

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE AMBIENTES

*Paulo César Machado de Abreu Farias**

*Iuri Pêpe***

RESUMO — Neste trabalho propomos um sistema automatizado para caracterização de ambientes, sejam eles pequenas salas ou auditórios. Nosso instrumento faz uso das facilidades computacionais de um computador tipo IBM PC, com a comunicação efetuada via porta paralela. O projeto eletrônico foi baseado inteiramente em componentes comuns, utilizados em configurações tradicionais. Dessa forma, toda a complexidade foi transferida para o programa gerenciador. As características predominantes do sistema são a sua simplicidade no que diz respeito aos circuitos eletrônicos, a facilidade de fabricação e manutenção do módulo eletrônico, além de apresentar uma interface homem-máquina amigável e de operação intuitiva. Além de servir à caracterização acústica, o equipamento desenvolvido também pode ser utilizado para o teste de filtros de áudio e para a determinação dos parâmetros característicos de alto-falantes.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização acústica; Instrumentação; IBM PC.

ABSTRACT — In this work, we propose a fully automated system with hardware and software, capable of analysing the acoustical characterization of ambient sound, going from a simple living room to large theatres. Our instrument is connected to an IBM PC, by the standard parallel port, and uses the display, control and calculation facilities of this equipment. The electronic project was completely based on common and inexpensive components, used in classical configurations, the complexity was transferred to the supervisory program inside the computer. The predominant characteristics of the system are: its simple electronic circuit, easy production and maintenance, present a friendly man-machine interface with intuitive operation. Besides the acoustic characterization of ambient sound, our equipment can also be used for testing audio filters and determining characteristic parameters of electro-acoustic audio drivers.

KEY WORDS: Acoustic characterization; Instrumentation; IBM PC.

* Prof. Assistente, Área de Informática, Dep. de Exatas (UEFS).
E-mail: pcmaf@uefs.br

** Prof. Adjunto do Instituto de Física (UFBA). Mestre em Engenharia Elétrica (UFBA). E-mail: mpepe@ufba.br

INTRODUÇÃO

Uma das grandes dificuldades que os profissionais de áudio enfrentam, ao tentar equalizar seus equipamentos em um dado ambiente, é a obtenção de um meio seguro e efetivo que possibilite ao operador conhecer a resposta em frequência desse ambiente. Muitas vezes este ajuste se baseia em critérios pessoais que, obviamente, variam de acordo com a sensibilidade acústica e estética de cada operador. Entretanto, quando se opta pela aquisição de um equipamento como um analisador de espectro, com uma resolução melhor que 31 canais, que é a resolução usualmente encontrada no mercado, o custo muitas vezes é proibitivo. Além do mais, a quase totalidade dos equipamentos de mercado são bons para uma ou, no máximo, duas aplicações: caracterização acústica de ambientes e levantamento de curva característica de equipamentos de áudio.

Este trabalho, realizado em colaboração com o Laboratório de Propriedades Óticas (LaPO), no quadro da criação e da consolidação do Laboratório de Instrumentação Científica (LIC) do Instituto de Física da UFBA, teve o objetivo de desenvolver um sistema capaz de fazer a caracterização acústica de ambientes, a caracterização de dispositivos eletro-acústicos e de equipamentos de áudio com custo inferior e performance superior à clássica solução dos analisadores de espectro. O sistema devia ter uma arquitetura versátil e flexível, servindo à caracterização de diferentes sistemas relacionados à área de áudio, colocando a informação obtida à disposição do usuário de forma clara, de fácil interpretação e permitindo uma pós-análise. O sistema devia ser dotado de uma capacidade de armazenamento que tornasse a aquisição dos espectros confortável para o operador.

Inicialmente, foram desenvolvidos os circuitos eletrônicos (*hardware*) que formam o equipamento. Esses circuitos têm como característica a simplicidade, a utilização de componentes comuns, o baixo custo e a flexibilidade, já que permitem a varredura em frequência e a aquisição automatizada da resposta acústica, transferindo os dados ao computador via porta paralela. O detalhamento desse experimento pode ser observado em FARIAS (1999).

Na concepção do programa de gerência e aquisição de dados (*software*), buscou-se desenvolver uma interface amigável, capaz de simular certas funções e atributos próprios ao circuito

eletrônico, que substituísse circuitos por linhas de código, simplificando, sensivelmente, o *hardware*.

O desenvolvimento da pesquisa teve como fundamentação bibliográfica BERANEK (1961), PENA (1974), BADMAIEFF & DAVIS (1981), MOHAN *et al* (c1989), STREMLER (1990), SEDRA & SMITH (1991), KUO (c1992), JOHNSON (1994), O'NEIL (1996), AXELSON (1997), CANTÚ (1997), PEACOCK (1998) e SOUZA (1998).

DESENVOLVIMENTO

O Hardware

A figura 1 apresenta o diagrama de blocos do *hardware* do sistema. O circuito pode ser dividido em três blocos funcionais: (a) a cadeia analógica que executa funções de condicionamento nos sinais de entrada; (b) o bloco formado pelo ADC e pelo gerador digital de senóides e o bloco de interface com a porta paralela, que isola o circuito do IBM PC.

Existem dois diferentes sinais de entrada no nosso modelo: o sinal de áudio gerado por um microfone ou por um decibelímetro; e o sinal de realimentação (*feedback*) da frequência. Esses sinais passam por uma cadeia de condicionamento antes de serem digitalizados.

O sinal de áudio é inicialmente amplificado e retificado, para ser então filtrado. O ADC recebe o sinal dc proporcional à intensidade sonora, digitaliza e armazena a informação em um *buffer* para ser lida via porta paralela.

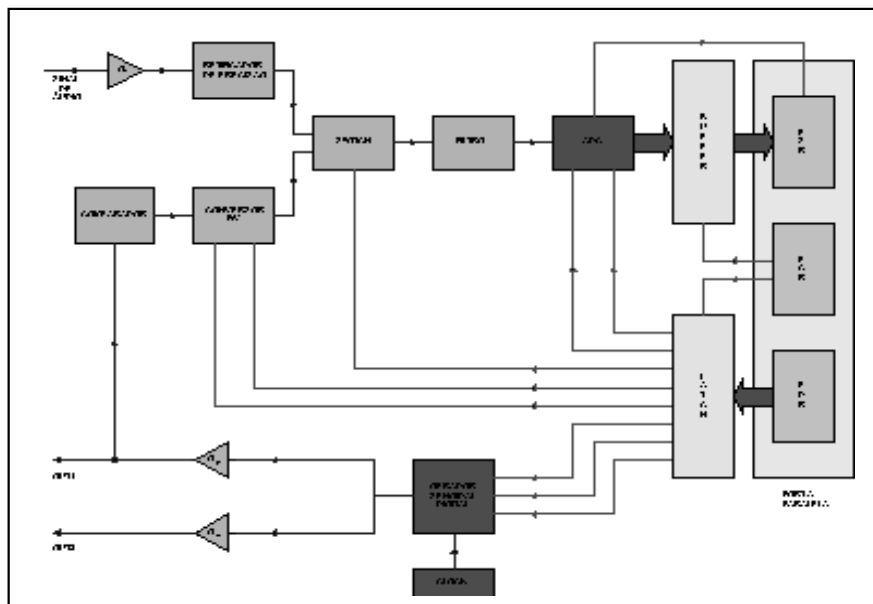
Uma amostragem do sinal de frequência é feita em uma das saídas. A amostra senoidal é quadrada e aplicada a um conversor frequência-tensão. O sinal de saída desse circuito passa por uma filtragem e fica pronto para a digitalização, podendo ser lido pelo computador. Cabe, aqui, observar que, para evitar a duplicação de circuitos, essa etapa do tratamento do sinal é feita pelos mesmos elementos da cadeia responsável pelo condicionamento do sinal de áudio. Uma chave analógica controlada pelo programa de aquisição se encarrega de fazer a seleção dos sinais a serem tratados.

O equipamento possui um gerador digital de senóides que pode ser programado pela porta paralela. O sinal de saída do

gerador foi dividido em dois, os quais são aplicados simultaneamente a um amplificador operacional e a um amplificador integrado de áudio, próprio para cargas de 8 Ω . Os sinais de saída desses amplificadores podem ser ajustados em ganho e foram colocados à disposição do usuário, ligados a um par de conectores montados no painel do aparelho.

O bloco de interface com a porta paralela faz a adequação lógica dos sinais presentes no padrão *Centronics*, que foi projetado para impressoras, de forma a serem utilizados pelo nosso modelo.

Figura 1



O Software

Para chegarmos ao programa gerenciador do sistema, foram seguidas duas premissas durante o processo de desenvolvimento. Esse programa devia possuir uma interface amigável em relação ao usuário, com orientação a eventos e uma apresentação baseada em ícones. O algoritmo desenvolvido devia ser eficiente e versátil, contribuindo para a simplificação do *hardware*.

Uma primeira tentativa de implementação do *software* foi feita utilizando o ambiente de programação LabVIEWTM, da

National Instruments™. Essa ferramenta permite a criação de sistemas aquisição de dados e controle de forma rápida e simples, uma vez que é totalmente orientada para instrumentação científica. O ambiente LabVIEW™ possui objetos prontos que executam funções de acesso ao *hardware*, controle, tratamento de sinais etc. Outra vantagem desse pacote é a linguagem usada, os programas são montados como diagramas de fluxo de sinal, onde são usados objetos sob forma gráfica e não linhas de código.

Apesar dessas vantagens, a versão utilizada no desenvolvimento não permitia a compilação do código gerado. Portanto, o IBM PC, que estivesse conectado ao equipamento, deveria, necessariamente, possuir o LabVIEW™ instalado para a interpretação do *script* de comandos. Essa limitação forçou a busca de outra solução para a implementação do sistema gerenciador.

A alternativa natural foi a utilização do Borland C++ 4.5, uma vez que todo o *software* de controle de baixo nível já estava implementado nessa linguagem, faltando somente o código de interface com o operador. Infelizmente, dificuldades ligadas ao processo de criação de objetos gráficos, próprias desta linguagem, tornaram o ritmo de desenvolvimento extremamente lento. Seria, portanto, impossível terminar dentro do prazo planejado, o que determinou o abandono dessa linguagem de programação.

A esta altura, já estava claro que a melhor opção seria a adoção de uma ferramenta do tipo *RAD (Rapid Applications Development)*, a exemplo do *C Builder* ou o *Delphi*. Estes ambientes oferecem uma série de facilidades, a exemplo de objetos com as mais diversas características, prontos para o uso. Para fazer uso de um desses objetos, basta arrastar e soltar (*drag and drop*) o ícone no formulário do projeto. Essas ferramentas também oferecem uma linguagem consistente, respectivamente, o C++ e Object Pascal, compilada e com orientação a objetos.

O ambiente selecionado foi o *Delphi*, pois a quantidade de usuários e a bibliografia disponível, na ocasião da escolha, eram mais abundantes que no caso do *C Builder*. Apesar de tais vantagens, houve necessidade de tradução do código já escrito em C++ para Object Pascal.

Na figura 2, está representado o fluxograma principal do programa gerenciador. Ele pode ser dividido em três partes:

programação na interface da senóide que será injetada no sistema sob medição, aquisição da resposta e atualização do gráfico. Esses passos são repetidos continuamente, até que a faixa de frequências, estabelecida pelo usuário, seja totalmente coberta. Ao término, os dados são salvos para um eventual tratamento posterior. Além desse algoritmo, o programa possui também algumas facilidades para o operador tais como: passo da varredura em frequência ajustável, pausa na aquisição, silenciamento temporário e identificação automática do endereço da porta paralela.

Figura 2 – Fluxograma do algoritmo principal do programa gerenciador.

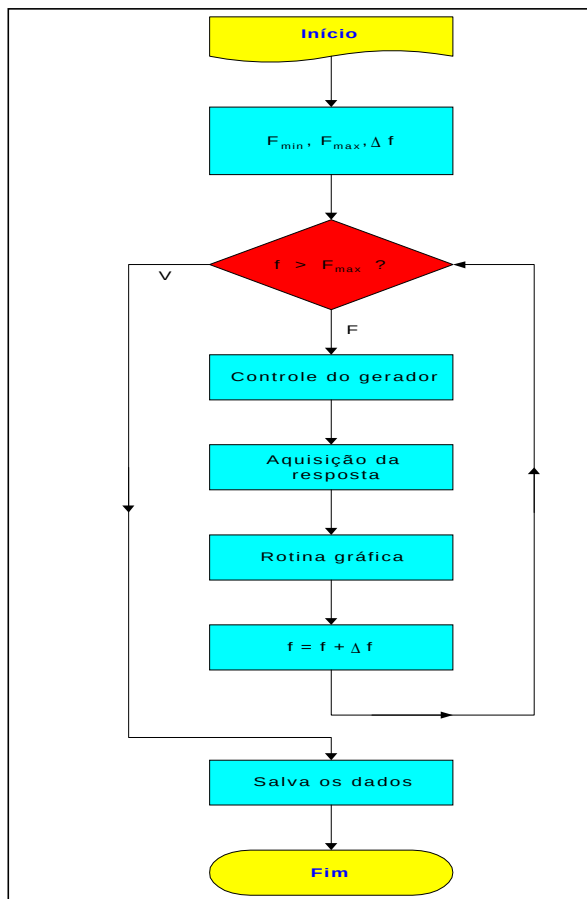
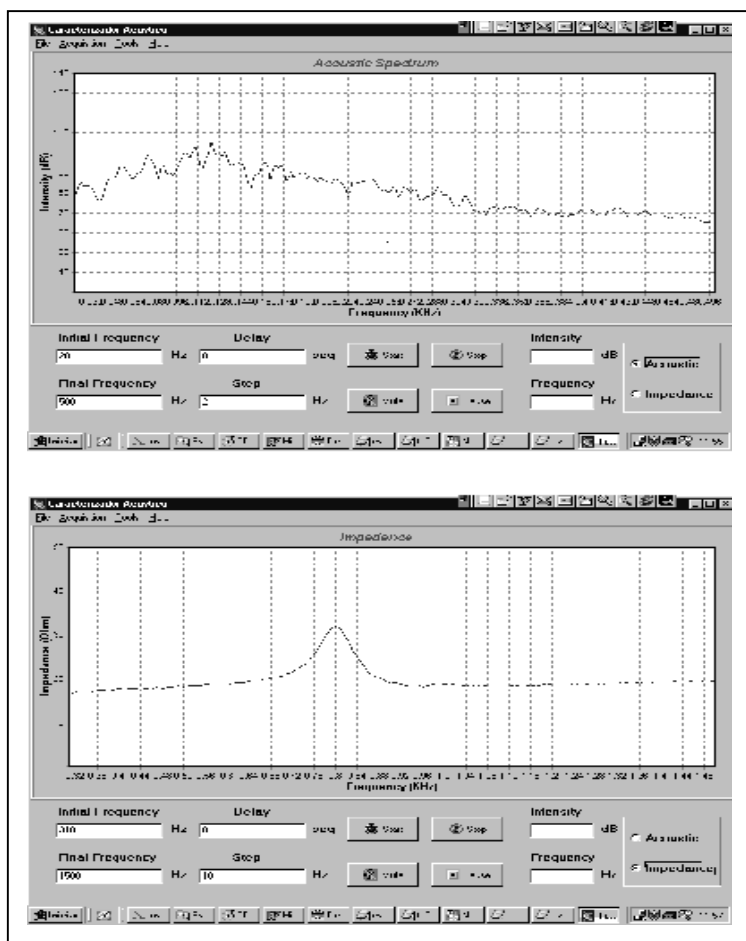


Figura 3 – Telas de interface com o usuário.



Na figura 3, são apresentadas as telas de interface com o usuário. No desenvolvimento dessa interface, buscou-se um sistema que permitisse uma comunicação clara com o usuário e cuja operação fosse intuitiva. Entre as facilidades incorporadas ao programa, estão a possibilidade de expandir trechos do gráfico (*zoom*), a alteração da escala do eixo de frequências entre linear e logarítmica e a mudança do eixo de intensidades para alternar entre as escalas de resposta acústica e impedância.

RESULTADOS

Caracterização de alto-falantes

O sistema pode ser utilizado com eficiência na determinação da característica de impedância de alto-falantes, em função da frequência. Essa facilidade torna o equipamento muito útil para profissionais de áudio, que necessitam medir estas características para projetar os seus sonofletos.

Para testar o nosso equipamento, foram feitas medidas em diferentes sistemas, sob diferentes condições, analisando o seu comportamento. O *setup* experimental consistia em uma resistência e a carga do alto-falante em série, formando um circuito divisor de tensão. Como a resistência foi escolhida de forma a ter sempre um valor muito mais alto que a impedância do alto-falante, a corrente do circuito é aproximadamente constante. Dessa maneira, pode-se considerar, com boa aproximação, que a tensão medida nos terminais do alto-falante tem a mesma característica dinâmica da sua impedância.

Na figura 4, apresenta-se o espectro de impedância de um alto-falante ao ar livre. Essa curva mostra um pico de ressonância em torno de 800 Hz, seguido por um crescimento monotônico. O resultado obtido mostra o comportamento típico para esse tipo de medida, podendo ser utilizado para determinar frequência de ressonância ao ar livre do alto-falante e seu fator de qualidade Q. Esses são dois dos parâmetros de *Thiele-Small*, usados pelos projetistas para determinar o comportamento dos alto-falantes dentro do sistema sonofletor.

Figura 4 - Espectro de um alto-falante ao ar livre.

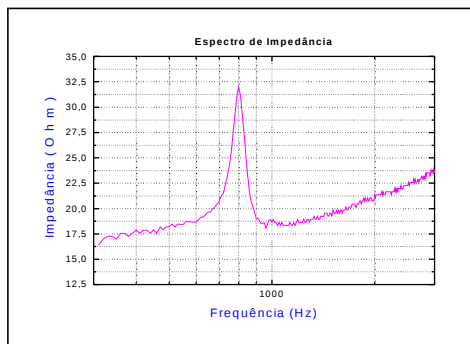
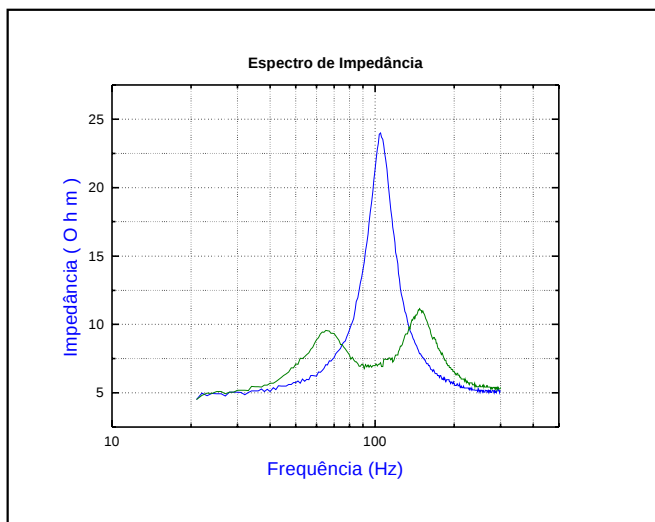


Figura 5 - Espectro de um alto-falante ao ar livre (em azul) e confinado na caixa (verde).



Em seguida, foi feito o estudo comparativo do comportamento de um outro alto-falante, sob duas situações distintas. O primeiro espectro de impedância foi adquirido com o alto-falante ao ar livre, e depois, ao ser utilizado em um sonofletor tipo refletor de graves (*bass-reflex*).

Observando a figura 5, identifica-se, pela cor azul, o espectro do alto-falante ao ar livre. Como no caso da figura 4, há exibição de uma única ressonância, uma vez que um alto-falante pode ser modelado como um sistema massa-mola, onde a massa do cone é a carga, e o sistema de suspensão é a mola. O outro espectro, na cor verde, corresponde ao sonofletor completo, onde duas ressonâncias podem ser observadas.

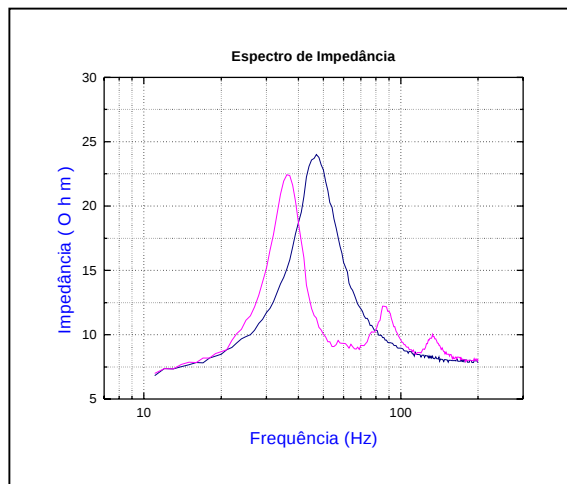
O aparecimento dessas duas cristas é resultado da dinâmica interna do sonofletor tipo *bass-reflex*. Nessa configuração, um pórtilco sintonizado é criado na caixa de som. Esse duto sonoro pode defasar em 180° a onda sonora posterior, que é criada em oposição de fase com a onda anterior. Dessa forma, passa a existir uma interferência construtiva entre as duas radiações, reforçando a resposta acústica nos graves.

Esse sistema pode ser modelado como um oscilador massa-mola acoplado, onde massa do cone e o sistema de suspensão do alto-falante estão associados a um sistema menor, composto pela massa e pela compliância do ar confinado no pórtilco. A compliância pode ser definida como o inverso da constante de elasticidade (k) de uma mola. Esse modelo é capaz de explicar o porquê das duas ressonâncias. Elas correspondem aos dois modos normais de vibração do oscilador acoplado.

O terceiro caso traz a avaliação do comportamento do alto-falante ao ar livre, em função da variação do peso do cone. Este tipo de medição é importante, pois fornece um meio efetivo de determinar o terceiro elemento do conjunto de parâmetros de *Thiele-Small*. Esse parâmetro, chamado de *volume equivalente de compliância* do alto-falante, estabelece um volume de ar que possuiria a mesma compliância do alto-falante em estudo. Essa forma de representação da compliância é mais adequada para o procedimento de projeto.

A técnica de medição, conhecida como *método da adição de massa*, consiste em adquirir dois espectros de impedância do alto-falante ao ar livre. Na primeira situação, o espectro é tomado com o alto-falante livre, como foi feito para determinar a sua frequência de ressonância e o fator de qualidade Q . Em seguida, alguns blocos de peso aferido são adicionados ao cone, aumentando a sua massa. O espectro de impedância, adquirido em seguida, possui uma frequência de ressonância mais baixa, uma vez que a massa do sistema aumentou. Essa nova frequência de ressonância deve ser, pelo menos, 25% menor que a frequência original. Dessa forma, é possível calcular a compliância do alto-falante, através dos dados adquiridos e de uma simples equação. Com o valor calculado da compliância, e conhecendo-se a área efetiva do cone, pode-se determinar o volume equivalente do alto-falante. O resultado das aquisições está no gráfico da figura 6. O espectro na cor azul pertence ao alto-falante original, e o espectro em magenta, ao alto-falante com massa adicionada.

Figura 6 - Espectro de um alto-falante com o peso do cone variável.



Teste de Filtros

O segundo ensaio realizado foi de teste dos canais do equalizador gráfico TE-210 de fabricação TARKUS. O experimento visava testar os filtros de saída do equalizador, medindo o seu ganho e a frequência central.

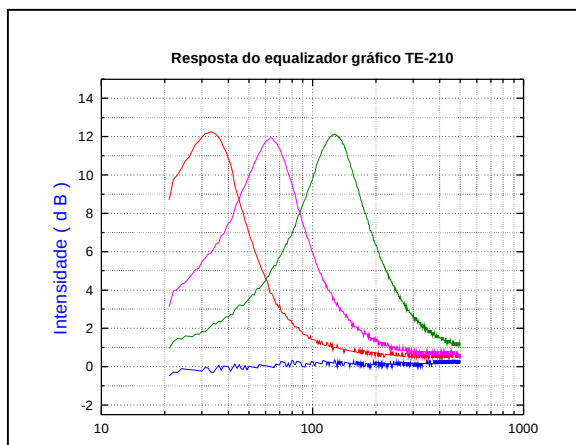
Para executar a medida, o equalizador foi conectado ao equipamento através de uma carga ôhmica. Como a carga puramente resistiva não introduz nenhuma dinâmica no sinal do equalizador, o espectro medido efetivamente corresponde ao sinal do gerador de senóides modelado pelo filtro do equalizador.

A primeira parte da medida fez a varredura da faixa de frequências entre 20 Hz e 500 Hz, em intervalos de 1 Hz. Dentro desse intervalo, foram executadas quatro aquisições, variando a relação de ganho entre as canais. Os espectros resultantes estão agrupados na figura 7.

No espectro em cor azul da figura 7, todos os canais foram ajustados para 0 dB de ganho, ou seja, ajuste *flat* (plano). Em seguida, cada canal foi alternadamente ajustado para dar um ganho de 12 dB em sua frequência central. O resultado pode

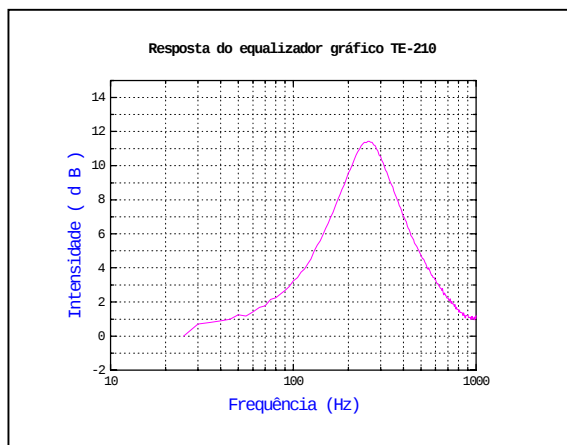
ser conferido na figura 7, onde o espectro vermelho mostra o canal de 32 Hz, o espectro magenta mostra o canal de 63 Hz, e o canal de 125 Hz é apresentado em verde.

Figura 7 - Espectro de saída do equalizador gráfico TE-210 entre 20 Hz e 500Hz.



Em seguida, foi feita a varredura do intervalo entre 20 Hz e 1 kHz em passos de 1 Hz, para analisar o canal de 250 Hz. O resultado está no gráfico da figura 8. Esse canal está com um nível de saída cerca de 12 dB acima dos outros canais, como era esperado.

Figura 8 - Espectro de saída do equalizador gráfico TE-210 entre 20 Hz e 1 kHz.



Para finalizar este ensaio, foi repetido o procedimento para analisar os canais de 500 Hz e 1 kHz. O equipamento foi programado para executar as aquisições entre 20 Hz e 2 kHz, com passos de 5 Hz, para caracterizar o canal de 500 Hz e entre o canal 20 Hz e 5 kHz, com passos de 10 Hz, para o teste do canal de 1 kHz. Em cada uma das aquisições, o canal em teste foi ajustado para o ganho de 12 dB, mantendo os demais canais com o ganho *flat* em 0 dB. O resultado das aquisições pode ser avaliado nos gráficos das figuras 9 e 10.

Figura 9 - Espectro de saída do equalizador gráfico TE-210 entre 20 Hz e 2 kHz.

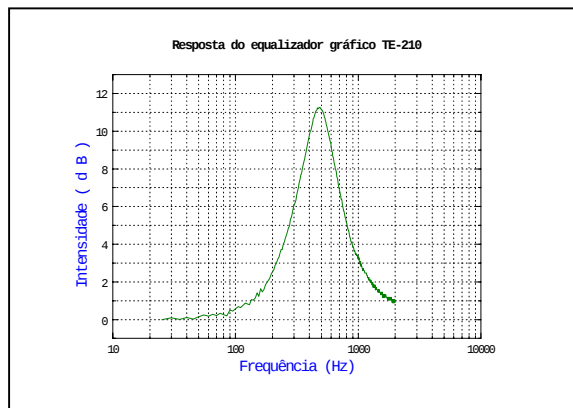
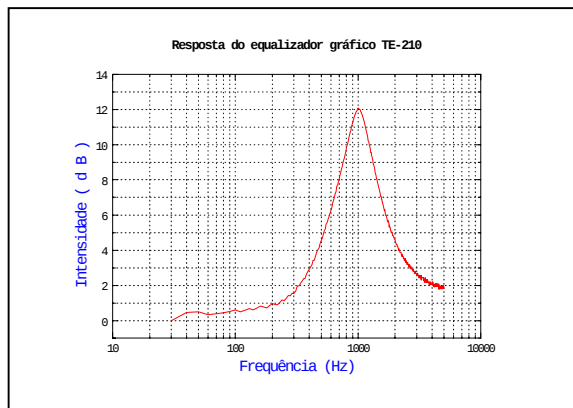


Figura 10 -Espectro de saída do equalizador gráfico TE-210 entre 20 Hz e 5 kHz.



Os resultados desses dois ensaios mostram a utilidade do nosso equipamento, no processo de desenvolvimento de equipamentos e/ou no teste de filtros comerciais para áudio. Essa aplicação pode ser estendida a toda a gama de produtos e circuitos ativos e passivos de áudio, onde se faça necessário uma espectroscopia de alta resolução, hertz a hertz, ou simplesmente uma avaliação de rotina.

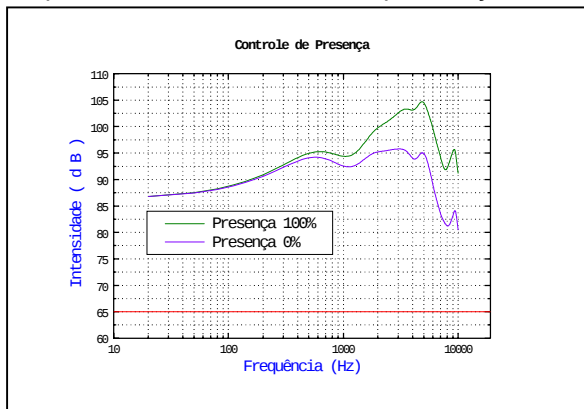
Caracterização acústica de um sistema de som

O terceiro e último ensaio realizado foi a caracterização de um conjunto de caixas de som comercial, de fabricação Yamaha, instalado no nosso laboratório. Este equipamento compõe-se de um *sub-woofer* para as baixas frequências e duas caixas-satélite de médio-grave e agudo. Os dois blocos podem ser ligados separadamente, com controles de intensidade próprios.

O *setup* experimental foi montado, colocando o decibelímetro frontalmente ao sistema de caixas de som, à 75 cm de distância. O decibelímetro foi colocado em um modo de ponderação em frequência que privilegia a faixa de frequências entre 500 Hz e 10 kHz, onde o ouvido humano é mais sensível. Antes de começar as aquisições, foi medido o nível de ruído de fundo da sala, que era de 65 dB.

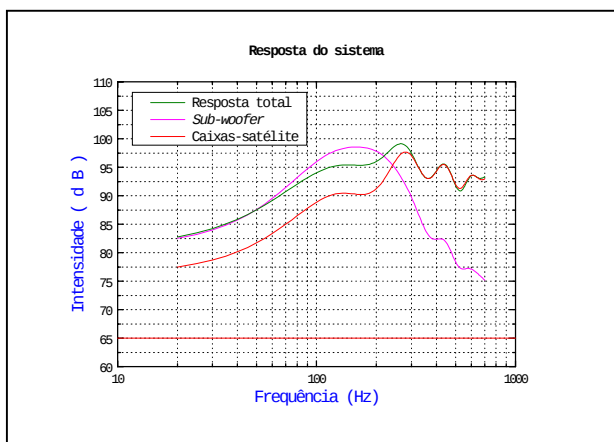
A primeira medida foi para observar o efeito do controle de *presença*, disponível nas caixas-satélite. Esse controle soma um ganho às médias e altas frequências. O equipamento foi programado para executar duas aquisições, no intervalo de 20 Hz a 10 kHz, sendo a primeira com o controle de presença a 100% e depois mudando esse ajuste para 0%. A figura 11 traz os gráficos dessas medidas. A linha em vermelho mostra o nível de ruído de fundo da sala.

Figura 11- Espectros acústicos com a presença a 100% e a 0%.



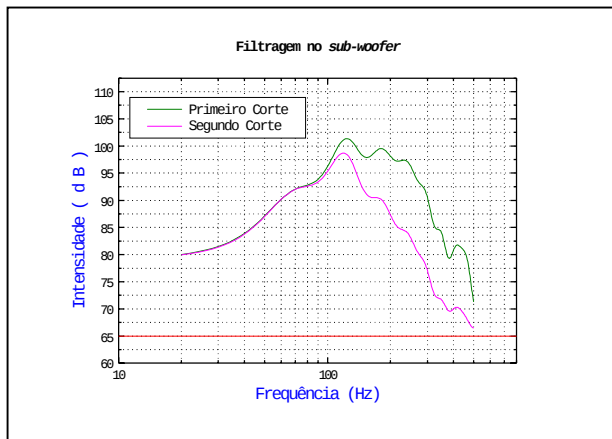
A segunda medida foi feita, utilizando o conjunto de caixas completo, com os módulos de grave e o de médios-grave e agudos, ajustados para uma resposta sonora equalizada, segundo o gosto estético-musical de um observador. Foram feitas três aquisições, sendo a primeira com todos os módulos ativados, na faixa de 20 Hz a 700 Hz. Em seguida, as caixas-satélite foram desligadas, sendo então adquirida a resposta do *sub-woofer*. Numa terceira aquisição, foi levantada a resposta devido somente às caixas-satélite, sem levar em consideração a resposta do módulo de baixas frequências. Os resultados dessas medidas estão apresentados na figura 12.

Figura 12 - Resposta do sistema sonofletor.



A terceira parte deste ensaio caracterizou a seletividade em frequência do *sub-woofer*. O módulo de baixas frequências possui um filtro passa baixas com duas frequências de corte. Foram feitas medidas entre 20 Hz e 500 Hz para avaliar as características desse filtro. O gráfico da figura 13 mostra os resultados de duas aquisições, uma para a primeira frequência de corte e outra com o segundo corte ativado.

Figura 13 - Aquisição da resposta do módulo de graves.



CONCLUSÕES

As metas perseguidas por este trabalho foram atingidas de modo satisfatório. O objetivo inicial, que era o desenvolvimento de um equipamento para caracterização acústica de ambientes, foi ampliado, e hoje tem-se um instrumento que permite a caracterização de uma série de dispositivos eletro-acústicos, além de permitir a determinação da função de resposta de equipamentos de áudio, como, filtros, equalizadores, amplificadores etc.

Normalmente o que o profissional de áudio tem a sua disposição no mercado são analisadores de espectro com resolução de 1/3 de oitava, ou seja, 33 canais. Por outro lado, a resolução do gerador de senóides do equipamento é de 1 Hz. Neste particular, podemos afirmar que as caracterizações feitas

pelo equipamento desenvolvido pela pesquisa se enquadram na categoria de espectroscopia fina de áudio.

A despeito dos resultados obtidos com êxito em relação aos seus objetivos iniciais, existem várias modificações e melhoramentos possíveis que, certamente, tornarão o equipamento desenvolvido muito mais eficiente. A primeira delas é a investigação de outras configurações eletrônicas, que sejam funcionalmente equivalentes aos circuitos desenvolvidos e introduzam menos distorções nos espectros medidos.

O *software* gerenciador também pode ser melhorado, com a inserção de algumas facilidades para o usuário. Dentre essas, cita-se a criação de uma rotina de filtragem digital dos espectros, de forma a suavizar as curvas adquiridas. Uma outra sub-rotina interessante seria aquela que ajustasse polinômios aos espectros. Dessa forma, o processo de modelamento da função de transferência, para a calibração, seria extremamente facilitado, dispensando o uso de outras ferramentas computacionais.

Existe ainda uma outra perspectiva, mais arrojada, de desenvolvimento futuro de pesquisa. As propostas de modificação apresentadas envolvem, basicamente, alterações e melhoramentos do sistema atual, composto de um módulo eletrônico conectado a um computador tipo IBM PC. Essa configuração, mesmo sendo eficiente na aquisição dos espectros, pode ser inadequada para algumas situações, já que requer um PC para gerenciar a operação, mostrar o gráfico na tela e guardar os dados. A depender do perfil da aplicação envolvida, um computador pode ser algo inviável, sob o ponto de vista operacional, ou mesmo de orçamento. Portanto, para contornar essa dificuldade, pode ser feita uma adaptação no projeto, de forma a eliminar a obrigatoriedade do computador. Para tanto, pode ser desenvolvida uma versão compacta do nosso sistema, composta apenas de um módulo eletrônico e dos sensores.

Para que isso seja possível, será necessária a introdução de um microcontrolador no projeto, para comandar o funcionamento da aquisição. Também será preciso criar um bloco de memória não-volátil, que permita guardar, temporariamente, os dados das aquisições, até que eles sejam transferidos para um computador, além de um *display* de cristal líquido, VGA, por exemplo, para a visualização dos espectros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AXELSON, J. **Parallel Port Complete**: Programming, Interfacing and Using. Madison: Peer-to-Peer Communications, 1997.

BADMAIEFF, A.; DAVIS, D. **How to build speaker enclosures**. Indianapolis: Howard W. Sams & Co., 1981.

BERANEK, L.L. **Acustica**. Buenos Aires: Hispano Americana, c1961.

CANTÚ, M. **Mastering Delphi 3**. 2nd ed. San Francisco: Sybex, 1997.

FARIAS, P.C.M.A. **Desenvolvimento de um sistema para caracterização acústica de ambientes na área de automação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador.

JOHNSON, J.H. **Build your own low-cost data acquisition and display devices**. New York: Tab Books, 1994.

KUO, B.C. **Digital control systems**. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College: A Harcourt Brace Jovanovich College, c1992.

MOHAN, N.; UNDELAND, T.M., ROBBINS, W.P. **Power electronics: converters, applications and design**. New York: John Wiley, c1989.

O'NEIL, B. **Everything you always wanted to know about the ICL8038**. Harris linear application notes. n.13.1. 1996.

PEACOCK, C. **Interfacing the Standard Parallel Port**, 1998. Disponível em <http://www.senet.com.au/~cpeacock>.

PENA JÚNIOR, G.A. **Novos circuitos práticos de áudio hi-fi estéreo**. Rio de Janeiro: Seleções Eletrônicas, 1974.

SEDRA, A.S., SMITH, K.C. **Microeletronic circuits**. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 1991.

SOUZA, M.B. **Sistema de gerenciamento e controle de temperaturas para a câmara de altas temperaturas do difratômetro de raio-x RIGAKU RU-200**. Salvador, 1998. 134 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, UFBA, Salvador, 1998.

STREMLER, F.G. **Introduction to communication systems**. 3rd ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1990.