



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

ACÚSTICA DE SALAS & TÉCNICAS IMPULSIVAS

Elvira B. Viveiros, M.Sc.

Depto. de Arquitetura / Universidade Federal de Santa Catarina

Cx.P: 476 - Cep: 88040-900, Florianópolis / SC

Tel: (048) 2319393 - Fax: (048) 2319770 / E-mail: arq1evs@ibm.ufsc.br

RESUMO

Através da técnica de respostas impulsivas, diversos e importantes parâmetros podem ser obtidos no campo da 'Acústica de Salas. Características de materiais e de componentes de edificações, bem como critérios de qualidade de salas podem ser avaliados de forma rápida e precisa. Este trabalho propõe-se a apresentar o conceito teórico de métodos impulsivos e sua aplicação na obtenção da impedância acústica, da perda de transmissão sonora, da atenuação produzida por barreiras, e as diversas aplicações do método de recosta impulsiva integrada na avaliação da qualidade acústica de ambientes construídos.

ABSTRACT

Many important parameters in room Acoustics could be obtained using impulse response techniques, Materials and building components characteristics as well as building acoustics criteria's could be evaluated in a fast and accurate way. This work aims to show the theoretical concept and the uses of impulsive methods in order to get the absorption and the acoustical impedance, the sound transmission loss, the attenuation by barriers and also presents various applications of the integrated impulsive response method in the qualification of built environments.

PALAVRAS-CHAVE

Resposta impulsiva, métodos impulsivos, acústica de salas, técnicas de medição.

INTRODUÇÃO

Na execução de qualquer medição acústica em salas é necessário, em primeiro lugar, que se excite o ambiente de modo adequado ao parâmetro que se deseja obter. Tons puros são muito pouco utilizados nestes casos, a não ser em investigações específicas. Desta forma, o sinal mais utilizado tem largura de banda finita, já que normalmente se deseja evitar o surgimento de ondas

estacionárias inerentes a excitações em regimes estacionários com sinais senoidais.

No método de resposta impulsiva, por definição, a sala deverá ser excitada por um impulso, que deverá ter duração pequena quando comparada com o período da mais alta componente espectral em análise. O sinal característico da excitação poder ser obtido através de pistolas ou por pulsos produzidos por faíscas.

Em métodos digitais de geração de sinais, outra forma de excitação utilizada é a substituição de um impulso único por uma seqüência de impulsos. Dentre as seqüências estacionárias de impulsos binários, as mais largamente utilizadas atualmente são as chamadas *maximum length sequences - MLS*, ou, de forma mais geral, seqüências pseudo-randômicas. A resposta a esta excitação é, então, após processamento especial, transformada de volta em resposta impulsiva, conforme apresentado por Kuttruff [1].

Embora medições impulsivas sejam teoricamente muito elaboradas, o desenvolvimento de equipamento digitais de aquisição e análise de dados, tem sido propulsor do crescente interesse por esta área de pesquisa. A análise rápida de Fourier se tornou simples e comum. Desta forma, vemos difundido o emprego da técnica nos mais diversos campos da Acústica e no estudo de ruídos gerados por vibrações em estruturas. A simplificação da instrumentação empregada contribui, também, para que medições *in-situ* tornem-se mais acessíveis.

O MÉTODO DE SCHROEDER

Tempo de Reverberação

A medição clássica do Tempo de Reverberação, TR_{60} , quando a excitação por um sinal aleatório estacionário é subitamente interrompida, apresenta dificuldades bem conhecidas.

Em 1965, Schroeder [2] propõe uma nova forma de medição do Tempo de Reverberação. O Método de Resposta Impulsiva Integrada proposto por ele é claramente superior ao método convencional. Ele demonstra que a resposta a uma só medição é equivalente a infinitas curvas de decaimento obtidos da forma tradicional. A relação entre a amostra média sobre todas possíveis curvas de decaimento para um determinado ponto da sala $\langle s^2(t) \rangle$, e a resposta impulsiva correspondente $p(t)$, para uma determinada banda do sinal de excitação, segue a relação:

$$\langle s^2(t) \rangle = \int_0^{\infty} [p(x)]^2 dx \quad (1)$$

Vale ressaltar que $p(t)$ inclui todas as distorções lineares do sistema como um todo, sala mais cadeia de instrumentação.

Dentre os trabalhos desenvolvidos a partir do método proposto por Schroeder, podem ser encontrados os de Barron [3], Cann e Lyon [4] e Bodlund [5].

O Método de Resposta Impulsiva Integrada encontra-se em fase de elaboração de norma

internacional a ser publicada [6].

Outros Critérios de Qualificação de Salas

Apesar do Tempo de Reverberação ser considerado ainda o parâmetro mais relevante na avaliação acústica de uma sala, novas formas de qualificação tem sido identificadas como altamente relevantes. Isto fica claramente demonstrado quando duas salas com mesmo valor de TR_{60} apresentam desempenho acústico completamente diferenciados.

Estudos subjetivos, onde a resposta direta das pessoas é associada a características físicas do ambiente, mostram que outros critérios de qualidade devem ser investigados quando se deseja analisar em profundidade as propriedades acústica de salas. Novos critérios serão introduzidos em normas internacionais como medições recomendadas para estudos mais elaborados de salas. Dentre eles, podem ser destacados [6]:

Nível Sonoro Relativo, G - É definido como a razão logarítmica entre a energia total medida na resposta impulsiva e a energia total na resposta em campo livre, a 10 m. da mesma fonte, conforme equação:

$$G = 10 \log \left[\int_0^{\infty} p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p_r^2(t) dt \right], [\text{dB}] \quad (2)$$

onde $p(t)$ é a pressão sonora instantânea na resposta impulsiva da sala e $p_r(t)$ é a pressão sonora de referência, medida na resposta impulsiva em campo livre da mesma fonte sonora a uma distância fonte/recepção de 10 m. Na prática, ∞ corresponde a um tempo que é igual ou maior ao ponto onde a curva de decaimento decresceu de 30 dB. O ponto em que $t = 0$ corresponde ao começo do som direto, nesta e nas equações seguintes.

Tempo de Decaimento Inicial (Early Decay Time), EDT - É consenso que, da curva de decaimento de uma sala, o comportamento inicial é condicionante da qualidade acústica. Tal como o TR_{60} , o EDT deve ser medido a partir da inclinação da curva da resposta impulsiva integrada, em análise em bandas de oitava. A inclinação da curva de decaimento deve ser determinada pela inclinação do decaimento inicial de 10 dB.

Early-to-Late Index ou Clarity Index [1], C_{te} - Recomendado como índice que prevê o desempenho da sala com vistas a sua utilização para fala e para música. Eles podem ser calculados, tanto para um quanto para outro, de acordo com:

$$C_{te} = 10 \log \left[\int_0^{te} p^2(t) dt / \int_{te}^{\infty} p^2(t) dt \right], [\text{dB}] \quad (3)$$

onde te é o limite de tempo inicial, sendo utilizado 50 ms ou 80 ms, dependendo se os resultados pretendidos relacionam-se a fala ou música, respectivamente.

Tempo Central (Centre Time), TS - Definido como o centro de gravidade da resposta impulsiva quadrada, dado por:

$$TS = \int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p^2(t) dt, [s] \quad (4)$$

Este parâmetro correlaciona-se à inteligibilidade da fala.

Isolamento Sonoro

O isolamento sonoro aéreo oferecido por um componente de uma edificação é expresso em termos da Perda de Transmissão, PT [7], que é dado pela razão entre a potência sonora incidente, W_i , a potência sonora emitida pela partição, W_t , conforme expressão:

$$PT = 10 \log [W_i / W_t], [dB] \quad (5)$$

O grau de isolamento dependerá do frequência e do ângulo de incidência da onda sonora. Se os campos sonoros nas duas salas forem difusos, e assegurado que o som é transmitido somente através da partição, a perda de transmissão é dada por:

$$PT = L_1 - L_2 + 10 \log (S/A), [dB] \quad (6)$$

onde L_1 é o nível de pressão sonora média na sala da fonte, L_2 é o nível de pressão sonora média na sala de recepção, S é a área da partição e A é a área de absorção equivalente na sala de recepção, determinada pela medição de reverberação.

O método de resposta impulsiva para o cálculo do isolamento sonoro integra a resposta impulsiva sobre o mesmo intervalo de tempo na sala de recepção e da fonte. A equação (6) torna-se então:

$$PT = 10 \log \left\{ \int_0^{\infty} [p_1^2(t) / p_0^2] dt \right\} - 10 \log \left\{ \int_0^{\infty} [p_2^2(t) / p_0^2] dt \right\} + 10 \log (S / A), [dB] \quad (7)$$

Ginn [8] comparou os dados experimentais obtidos a partir do método impulsivo e do método normalizado, obtendo boa concordância entre os resultados.

PERDA DE TRANSMISSÃO

Outra forma de obtenção da Perda de Transmissão, conforme definida na equação (5), é através da resposta impulsiva diretamente. Após a captura de um sinal de curta duração, a componente de som direto é separada de outras componentes refletidas ou espalhadas, simulando condições

anecóicas. Ao sinal capturado no tempo é aplicada a Transformada de Fourier, passando ao domínio da frequência e obtendo-se o espectro de potência. Os espectros de potência, com e sem a presença do elemento sob análise, são usados para obter-se a perda pela inserção do elemento.

Por esta metodologia, Davies e Gibbs [9] analisaram a Perda de Transmissão em painéis para incidência oblíqua. Pela geometria fonte/painel/receptor, o sinal direto é isolado e é obtida a resposta para painel infinito. Os resultados encontrados estavam de acordo com a Lei da Massa, e o efeito de coincidência foi claramente identificado, em consonância com a previsão teórica.

Com mesmo procedimento experimental, Gibbs e Balilah [10] analisaram a transmissão sonora de elementos com a presença de orifícios. A técnica permitiu isolar as características de radiação e transmissão dos pequenos orifícios, existentes nas partições, de outros efeitos, como por exemplo, de ressonâncias da sala. A diretividade da abertura foi claramente observada.

ABSORÇÃO E IMPEDÂNCIA ACÚSTICA

O método de aquisição da impedância acústica apresentado por Davies e Mulholland [11] consiste em comparar a resposta impulsiva medida na superfície de um material de absorção com a obtida para campo livre, e, aí então, derivar a pressão relativa e a fase do sinal refletido, deduzindo-se a impedância do material. Os resultados dos ensaios estiveram de acordo com aqueles obtidos no de tubo de ondas estacionárias. As análises realizadas foram para incidência oblíqua, com resultados confiáveis até altos ângulos de incidência.

Conforme apontado no artigo, dentre outras vantagens, a de maior relevância no uso de técnicas impulsivas para obtenção da absorção acústica é a possibilidade de medições *in-situ*, onde só se poderia obter, por outros métodos, o coeficiente de absorção médio.

ATENUAÇÃO POR BARREIRA

Impulsos acústicos foram usados para medir a atenuação sonora produzida por barreiras por Papadopoulos e Don [12]. A técnica envolvendo dois microfones permitiu a comparação entre as ondas que sofreram e as que não sofreram difração. Isto permitiu que a atenuação fosse determinada com precisão melhor que 1 dB sobre extensa faixa de frequência, a partir de um conjunto único de medições. Como impulsos envolvem tanto informação de fase como de magnitude, afirmam os autores que os ensaios formam um teste rigoroso da teoria. Foram confrontados resultados experimentais com aqueles resultantes de teorias exatas e aproximadas.

CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu apresentar o potencial de métodos que envolvem resposta impulsivas.

Foram demonstradas as teorias envolvendo impulsos para a obtenção do Tempo de Reverberação clássico e de outros critérios de qualificação acústica de salas, para o cálculo da absorção e impedância acústica, da perda de transmissão sonora e da atenuação oferecida por barreiras.

REFERÊNCIAS

- [1] Kuttruff, H. *Room Acoustics*. London (1979). Applied Science Publishers Ltd.
- [2] Schroeder, M.R. A new method of measuring reverberation time. *Journal of the Acoustical Society of America* (1965)**37**,409-412.
- [3] Barron, M. Impulse testing for auditoria. *Applied Acoustics* (1984)**17**, 165-181.
- [4] Cann, R.G. and Lyon, R.H. Acoustical impulse response of interior spaces. *Journal of the Audio Engineering Society* (1979)**27**,960-964.
- [5] Bodlund, K. On the use of the integrated impulse response method for laboratory reverberation measurements. *Journal of Sound and Vibration* (1978)**56**(3),341-362.
- [6] Revision of ISO 3382 - Draft. *Building Acoustics*. International Organization for Standardization.
- [7] ASTM E90-70. *Recommended Practice for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions*. American Society for Testing Materials.
- [8] Ginn, B. et all. Measuring airborne sound insulation using the impulse-response method. *Proceedings of the Inter-noise 94*, Japão, 1475-1478.
- [9] Davies, J.C. and Gibbs, B.M. The oblique incidence measurement of transmission loss by an impulse method. *Journal of Sound and Vibration* (1981)**74**(3),381-393.
- [10] Gibbs, B.M. and Balilah, Y. The measurement of sound transmission and directivity of holes by an impulse method. *Journal of Sound and Vibration* (1989)**133**(1),151-162.
- [11] Davies, J.C. and Mulholland, K.A. An impulse method of measuring normal impedance at oblique incidence. *Journal of Sound and Vibration* (1979)**67**(1),135-194.
- [12] Papadopoulos, A.I. and Don, C.G. A study of barrier attenuation by using acoustic impulses. *Journal of the Acoustical Society of America* (1991)**90**(2),1011-1018.