas características da sala. Depois foi realizado ensaio *in loco* através do qual se buscava comparar a absorção sonora de materiais confeccionados com

resíduos industriais e materiais convencionais na acústica da sala. Analisando os dados obtidos com as medições, descobriu-se que nem sempre podem ser obtidos resultados com esse tipo de ensaio, diferente do esperado. Nesta sala não foram obtidos os resultados com a medição devido às limitações físicas do espaço. Para compreender melhor como se dá a propagação da onda sonora foi, então, realizada simulação via software.

3 ESTUDOS DA SALA

3.1 Cálculo do Tempo de Reverberação

Utilizando a fórmula de Sabine, calculou-se o Tempo de Reverberação da sala com a planilha proposta por Valle (2007). Para isso, foram utilizados os coeficientes de absorção tabelados por Bistafa (2006). No gráfico da Figura 01, observa-se em azul a curva do TR recomendado e em vermelho o TR calculado da sala. A partir desse estudo, constata-se a real necessidade de tratamento acústico para qualificar a sala.

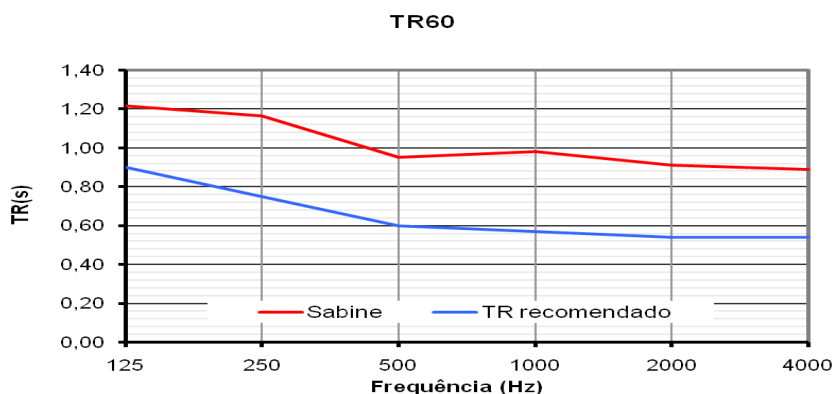


Figura 01: TR calculado e TR recomendado para a sala.

3.2 Proporções da Sala

Foram analisadas as proporções da sala a partir do Diagrama de Bolt, Beranek e Newmann. A partir disso, foi gerado um gráfico, Figura 02, onde a proporção da sala é representada por um círculo vermelho e as proporções ideais por círculos coloridos.

Todas as posições dentro da área pontilhada mostram resultados adequados. Em função do gráfico gerado, chegou-se a conclusão de que a sala não tem dimensões proporcionais, o que contribui para a baixa qualidade acústica do ambiente.

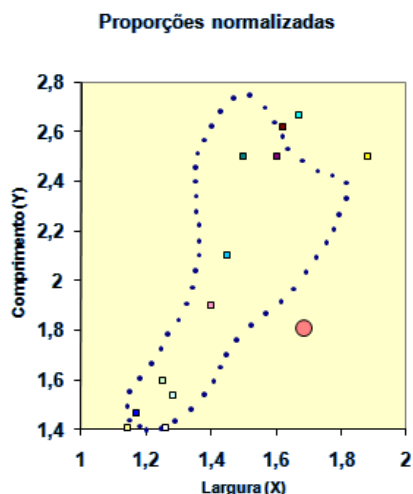


Figura 02: Diagrama da Proporção da Sala – Bolt/ Beranek/ Newmann

3.3 Medição do Tempo de Reverberação *in loco*

Inicialmente, o método proposto para avaliar os diferentes materiais na qualificação acústica da sala consistia na realização de medições do tempo de reverberação *in loco*, baseadas na NBR 11957 (ABNT, 1988) que trata da análise do tempo de reverberação em auditórios. Foi utilizada esta norma, pois não existe nenhuma outra que trate deste tipo de ensaios em ambientes menores.

As primeiras medições *in loco* foram realizadas com a sala vazia para servir de parâmetro para a comparação com as demais tentativas de qualificação da acústica da sala. A Figura 03 mostra no primeiro gráfico, em preto, a curva do TR medido *in loco* e, em vermelho, a curva do TR recomendado pela NBR 12179 (ABNT, 2008). No gráfico seguinte da mesma figura, podem ser observadas as curvas geradas a partir das diferentes medições. A linha em preto representa a curva do TR medido na sala vazia, em vermelho a da sala com os dois painéis perfurados, em verde a da sala com os painéis preenchidos com lã de vidro, em roxo a da sala com os painéis preenchidos com a espuma de PU e em amarelo a da sala com os painéis preenchidos com a espuma de PU confeccionada com 10% de resíduos da indústria calçadista.

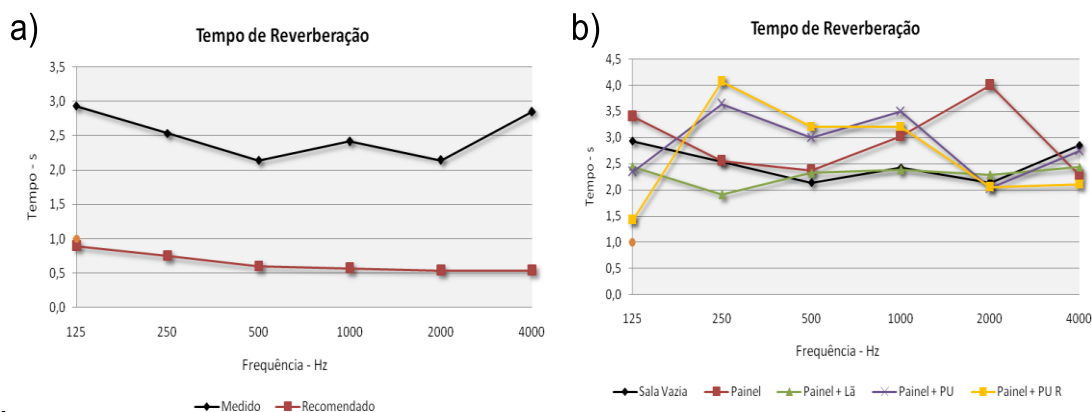


Figura 03: a) TR medido X TR recomendado; b) TR Nas Diferentes Situações Medidas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a análise dos resultados do ensaio acústico realizado *in loco*, foi observado que o TR da sala não pode ser verificado com esse tipo de medição devido às características físicas da sala.

O primeiro problema observado na sala, foi um efeito relacionado às ondas estacionárias. Como o recinto possui paredes muito próximas, paralelas e reflexivas, o som produzido no seu interior é rebatido entre as paredes, o que dificulta a boa difusão do som no seu interior. Esse fenômeno que prejudica a acústica é chamado de *flutter echo*.

Segundo Valle (2007), acima de uma determinada frequência, denominada frequência de Schroeder, as ondas estacionárias se tornam pequenas em relação ao tamanho da sala perdendo a sua importância na acústica do ambiente. Normalmente, na prática, a importância das ondas estacionárias para a acústica de um ambiente diminui significativamente acima de 300 Hz.

Calculando-se a frequência de Schroeder em função da dimensão mínima da sala de música, descobriu-se que a partir de 603 Hz os resultados do ensaio são invalidados pelas ondas estacionárias, como pode ser observado no cálculo a seguir. A velocidade do ar considerada foi de 340 m/s e a distância mínima foi de 1,69 metros, que é a distância entre os painéis das paredes opostas.

Frequência de Schroeder:

$$f_s = ((3 \times \text{Velocidade do Ar em m/s}) / \text{Menor dimensão do Recinto})$$

$$f_s = ((3 \times 340) / 1,69)$$

$$f_s = 603 \text{ Hz}$$

Com relação às variações de pressão sonora no interior da sala, chamadas de modos, também se observou um grande problema em função das dimensões da sala. Segundo Valle (2007), quanto menor a sala, mais sérios são os problemas com os modos devido ao fato de as frequências das ondas estacionárias serem mais afastadas entre si, criando trechos de banda de graves com poucos modos e baixa pressão, e outros trechos com modos acumulados e alta pressão sonora.

Como a sala, que é o objeto de estudo deste trabalho, é utilizada para ensaios de música esse defeito é bastante grave, pois tende a atenuar ou realçar determinadas frequências. Ao ouvir a música em um espaço como esse se percebe, por exemplo, que algumas notas de contrabaixo ou de outro instrumento grave soam mais altas do que as outras. (VALLE, 2007)

Para se calcular as frequências dos modos e obter o número de modos por banda de frequência, foi utilizada a planilha de Valle (2007) – Figura 04. De acordo com o autor, o número de modos deve sempre aumentar com a frequência. É aceitável, no máximo, que esse número se mantenha constante em duas bandas seguidas. Além disso, é importante que o aspecto da curva que liga esses pontos seja o de uma parábola.

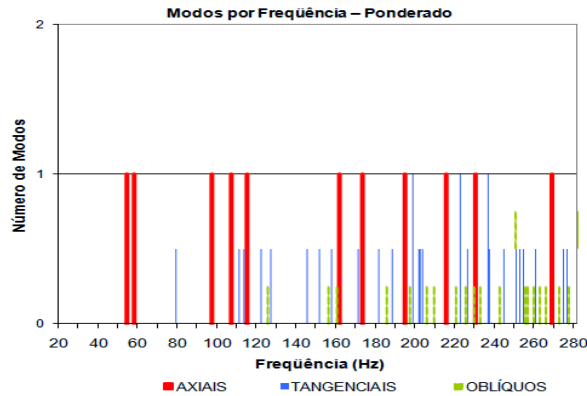


Figura 04: Gráfico dos Modos por Frequência.

Fonte: Valle, 2006.

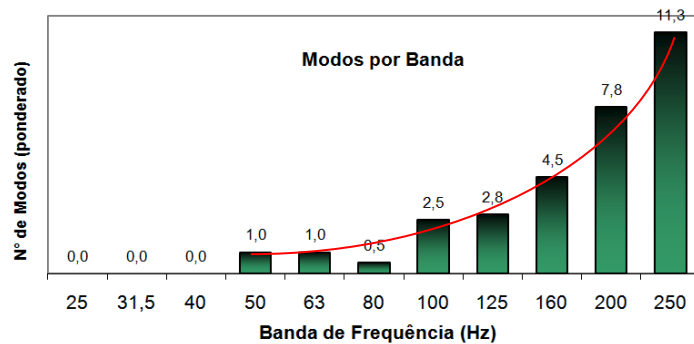


Figura 05: Gráfico dos Modos por Banda.

Fonte: Valle, 2006.

Analisando a Figura 04, percebe-se que o número de modos nem sempre aumenta com o aumento da frequência, como deveria. E observando a Figura 05, percebe-se que os valores dos modos por banda não seguem uma parábola.

Outro parâmetro considerado importante é a densidade modal, que representa o número de modos por banda dividido pela frequência central de banda – Figura 06. Para uma sala com boa sonoridade, a densidade modal se aproxima de uma linha suavemente ascendente, sem picos ou descidas.

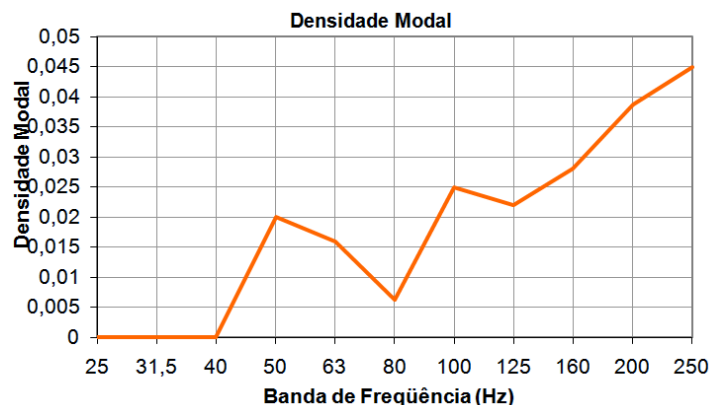


Figura 06: Gráfico da Densidade Modal.

Fonte: Valle, 2006.

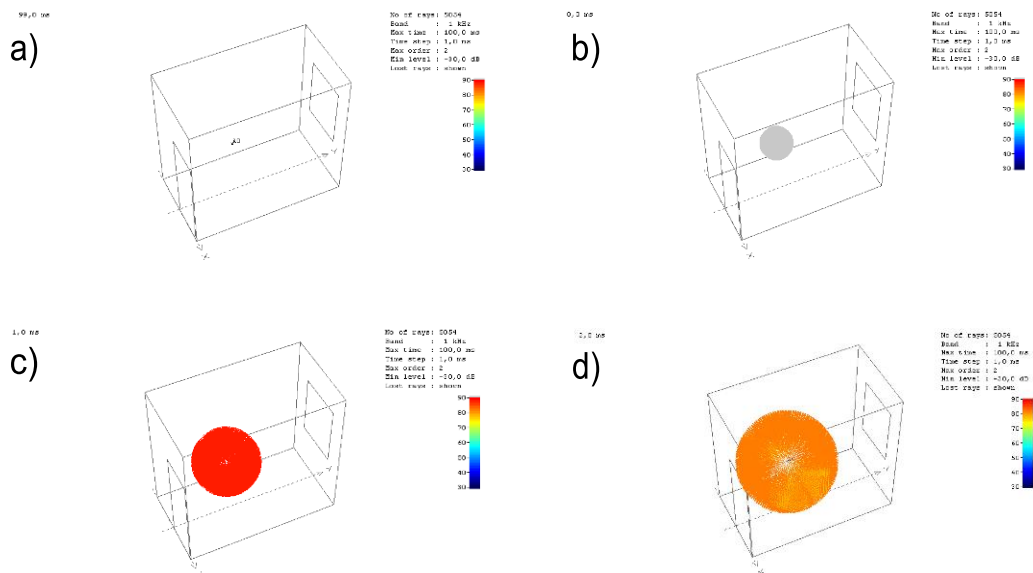
Observando a Figura 06, percebe-se que a curva da densidade modal tem picos nas frequências de 100 Hz e, principalmente, 50 Hz, vales em 125 Hz e, principalmente, 80 Hz, além de uma parte reta, entre as bandas centrais de 25 Hz e 40 Hz. Essa irregularidade significa que a sala acentua algumas frequências e atenua outras.

Além disso, foi percebido outro problema na acústica da sala devido às suas dimensões. Salas muito pequenas, como é o caso da estudada neste trabalho, não possuem reverberação verdadeira, pois não há tempo suficiente para se formar um campo difuso. O que parece reverberação é, na verdade, um padrão de reflexões primárias, também chamado de *early reflections*, bastante numerosas e com intervalos irregulares (Valle, 2007).

5 SIMULAÇÃO VIA SOFTWARE

Ao longo da pesquisa, verificou-se a recorrente utilização de simulações computacionais nos estudos de acústica, principalmente na fase de projeto. Inclusive, Bistafa (2006), que é referência no assunto, menciona o uso deste recurso em diversos estudos. O principal software utilizado nesses casos foi o CATT-Acoustic.

Para a melhor compreensão da propagação das ondas sonoras na sala, que é o objeto de estudo deste trabalho, foi realizada uma simulação tridimensional nesse software. As imagens a seguir mostram os comprimentos das ondas e as mudanças na intensidade sonora ao longo do tempo, variando os seus decibéis conforme ilustra o espectro de cor. O tempo decorrido entre cada simulação é de 1 milissegundo (ms).



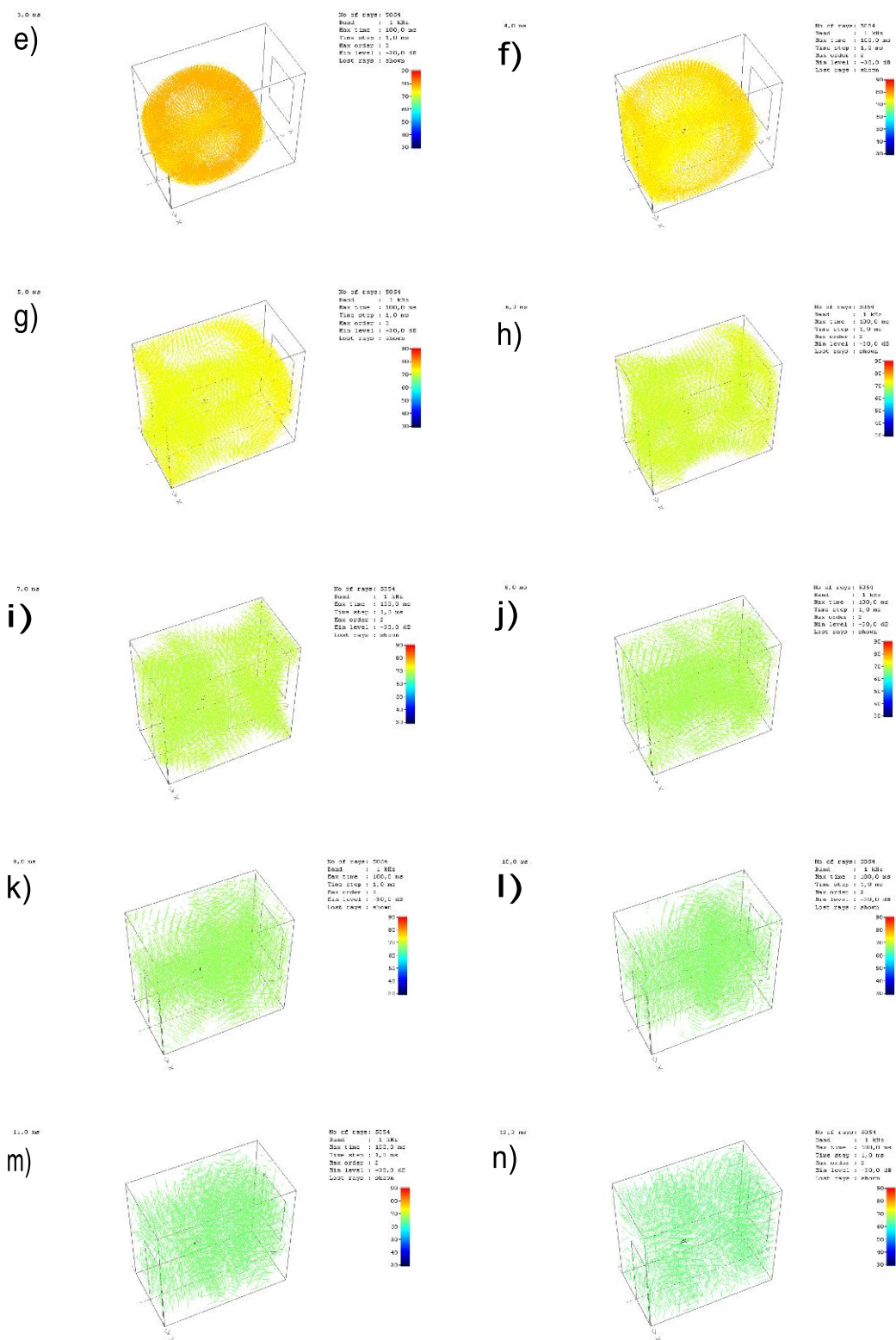


Figura 07: Análise do comportamento do som: a) Sala antes da emissão do ruído; b) Emissão do ruído – 0 ms; c) 1 ms; d) 2 ms; e) 3 ms; f) 4 ms; g) 5 ms; h) 6 ms; i) 7 ms; j) 8 ms; k) 9 ms; l) 10 ms; m) 11 ms; n) 12 ms.

Pode-se observar, nas últimas imagens da figura anterior, a grande reflexão das ondas sonoras nas paredes da sala, principalmente, quando a intensidade do som está entre 60 e 70 decibéis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espaços destinados à música e à fala precisam de um cuidado especial na hora de se projetar. Nos destinados à fala, como nos teatros, por exemplo, o cuidado é para que se consiga uma boa inteligibilidade. Já no caso dos destinados à música, como é o caso da sala estudada neste trabalho, é importante que o som não seja atenuado ou acentuado demais em algumas frequências e que não se criem ecos ou outros efeitos indesejados. Muitas vezes este cuidado acaba não acontecendo na etapa de projeto e se tenta corrigir a acústica posteriormente, com os ambientes já construídos.

Este trabalho buscou a qualificação de uma pequena sala de ensaios musicais individuais com acústica inadequada. Com a realização de testes *in loco*, descobriu-se que esses ensaios não podem ser realizados em qualquer ambiente. Analisando o porquê disso, mostrou-se ainda mais importante realizar um projeto acústico para os ambientes. Além disso, ficaram claras algumas diretrizes que devem ser seguidas para que se consigam espaços com uma boa acústica.

A primeira diretriz é evitar superfícies paralelas. Elas tendem a dificultar a boa difusão do som devido ao efeito *flutter echo*. A segunda, é evitar que todas as superfícies sejam reflexivas. Se parte delas for absorvente, ou até difusora, a onda não será refletida entre as paredes com a mesma angulação, ajudando, também, a evitar o efeito *flutter echo*. Outra diretriz, é evitar as superfícies paralelas muito próximas. Quando a distância a ser percorrida pela onda é muito pequena em relação ao tamanho da onda, elas tendem a se sobrepor e a criar zonas de pressão sonora nulas, ou de silêncio, devido à criação de ondas estacionárias. Segundo Valle (2007), quanto menor a sala, mais sérios são os problemas com os modos devido ao fato de as frequências das ondas estacionárias serem mais afastadas entre si, criando trechos de banda de graves com poucos modos e baixa pressão, e outros trechos com modos acumulados e alta pressão sonora.

Além disso, é interessante evitar espaços muito pequenos, como o deste trabalho, para que se crie um campo difuso. Sem isso, o que parece reverberação é, na verdade, *early reflectios*, um padrão de reflexões primárias, bastante numerosas, com intervalos irregulares e de difícil correção.

7 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Reverberação: Análise do Tempo de Reverberação em Auditórios*. NBR 11957. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Tratamento Acústico em Recintos Fechados*. NBR 12179. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: E. Blücher, 2006. 368p.

CATT, CATT-Acoustic v8.0 (build 2.01): CATT 1988-2009. Disponível em: <<http://www.catt.se>>. Acessado em 25 de Setembro de 2010.

VALLE, Sólón do. *Manual prático de acústica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2007. 373p.