

# **Um Sistema de Baixo Custo para o Aluno de Acústica de Salas**

**Marcelo Santos Portela**

Laboratório de Vibrações e Acústica – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Caixa Postal 476 – Florianópolis – SC – Brasil

[portela@emc.ufsc.br](mailto:portela@emc.ufsc.br)

**Abstract.** *For the student's first contact with the room acoustics concepts, more accessible resources should be used. The article relates the development steps of an acoustic parameters measurement system for an engineering graduation project. It consists of a computer equipped with a stereo soundboard, two microphones, a mixer, a power amplifier, an omnidirectional soundsource (according to the ISO 3382 standard) and a subwoofer. The software used was the Aurora, as extension (plug-in) of CoolEdit (now Adobe Audition), using swept sine signals.*

**Resumo.** *Para o primeiro contato do aluno com os conceitos de acústica de salas, deve-se utilizar os recursos mais acessíveis. O artigo relata as etapas do desenvolvimento de um sistema de medição de parâmetros acústicos para um projeto de graduação em engenharia, que consiste em um computador equipado com placa de som estéreo, dois microfones, uma mesa de som, um amplificador de potência, uma fonte sonora omnidirecional (de acordo com a norma ISO 3382) e um subwoofer. O software utilizado foi o Aurora, como extensão (plug-in) do programa CoolEdit (agora Adobe Audition) utilizando sinais do tipo varredura de seno.*

## **1. Introdução**

A comunicação através da palavra falada, a música e outras formas de som demandam características da sala de audição que raramente são estudadas de forma prática pelos alunos envolvidos em projetos acadêmicos da área de áudio, devido à falta de equipamento acessível de análise.

É comum o aluno aprender uma série de índices objetivos que podem ser considerados “mediadores” entre os dados construtivos de uma sala por um lado, e a experiência acústica do ouvinte por outro, porém sem aplicar o conhecimento em uma sala real. Dentre as técnicas para obtenção da resposta impulsiva, desde as mais tradicionais que utilizam sons de impacto até as que geram sinais específicos através de softwares e hardwares especializados, a técnica de varreduras de seno apresenta diversas vantagens [1]. Ainda, o elevado preço dos modernos sistemas de medição acústica em salas exige que sejam pesquisados sistemas de custo menor e de desempenho relativo à sua aplicação.

O projeto de pesquisa consistiu na montagem, a partir de equipamento acessível, de um sistema de medição de parâmetros acústicos. Ele foi aplicado na análise do Teatro Noel Rosa da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, o qual será beneficiado

pela orientação sobre a utilização dos recursos arquitetônicos/técnicos, sendo capaz de oferecer uma melhor qualidade acústica aos artistas e ao público [2].

## 2. Metodologia

O desempenho desejado requer que o sistema tenha como base de operação um computador equipado com uma placa de som estéreo de pelo menos 16-bits. O sistema deverá permitir a obtenção das respostas impulsivas em dois canais, para o cálculo dos parâmetros objetivos que consideram as diferenças entre os dois ouvidos. Para tal, serão utilizados dois microfones capacitivos e as suas respectivas fontes de energia.

A ISO 3382 [3], norma de medição dos parâmetros de acústica de salas, recomenda o uso de uma fonte sonora omnidirecional. A geometria escolhida foi a do dodecaedro regular, tendo como referência os tradicionais fabricantes de equipamentos para acústica, que utilizam esta geometria e conseguem gerar campos sonoros classificados como omnidirecionais. Os alto-falantes serão especificados para que, entre outras características, tenham potência suficiente para excitar a sala e possuam resposta plana na faixa de freqüências de 90Hz a 10kHz. Para uma melhor resposta em baixas freqüências (abaixo de 90Hz), será utilizado, em conjunto com os alto-falantes do dodecaedro, um *subwoofer* (alto-falante de graves) posicionado no chão, embaixo da fonte omnidirecional que estará montada em um tripé.

O *software* utilizado pelo sistema de medição para obtenção e processamento da resposta impulsiva foi o Aurora [4], como extensão (*plug-in*) do programa CoolEdit (agora Adobe Audition [5], custando aproximadamente US\$ 250,00), na forma de módulos que permitiram a medição da resposta impulsiva com sinais do tipo varredura de seno e o cálculo dos índices objetivos de qualidade sonora. Ainda assim, por se tratarem de programas *shareware*, os *plug-ins* não registrados funcionam sem qualquer limitação e não expiram. Porém, com uma chance de 1:4, pode ocorrer de a plataforma ter que ser reiniciada. Contudo, este problema termina após se inserir o código de inscrição, que pode ser adquirido (cerca de US\$ 200,00) através do website.

## 3. Sistema de Medição

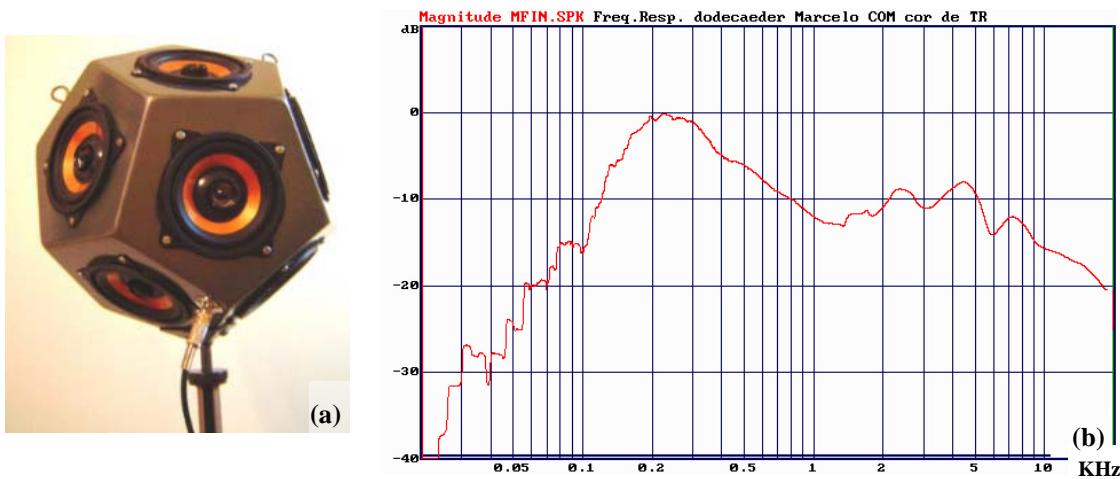
A Norma ISO 3382 aconselha que, para medições acústicas confiáveis, a fonte sonora seja o mais próximo possível do que se define como omnidirecional. Esta deve também produzir um nível de pressão sonora suficiente para prover curvas de decaimento com a máxima faixa dinâmica sem a contaminação do ruído de fundo.

Foi então projetado um grupamento de 12 alto-falantes em uma configuração dodecaédrica, para radiar som uniformemente com uma distribuição esférica (isotrópica). A fonte deve ter o menor tamanho possível para que ela se aproxime do modelo de uma fonte pontual, quando comparada ao volume da sala.

Para otimizar o projeto geométrico das dimensões ideais para a caixa acústica e todos os seus detalhes, evitando a inconveniência de tentativas e erros, foi usado um *software* de simulação gráfica em 3D [6], para fazer o modelo do poliedro regular de doze faces. Todos os doze alto-falantes foram conectados em uma rede série-paralela para assegurar uma operação em fase e uma impedância compatível com um amplificador de alta potência (em torno de 300 W RMS por canal).

### 3.1. Especificações Técnicas da Fonte Sonora

A fonte inteira pesa 8 kg (sem o tripé) e é provida de uma alça de transporte removível que não interfere no campo sonoro durante as medições. Foi escolhido um alto-falante de 4 polegadas do modelo CN4U, da Bravox, que garante uma resposta em freqüência mais ou menos plana na faixa de 80 Hz a 15 kHz. A fonte final tem como característica principal uma impedância nominal de 5,3 Ohms, a potência RMS de 300 W e o conector do tipo *Mono Phone Plug* (P10). Sua resposta em freqüência será abordada a seguir.



**Figura 1. (a) Dodecaedro Omnidirecional. (b) Resposta em Freqüência de Potência da Fonte Sonora.**

A Figura 1(b) fornece a curva de resposta em freqüência medida para o dodecaedro em câmara de potência (reverberante). Este espectro foi medido através de um ensaio em câmara de potência (câmara reverberante do INMETRO-RJ), cujo procedimento consiste em obter a distribuição da potência da fonte sonora por faixa de freqüência. Para a obtenção do resultado final foi feita uma média dos resultados da combinação de três posições de fonte com quatro posições de microfone, descontando-se o espectro de resposta da câmara reverberante, previamente conhecido.

Todos os equipamentos da cadeia de medição provocam alguma influência na estimativa da resposta impulsiva do ambiente. Essas influências devem ser anuladas, ou pelo menos atenuadas, para que a resposta impulsiva calculada retrate a realidade da sala. Nesse caso, o sinal de excitação deve ser tratado para compensar as imperfeições das respostas dos equipamentos, de forma a não prejudicar a medição. Para obter a curva de compensação deve-se inverter o espectro de potência, aplicando filtros nos sinais. Os filtros são necessários para evitar que os alto-falantes trabalhem fora da faixa ideal, onde possuem baixo rendimento e geram distorções. Como o ruído de fundo em qualquer sala tende a aumentar em baixas freqüências, é também aplicada ao alto-falante uma pré-ênfase para as baixas freqüências, independente da equalização.

### 3.2. Equipamento auxiliar

A cadeia de medição contou com equipamentos que foram sendo adquiridos dentro de um controle custo-benefício que permitisse um sistema de custo razoável,

porém eficiente. Os equipamentos utilizados foram: mesa de som com pré-amplificador [EuroRack UB802 da Behringer, 8 entradas (2 dessas com alimentação *Phantom*) / 2 saídas]; dois microfones condensadores de eletreto [Superlux ECO-H6A, Padrão Polar: Cardióide, Resposta em Freqüência: 40~18000 Hz, Alimentação: *Phantom* 36-52V]; um amplificador de potência [200 W RMS]; um *subwoofer* ativo [Pioneer, 150W RMS, 45~120Hz]; computador [Semprom 2200 MHz com placa de áudio ADI1980 *On-Board* na ASUS A7V8X-X]. O total gasto em equipamento (incluindo os alto-falantes) ficou em torno de R\$ 2.740,00. Deve-se levar em conta que todas as partes do sistema podem ser utilizadas em várias outras aplicações.

#### **4. Discussão da análise no teatro**

Foram utilizadas duas posições de fonte sonora no palco e, para cada uma delas, seis posições de microfone foram distribuídas, de forma a representar todas as possíveis variações dos parâmetros acústicos. Com isso, foram feitas 12 medições. As médias foram realizadas a partir dos valores pontuais referentes aos dados de medição de cada assento escolhido da platéia, e representadas por gráficos. Dessa forma, tornou-se mais fácil a análise da sala como um todo, dentro de uma visão mais subjetiva. Foram avaliados: Tempo de reverberação ( $T_{20}$  e  $T_{30}$ ), EDT (Tempo de Decaimento Inicial), Clareza ( $C_{50}$  e  $C_{80}$ ), Tempo Central (CT), Fração Lateral (LF) e STI (Índice de Transmissão da Fala).

Em geral, os dados se mostraram consistentes, permitindo identificar uma deficiência no tempo de reverberação para altas freqüências, que prejudica a qualidade dos espetáculos musicais, embora isto seja positivo para a voz falada. A necessidade da dispersão uniforme do som foi evidenciada principalmente pelo desequilíbrio no balanço de freqüências, pelo fator Clareza e pela Fração Lateral medidos para a sala. O sentimento de "intimidade" ou "presença", vital para a apreciação de espetáculos em uma sala, foram confirmados pelo pequeno atraso entre o som direto e as reflexões. Essa característica é resultado do tratamento acústico já consolidado desde a concepção do Teatro Noel Rosa.

#### **5. Conclusões**

É importante ressaltar que a proposta do sistema é permitir que alunos tenham um primeiro contato com o aspecto prático da medição acústica de salas. Sendo assim, limitações nos equipamentos presentes da cadeia de medição, como a direcionalidade dos microfones ou a qualidade da placa de som inseriram uma incerteza nos dados finais dentro de uma margem aceitável para o que se propõem.

As varreduras de seno (*swept sines*) mostraram ser sinais de excitação muito eficientes para medições acústicas, permitindo uma maior faixa dinâmica (relação sinal-ruído) no menor tempo de medição, resistência à distorção harmônica e a variâncias no tempo.

O desempenho da fonte sonora omnidirecional construída foi bastante satisfatório, sendo capaz de excitar a sala com o sinal de varredura apropriado, obtendo uma faixa dinâmica suficiente para extrair as curvas desejadas.

## **6. Referências**

- [1] Müller, S. e Massarani, P. (2001), “Transfer-Function Measurement with Sweeps”, J.AES, vol. 49, p. 443-471.
- [2] Portela, M. (2005), “Otimização dos Parâmetros Acústicos do Teatro Noel Rosa Baseada na Resposta Impulsiva”, Projeto de Graduação, UERJ/FEN.
- [3] ISO 3382 (1997), “Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters”.
- [4] <http://www.ramsete.com/aurora/home.htm>
- [5] <http://www.adobe.com/products/audition/main.html>
- [6] <http://www.sketchup.com>