



por Fernando Rodrigo Fortes

## **0 INTRODUÇÃO**

O SIM, do inglês Source Independent Measurement, é um equipamento de medição de áudio fabricado pela empresa norte-americana Meyer Sound Laboratories cuja principal vantagem, em relação à outros equipamentos de medida, é que podemos utilizar qualquer tipo de sinal de áudio como sinal de referência, como por exemplo o próprio sinal de saída da mesa de som. John Meyer, proprietário e fundador desta empresa, foi o idealizador e criador deste equipamento. Podemos encontrar o SIM em três versões diferentes: a versão 2.0 é utilizada para efetuar medições típicas de laboratório. A versão 2.3s é capaz de medir sistemas de dois canais e a versão mais sofisticada 2.3m pode medir de 8 a até 64 canais de áudio diferentes. O SIM foi projetado para ser uma ferramenta de medição de áudio completa, atendendo à todas as necessidades do engenheiro. Por tratar-se de um equipamento dedicado ao áudio e por utilizar avançadas técnicas de medição, os leitores da revista de áudio americana MIX concederam à Meyer Sound o prêmio de excelência técnica e criatividade “TEC Award” pelo desenvolvimento do SIM, e a revista especializada em tecnologia aplicada à pesquisa e desenvolvimento, R&D Magazine, concedeu também um prêmio à Meyer Sound.

Para compreendermos a técnica utilizada pelo SIM, vamos agora entender como é que este equipamento efetua as medições nos sinais provenientes do sistema de som.

## **1 OS FUNDAMENTOS DO SIM**

O propósito da medição independente da fonte sonora é de analisar um sistema de som durante a apresentação, utilizando o sinal proveniente da mesa de som como referência. Isto é praticamente impossível de ser realizado no modo convencional, quando utilizamos um analisador de espectro (RTA) e um gerador de

ruído para analisar o mesmo sistema. Com o SIM torna-se possível avaliar o comportamento do ambiente levando-se em consideração as variações do espaço acústico causados pela presença ou não de público e também por mudanças no comportamento das ondas acústicas causadas por variações climáticas [1].

A divulgação deste equipamento, ou desta técnica, teve início em 1984 quando John Meyer apresentou na 76<sup>a</sup> Convenção da “Audio Engineering Society” os resultados de suas experiências durante as apresentações das bandas Rush e Greatful Dead. Nestas experiências ele utilizou um analisador FFT (Transformada Rápida de Fourier) de dois canais fabricado pela Hewllet Packard, modelo HP3582 para equalizar os sistemas de som [2].

Agora, o que vem a ser a Transformada Rápida de Fourier? A transformada de um modo geral nada mais é do que uma “receita” ou um “mapa” que te mostra como passar a informação de um sinal de uma forma para outra forma. Um sinal de áudio pode ser descrito tanto em termos de frequência quanto em termos de tempo, que são duas formas diferentes de se ver a mesma coisa. Então, a ferramenta para se converter um sinal com informação no tempo (representação no domínio do tempo) para um sinal com informação em frequência (representação do domínio da frequência), é o que chamamos de Transformada de Fourier, em homenagem ao matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) que em seu trabalho *Théorie analytique de la chaleur* (Teoria Analítica do Calor, Paris 1822) desenvolveu a teoria de condução de calor baseado nas séries por ele descritas (Séries de Fourier) [3 p.566-625]. Agora, como a transformada de Fourier é uma função matemática, para que possamos realizá-la em um computador digital é necessário utilizarmos um algoritmo (seqüência de procedimentos em linguagem computacional). Sendo assim, a DFT é um algoritmo capaz de realizar a Transformada Discreta de Fourier. Porém a DFT é um algoritmo muito lento. Foi aí que o Cálculo Numérico criou a FFT que é “parecida” com a DFT porém o seu tempo de computação é muito menor [4 p.523-535]. Com os avanços computacionais de hoje, a FFT tornou-se uma ferramenta muito difundida em diversos

tipos de equipamento de medição que são utilizados nas mais diversas aplicações.

Com o analisador FFT de duplo canal da HP, é possível analisar o conteúdo em frequência de dois sinais distintos simultaneamente usando o sinal  $x(t)$  no canal A como sinal de referência e o sinal  $y(t)$  no canal B como o sinal de medição. Observe a figura 1:

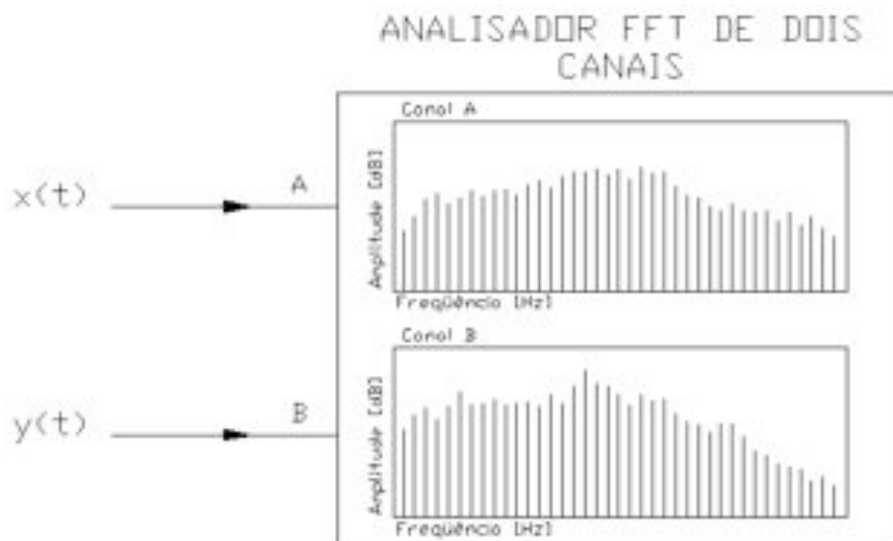


Figura 1. Visualizando o espectro de dois sinais distintos.

Através da figura 1, podemos observar que o sinal  $y(t)$  é diferente do sinal  $x(t)$ . Existe alguma “coisa” que a princípio não conhecemos e que está modificando o sinal  $x(t)$ , resultando em outro sinal:  $y(t)$ . Porém, se quisermos descobrir que dispositivo é este, fica difícil determinarmos com precisão a partir apenas deste gráfico. Isto é devido ao fato de não conseguirmos distinguir visualmente as diferenças entre os dois sinais, pois o sinal no canal A é um sinal “desconhecido”. Este tipo de análise é o que geralmente fazemos quando comparamos um sinal padrão cujo comportamento em frequência é conhecido (ruído rosa, por exemplo), com o sinal resposta visualizado na tela de um analisador de espectro.

Existe uma função matemática que pode nos ajudar a descobrir com melhor precisão o comportamento deste dispositivo o qual estamos analisando. Esta função é a função de transferência. Pela

teoria da engenharia de controle, as funções de transferência são funções matemáticas utilizadas para se caracterizar as relações de entrada e saída de sistemas lineares, as quais podem ser descritas pela seguinte relação matemática [5 p.60-64]:

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

Onde  $H(f)$  é a função de transferência,  $Y(f)$  é a FFT do sinal de medição  $y(t)$  e  $X(f)$  é a FFT do sinal de referência  $x(t)$ :

Podemos imaginar que a função de transferência  $H(f)$  é o objeto modificador do sinal fonte  $X(f)$ . A figura abaixo ilustra o nosso sistema físico:



Figura 2. Modelo do sistema físico no domínio da frequência.

Ou seja,  $Y(f) = H(f) \cdot X(f)$

Observa-se que  $Y(f)$  será sempre o sinal de entrada  $X(f)$  multiplicado pela função de transferência  $H(f)$ , para qualquer  $X(f)$ .

A mesma representação pode ser feita com as variáveis no domínio do tempo:



Figura 3. Modelo do sistema físico no domínio do tempo.

O que matematicamente é igual a  $y(t) = x(t) \star h(t)$ , onde  $x(t) \star h(t)$  representa a convolução de  $x(t)$  com  $h(t)$ , pois sabemos que uma

multiplicação no domínio da frequência implica em convolução no domínio do tempo e vice-versa. A convolução pode ser entendida como uma função matemática que fornece o valor presente da resposta do sistema linear dependendo do sinal no tempo passado, ponderado de acordo com a resposta impulsiva do sistema [3 p.293]. Não podemos esquecer que  $x(t)$  é o sinal de referência e  $y(t)$  é o sinal medido, ambos no tempo, e  $h(t)$  é a resposta impulsiva do sistema em estudo.

Com base no que dissemos anteriormente, tanto a resposta impulsiva  $h(t)$  quanto a função de transferência  $H(f)$  contém a mesma informação a respeito da dinâmica do sistema, porém, apresentadas de forma diferente. É possível obter a resposta impulsiva de um sistema excitando-o com um impulso e medindo-se a resposta. Na prática,  $h(t)$  é mais facilmente obtida através da transformada inversa de Fourier da função de transferência  $H(f)$ .

Então, para obter  $H(f)$ , precisamos calcular o quociente de cada componente frequencial das variáveis  $X(f)$  e  $Y(f)$ , por exemplo:

Para  $f=20\text{Hz}$ :

$$H(20) = \frac{Y(20)}{X(20)}$$

Para  $f=32\text{Hz}$ :

$$H(32) = \frac{Y(32)}{X(32)}$$

E assim sucessivamente para todas as frequências calculadas através da transformada de Fourier.

Vale ressaltar aqui porém que  $X(f)$ ,  $Y(f)$  e  $H(f)$  são números complexos, na forma:

$$H(f) = R(f) + jI(f)$$

Onde  $R(f)$  é a parte real,  $I(f)$  é a parte imaginária do número complexo  $H(f)$  e  $j^2 = -1$  é um número imaginário. A partir de  $H(f)$  podemos extrair matematicamente duas informações extremamente importantes para a nossa medição: a resposta de amplitude e a

resposta de fase do sistema. O gráfico constituído pela resposta de amplitude (magnitude) e a resposta de fase, ambos em relação à frequência é conhecido como diagrama de Bode (lê-se com a letra “o” fechada) [5 p.473-489].

A resposta de amplitude nós obtemos através do cálculo do módulo de  $H(f)$ , em dB:

$$|H(f)|_{LOG} = 20 \times \log \left( \sqrt{R(f)^2 + I^2(f)} \right)$$

Que é a magnitude do vetor  $H(f)$ . A resposta de fase nós obtemos através de:

$$\phi(f) = \arctan \left( \frac{I(f)}{R(f)} \right)$$

Que é o ângulo formado entre a abscissa e o vetor  $H(f)$ . A resposta de fase pode ser visualizada como sendo também a derivada da resposta de amplitude.

Concluimos então, que a partir da função de transferência  $H(f)$  nós obtemos: a resposta impulsiva, a resposta de amplitude e a resposta de fase que junto com a análise espectral constituem as quatro medições básicas realizadas pelo SIM.

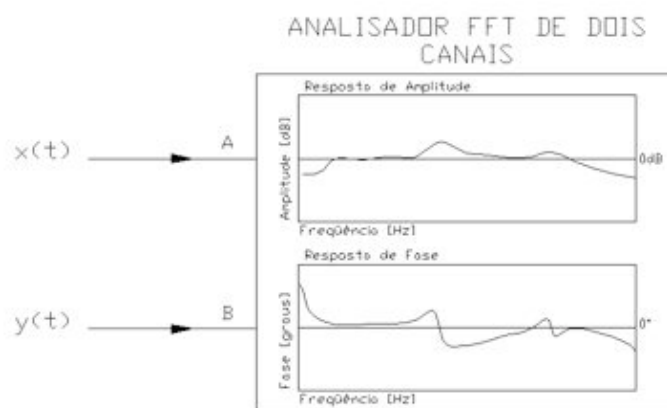


Figura 4. O analisador efetua o cálculo da função de transferência, mostrando a resposta de amplitude e resposta de fase da função de transferência entre os sinais dos canais A e B.

Porém, erros significantes podem ser encontrados devido às características típicas dos sinais musicais e contaminações com ruídos. Então, com o intuito de obter dados mais confiáveis, minimizando os erros e possibilitando uma melhor resposta, o SIM utiliza cinco algoritmos diferentes: [6]

- i) Limiarização do Sinal;
- ii) Média Vetorial;
- iii) Branqueamento Coerente;
- iv) Relação Sinal/Ruído;
- v) Transformadas de Q Constante.

## **2 ALGORITMOS DE TRATAMENTO DE SINAL**

### **i) Limiarização do Sinal**

Caso o sinal de referência  $x(t)$  seja muito baixo,  $H(f)$  poderá assumir valores muito altos, pois o denominador da equação  $H(f) = Y(f) / X(f)$  tenderá a zero. Para preservar a acuidade da função de transferência o sinal de referência amostrado é submetido à uma limiarização: sempre que a amplitude do sinal exceder o nível de limiar para uma determinada frequência  $X(f)$ , a função de transferência  $H(f)$  para aquela frequência é calculada e mostrada na tela. Isto evita que dados inválidos (não causais) sejam mostrados, melhorando a relação sinal-ruído.

Se  $x(t)$  for suficiente, teremos como resultado uma função de transferência válida, pois o sinal estará acima do limiar para todas as frequências de  $H(f)$ . Sempre que calcularmos duas ou mais funções de transferência  $H(f)$  para uma determinada frequência, o SIM calculará uma média. A limiarização serve para diminuir a contaminação dos dados no momento de se fazer a média. Já a média tem a função de melhorar a relação sinal-ruído.

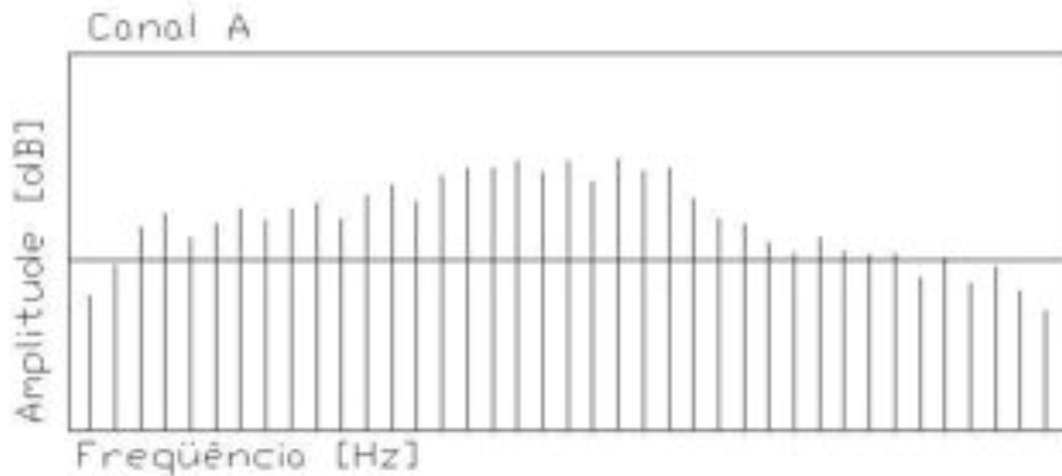


Figura 5. Observe a linha de limiar. As frequências com amplitude acima do limiar serão computadas, as outras não.

## ii) Média Vetorial

Como já foi dito anteriormente,  $H(f)$  é um conjunto de números complexos, onde cada número deste conjunto corresponde a uma determinada frequência. Agora, é possível interpretar um número complexo como sendo um vetor, contendo componentes reais e imaginários para cada frequência. Porém, sabemos que além de  $H(f)$  conter o sinal que desejamos medir, ele contém também ruído. Então, uma função de transferência  $H(f)$  é um vetor, composto pela soma de um vetor principal com vetores de ruído aleatórios:

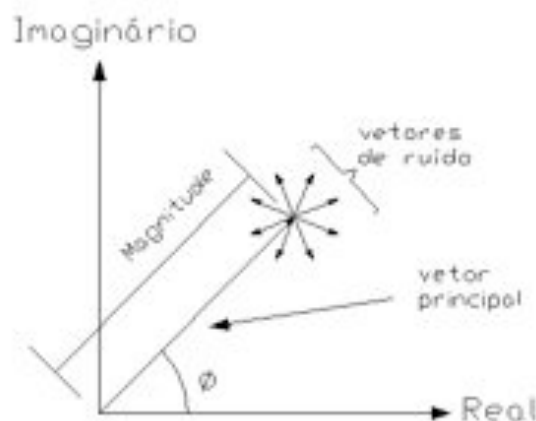


Figura 6. O vetor principal (sinal) e o ruído adicionado.



No método de média vetorial, as médias das partes reais e imaginárias de  $H(f)$  são calculadas simultaneamente a fim de medirmos uma correta amplitude e fase para uma determinada frequência. A média geométrica produz bons resultados para relações sinal-ruído no mínimo maiores que 3dB [7].

No SIM II, diversas funções de transferência são medidas e armazenadas para que possam ser depois calculadas as médias. Cada frequência possui uma memória FIFO (first in first out – primeiro a entrar, primeiro a sair) própria com 16 registradores. Concluindo, a função de transferência é calculada através dos seguintes passos: o sinal de referência é testado com relação ao limiar de sinal e onde o sinal excede o limiar, a função de transferência é computada e esta informação é guardada na memória. Quando ‘n’ médias forem alcançadas, onde ‘n’ pode ser 2,4,8 ou 16, é feita a média e o sinal é mostrado no display [8]. Após isso, esta função de transferência é submetida a um último teste, antes de ser realmente “aproveitada”. Este teste é o teste de coerência, explicado a seguir.

### iii) Branqueamento Coerente

O branqueamento coerente evita que a informação da resposta em frequência seja mostrado quando a coerência entre o sinal de entrada e o sinal de saída for baixo.

A coerência é dada por:

$$\gamma^2 = \frac{\text{potência de saída devido à entrada}}{\text{potência de saída total}}$$

Ou seja:

$$\gamma^2 = \frac{|G_{xy}|^2}{G_{xx} \times G_{yy}}$$

Onde  $G_{xx}$ ,  $G_{yy}$  é a densidade espectral de potência de  $X(f)$  e  $Y(f)$  respectivamente e  $G_{xy}$  é a densidade espectral de potência cruzada de  $X(f)$  com  $Y(f)$ . A densidade espectral de potência pode

ser entendida como sendo uma medida da potência rms de um sinal aleatório para cada frequência e a densidade espectral de potência cruzada pode ser entendida como sendo uma medida da relação entre a potência, em cada frequência, de dois sinais aleatórios diferentes.

A função de coerência fornece uma medida da correlação (similaridade) entre o sinal de referência e o sinal de medição para cada frequência. A coerência somente é definida para séries de medidas durante o tempo. A coerência pode ser degradada por ruído na saída ou por não linearidades no sistema em teste (ambos os casos são de aumento na potência de saída total). A coerência é boa quando o sinal de saída (medição) está relacionado, ou melhor, quando ele é similar ao sinal de entrada (referência). A coerência é uma função estatística, variando de 1 (sem contaminação) até 0 (100% de contaminação) [9].

A função coerência indica o número de médias que devem ser feitas a fim de se alcançar um desvio padrão pré-determinado; sendo assim, o seu limiar está totalmente dependente do número de médias:

Médias	Limiar (coerência)
2	0.90
4	0.60
8	0.40
16	0.02

Tabela 1. O número de médias indica o limiar da função coerência.

Quanto menor o número de médias calculadas, maior deve ser a coerência e quanto maior o número de médias calculadas, menor pode ser a função de coerência.

Sempre que “n” amostras válidas forem guardadas na memória FIFO de uma determinada frequência, é calculada a média e então a coerência. Onde a coerência ultrapassa o limiar (dependente do nº de médias), o valor da função de transferência naquela frequência é mostrado. Onde a coerência não atinge o limiar, o traço não é

mostrado na tela para aquela frequência, evidenciando à contaminação com ruído.

#### iv)Relação Sinal-Ruído

O SIM System II calcula a relação sinal-ruído através da função coerência:

$$SNR = \frac{\gamma^2}{1 - \gamma^2}$$

A relação sinal-ruído é a relação entre a potência de saída coerente e a potência de saída não coerente. Observa-se que a coerência e a relação sinal-ruído são funções equivalentes porém , a relação sinal-ruído apresenta valores mais familiares aos técnicos e engenheiros. A relação sinal-ruído diminui com o ruído, hum, reverberação, eco, distorção ou compressão dinâmica, que são formas de contaminação não correlacionadas com a entrada. Para coerências iguais a 1, a relação sinal-ruído tende a infinito (>100dB). Quando o sinal é igual ao ruído, a coerência é igual a 0,5 e a relação sinal-ruído é igual a 0dB. Onde a coerência é 0,1 a relação sinal-ruído é -20dB, mostrando que o ruído de saída é muito maior que o sinal de entrada.

#### v)Transformada de Q Constante

O SIM System II amostra os sinais de entrada a uma frequência de amostragem igual a 50 kHz , utilizando uma janela de 3ms (resultando em 250 pontos de amostra). Esta sequência de dados é então convolvida recursivamente utilizando-se um algoritmo especial (algoritmo de McClellan-Parks para filtros de resposta impulsiva finita - FIR) em oito bandas sucessivas abaixo da mais alta banda com intervalos cada vez maiores resultando em um intervalo de 640ms para a banda inferior (de 10Hz a 160 Hz).

O resultado final é que teremos uma resolução de frequência constante por oitava (48 frequências por oitava) que são usadas internamente pelo SIM, porém são mostradas na tela 24 pontos por oitava no máximo. Calcula-se então a transformada de Fourier para

cada banda de frequência determinada pelo algoritmo de McClellan-Parks. Este tipo de transformada ajuda a fazer com que o equipamento rejeite a interferência de reverberações longas e faz com que tenhamos uma resolução constante ao longo de todo espectro audível [10] [11].

Após todas essas explicações vocês podem estar fazendo uma pergunta: porque não utilizamos um analisador FFT convencional ao invés do SIM?

Os analisadores FFT são equipamentos de medição para uso geral, com centenas de parâmetros e configurações. O SIM possui toda capacidade matemática e física de medir as variáveis em questão com precisão e velocidade suficiente (sendo às vezes mais rápido que os equipamentos comerciais), com precisão de 64 bits, possibilitando mais ou menos 0,1dB de resolução. Algumas das técnicas como a média geométrica, a limiarização de medidas e o branqueamento coerente fazem com que o SIM informe dados mais precisos que outros equipamentos. Além disso, ele possui inúmeras funções e rotinas voltadas ao dia-dia do engenheiro de áudio, tornando o trabalho mais fácil, rápido e eficiente além de possuir todo o “hardware” necessário (amplificadores, chaveadores, etc).

Com o SIM é possível você efetuar medições com até 64 microfones independentes e mostrar simultaneamente resposta em frequência da sala, do equalizador e do sistema inteiro de cada um dos 64 ramos de medição (isto será melhor explicado no próximo ítem). Explicarei agora as principais medições possíveis de serem realizadas com o “SIM System II”, utilizando-se uma das três versões disponíveis.

### **3 AS TRÊS VERSÕES DO SIM**

A versão 2.0 do SIM System II é composta de um analisador de áudio SIM-2201, rodando o software versão 2.0. Este analisador, medindo quatro unidades de rack padrão, contém um computador padrão IBM-PC 486 e uma única placa DSP (processamento digital de sinais). Este sistema é otimizado para ser utilizado em laboratório, efetuando medições de áudio em ponto flutuante de 32

bits, com range dinâmico maior que 100dB (o range é maior devido a possibilidade de se escolher o ganho dos canais). O equipamento permite a medição de duas entre quaisquer uma das três entradas de sinal disponíveis (uma entrada de microfone com alimentação +48V e duas entradas de linha isoladas e balanceadas). O SIM-2201 incorpora também um gerador de sinais de precisão controlado via software e painel frontal, com as seguintes possibilidades: ondas senoidais, ruído rosa e pulso. Nele encontramos também medidores de nível (VUs) para cada uma das três entradas, um disco rígido removível, uma unidade de disco flexível, saídas para monitor colorido, mouse e impressora e conectores multipino para conexão com as interfaces. Uma saída de fone de ouvido é fornecida para que se possa monitorar o sinal de qualquer um dos três pontos de medição. O software é muito simples de ser utilizado (baseado em ambiente DOS) e os dados medidos podem ser impressos, armazenados em disco ou exportado para arquivos padrão ASCII (“American Standard Code for Information Interchange”).

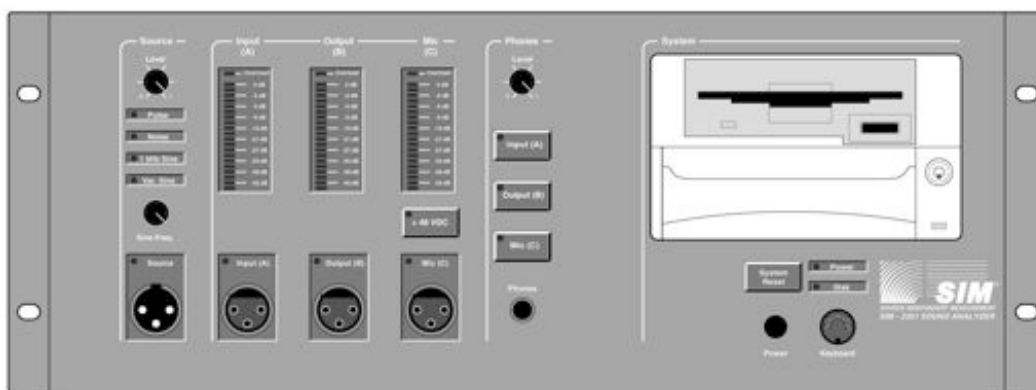


Figura 7. Painel frontal do SIM System II – 2201.

A versão 2.3s do SIM System II é muito parecida com a versão anterior porém possui dois cartões de processamento digital (DSP) a mais que a versão 2.0 e o software é outro, versão 2.3s. Um cabo para conexão estéreo é adicionado ao sistema, possibilitando a medição de até dois ramos de áudio simultaneamente. Com esta versão é possível medir e mostrar três funções de transferência ao mesmo tempo (por isso a presença dos três DSP).

Já a versão 2.3m do SIM é parecida com a anterior porém utiliza um cartão de conexão para controlar de uma a oito interfaces SIM-2403, ocupando duas unidades de rack e podendo medir até oito ramos de áudio distintos cada. Esta versão é mais sofisticada e flexível. Na sua capacidade máxima, o SIM II V2.3m possibilita a medição de 64 microfones (utilizando oito interfaces SIM-2403) e mostra simultaneamente medições em tempo real da sala, do equalizador e do sistema equalizado para cada um dos 64 ramos possíveis. O chaveamento, roteamento e silenciamento de determinados ramos é controlado pelo analisador 2201 e efetuado pela interface 2403. A capacidade de medição de múltiplos pontos torna o SIM System II V2.3m a ferramenta mais completa e poderosa para análise de sistemas acústicos complexos.

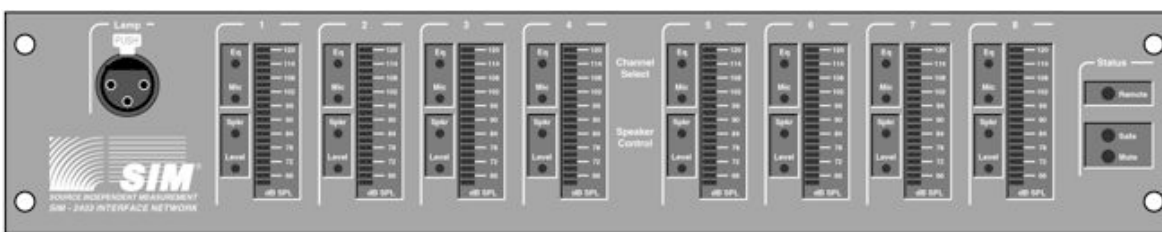


Figura 8. Painel frontal do SIM System II – 2403.

#### 4 OS MODOS DE MEDIÇÃO

A estrutura de medição do SIM é baseada em um modelo físico, seguindo uma arquitetura e uma nomenclatura comum a qualquer sistema de áudio. Este modelo é baseado em uma caixa de som em uma sala (objeto submetido à medição) com um microfone de medição. Um equalizador paramétrico (dispositivo de correção) é adicionado ao sistema, conectado em série com o sinal de entrada. Este sinal pode ser tanto uma fonte musical qualquer como também sinais como ruído rosa, senóides e pulsos. O analisador de áudio 2201 possui três entradas de áudio que podem ser ligadas ao sistema. As entradas são designadas por: input - A (entrada-A), output - B (saída - B) e microphone - C (microfone - C).

Este modelo pode ser melhor visualizado pela figura 9:

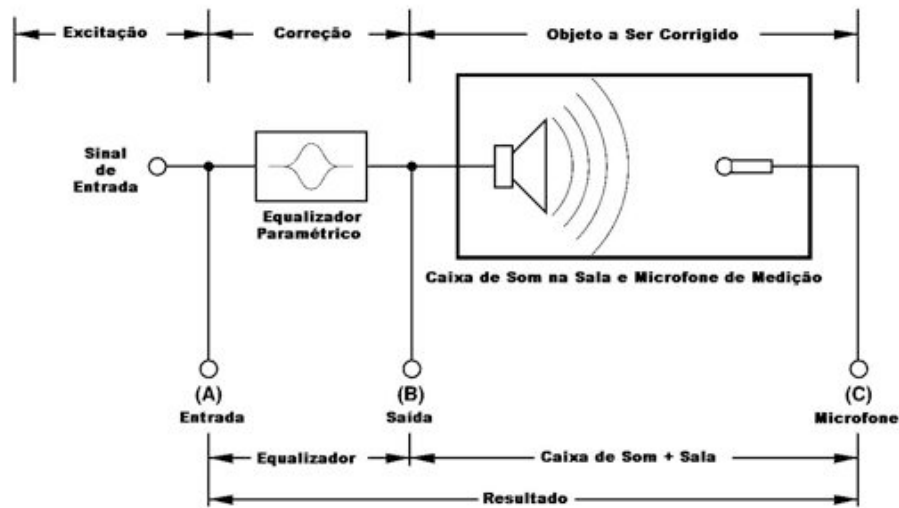


Figura 9. Modelo do sistema de medição da resposta da caixa de som em uma sala, utilizando o equalizador paramétrico para corrigir a sua resposta.

O SIM apresenta quatro modos básicos de medição: analisador de espectro, medidor de atraso (delay) e medidor de resposta em frequência.

## 5 SPECTRUM ANALISER (ANALISADOR DE ESPECTRO)

O SIM pode mostrar o conteúdo espectral de dois sinais ao mesmo tempo. A resolução é de 1/6 de oitava (fixa) e de  $\pm 0.1$  dB. Você pode visualizar o espectro de qualquer um dos três sinais de medição, tomados de dois em dois. Ou seja, você pode medir a entrada do equalizador mais a saída ou, a saída e o microfone ou, a entrada do equalizador e o microfone, possibilitando a checagem da presença e do comportamento espectral dos três canais. O modo de análise de espectro pode ser utilizado para se medir distorções no sistema, teste de máximo nível de saída e ruído de fundo, através da medição do THD que o SIM mostra como uma porcentagem em relação à amplitude da fundamental. A THD é medida através do cálculo da potência das primeiras nove harmônicas. Recursos de cursores com indicação de THD, nível relativo em dBV e frequência, facilitam estes tipos de análise.





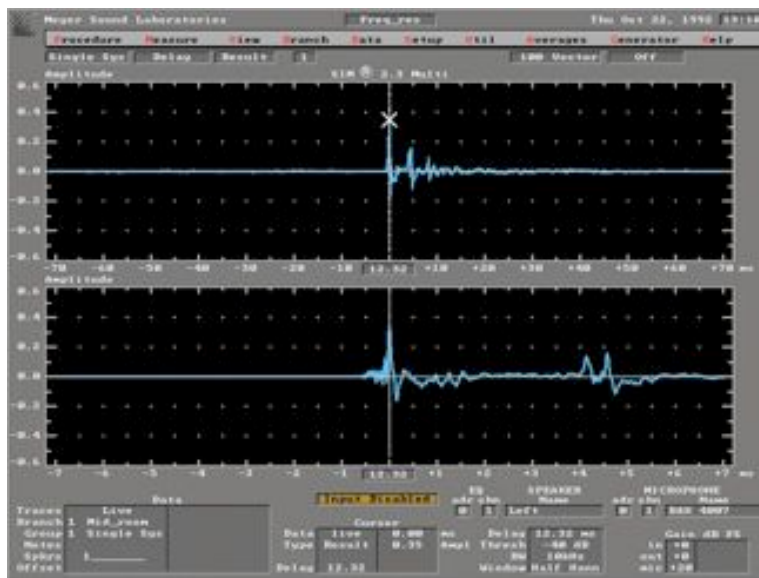


Figura 11. Tela do Analisador de Atraso. Observe que a tela inferior contém a mesma informação que a tela superior porém com a escala de tempo igual a um décimo da superior.

## 6 ANÁLISE DE RELAÇÃO SINAL-RUÍDO

Como já foi explicado, o cálculo da relação sinal-ruído é obtido através da função coerência. O SIM apresenta o gráfico da relação sinal-ruído + distorção para cada frequência em decibéis, na mesma janela em que ele mede a resposta em frequência do sistema. Assim, podemos avaliar os pontos ou frequências onde ocorre distorção, ruído ou por exemplo um filtro pente (“comb filter”) [12 p259]. As frequências onde a relação sinal ruído é baixa são pontos onde a coerência (ou similaridade) entre o sinal de medição e o sinal de referência é baixa.



Figura 12. Medição de resposta em frequência de um gravador de fita analógico, mostrando a relação sinal-ruído + distorção pelo traço superior.

## 7 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

No modo de resposta em frequência, o SIM-2201 mostra a resposta de amplitude, resposta de fase e coerência (ou relação sinal-ruído) da função de transferência entre qualquer umas das combinações entre as três entradas de medição. Três tipos de medição de resposta em frequência podem ser selecionados:

- A resposta do sistema caixa de som + sala que é a resposta do sistema não equalizado já que esta medição pode ser somente modificada através da alteração das configurações da caixa ou do ambiente. Esta medição é feita comparando-se o sinal do microfone com o sinal de saída do equalizador.
- A resposta do equalizador que é medida através da comparação do sinal presente na saída do equalizador com o sinal da entrada do equalizador.

- A resposta do resultado que é a comparação do sinal do microfone com o sinal da entrada do equalizador. Esta resposta é a resposta do sistema final ou seja, do sistema corrigido.

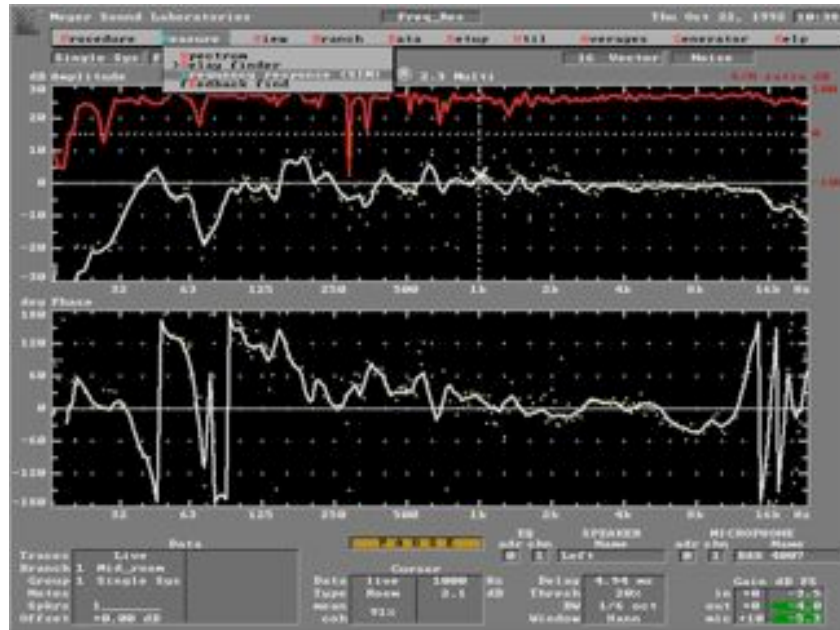


Figura 13. Um exemplo da resposta em freqüência de uma caixa de som (caixa de som + sala). Observe o comportamento da amplitude e da fase.

Os dados da resposta em freqüência são mostrados em duas janelas, com a coerência (relação sinal-ruído) e a amplitude na tela superior e a fase na tela inferior. No sistema versão 2.3 (múltiplos canais) é possível observar as três respostas ao mesmo tempo sendo que a resposta do equalizador pode ser substituída pelo inverso da resposta do equalizador a fim de facilitar o ajuste dos parâmetros do equalizador para que estes casem com as aberrações de fase e amplitude encontradas na resposta do sistema caixa de som + sala.

Eu tenho tido o prazer de utilizar o SIM à aproximadamente dois anos. A cada nova experiência, o SIM System II vem provando ser uma ferramenta muito valiosa tanto no laboratório quanto em espetáculos ao vivo. O que mais aprecio neste equipamento é poder confrontar as medições com as condições físicas dos ambiente e do

sistemas de som. Para saber mais sobre o SIM System II visite a página da Meyer Sound: <http://www.meyersound.com>

Gostaria de agradecer à Meyer Sound Laboratories, que através do seu diretor de vendas para a América Latina, Scott Gledhill, cedeu gentilmente as figuras de número 10 à número 13.

Fernando Rodrigo Fortes técnico em eletrônica e estudante do último ano do curso de Engenharia Elétrica na Unicamp, com certificado de estudos em Engenharia de Som. É também operador certificado do SIM, com curso na Meyer Sound Laboratories, Berkeley – Califórnia. Atualmente presta serviços como técnico à Loudness Sonorização. e-mail: fortes@fee.unicamp.br.

## REFERÊNCIAS:

- [1] D. Carolyn, D. Don, *Sound System Engineering*, Indiana: Howard W. Sams & Co., Inc., 1975, p. 52-75.
- [2] J. Meyer, “Equalization Using Voice and Music as the Source”, Preprint 2150, 76<sup>th</sup> Audio Engineering Society Convention, NY, October, 1984.
- [3] E. Kreyszig, *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [4] S. J. Mitra, “*Digital Signal Processing – A Computer-Based Approach*”, New York: McGraw-Hill, 1998.
- [5] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [6] J. Meyer, “Precision Transfer Functions Measurements Using Program Material as the Excitation Signal”, *Proceedings of the AES 11<sup>th</sup> International Conference, Audio Test & Measurement*, 1992, Audio Engineering Society.
- [7] J. Schoukens, R. Pintelon, “Measurement of Frequency Response Functions in Noisy Environments”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 39, No. 6, December 1990.

- [8] *SIM System II v. 2.0 Lab Operation Manual*, release 5.1 of the system software, Meyer Sound: 1994.
- [9] S. Haykin, “*Communication Systems*”, 3<sup>rd</sup> edition, New Baskerville, John Wiley & Sons, 1994, p.252-264.
- [10] G. W. Schwede, “An Algorithm and Architecture for Constant-Q Spectrum Analysis”, *IEEE – ICASSP*, 1983, p. 1384-1387.
- [11] K. B. Ginn, “1/n-octave Analysis Using the Multichannel Analysis System Type 3550”, *Application Notes*, Brüel e Kjaer, Denmark.