



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A120

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE UMA BASÍLICA EM SANTA MARIA-RS

Marselle Nunes Barbo <sup>(a)</sup>,  
Dinara X. da Paixão, <sup>(a)</sup>,  
Erasmus F. Vergara <sup>(a)</sup>.

(a) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria/RS, 97105-900. E-mail: [marselleb@hotmail.com](mailto:marselleb@hotmail.com), [dinaraxp@yahoo.com.br](mailto:dinaraxp@yahoo.com.br), [efvergara@gmail.com](mailto:efvergara@gmail.com).

### Abstract

Brazil has the largest contingent of Catholics of the world. This religion is characterized for your historical constructions that influenced the own development of the Architecture. This work analyzes the acoustic performance of a church in Santa Maria/RS city and categorized as Basilica in 1987. The physical space presents characteristics different related to the traditional churches, because it possesses big dimensions and capacity to receive 900 believers, and the composition materials as: concrete, stained glass windows, PVC and wood. The acoustic performance evaluation of the place uses experimental method considering the standard ISO 3382. The criteria used the acoustics quality for the music and the speech with the values of Reverberation Time and Early Decay Time and the manual impact source to evaluate the impulsive response of the room.

### Resumo

O Brasil possui o maior contingente de católicos do mundo. Essa religião destaca-se por suas construções, inclusive históricas, que influenciaram o próprio desenvolvimento da Arquitetura. O trabalho analisa o comportamento acústico de uma igreja, na cidade de Santa Maria-RS, elevada a categoria de Basílica, em 1987. O espaço físico apresenta características diferentes das igrejas tradicionais, possuindo um formato irregular, grandes dimensões e capacidade para abrigar em torno de 900 pessoas. Apresenta materiais de composição como: concreto, vitrais, PVC e madeira. Avaliou-se o Tempo de Reverberação (TR) e o Tempo de Decaimento Inicial (EDT) utilizando-se dois tipos de fontes impulsivas (dispositivo de madeira e grandes balões de festa), comparando-se os resultados obtidos com cálculos analíticos e com os índices recomendados na bibliografia. As medições indicaram valores altos, demonstrando que o ambiente não está acusticamente adequado às suas atuais finalidades. O trabalho visa contribuir para a melhoria do conforto de locais destinados às cerimônias religiosas, disponibilizando informações sobre a resposta acústica da edificação analisada.

## 1 Introdução

A religião Católica destaca-se por suas construções históricas, que influenciaram a Arte e a Arquitetura mundial. O Brasil possui o maior contingente de católicos do mundo, por isso denota-se a importância que essa crença possui no país, traduzida em milhões de fiéis.

As *Basílicas* são igrejas consideradas *notáveis* pela veneração que lhes devotam os fiéis, pela importância histórica e pela magnificência artística de sua construção. Constituem-se de edificações religiosas que representam imponência, com grandes dimensões, com pé-direito extremamente elevado e capacidade de abrigar um número muito grande de pessoas.

Desde os primórdios, percebe-se que as edificações voltadas aos cultos artísticos e religiosos, apresentam características acústicas diferenciadas. Os teatros ao ar livre dos gregos e romanos já pontuavam a interferência de uma boa compreensão do público em relação às apresentações. Souza (2003) destaca que não se sabe, ao certo, se houve uma real intenção acústica na elaboração desses locais, ou se a prioridade eram os efeitos visuais, porém, o que se sabe, é que a partir deles uma concepção de projeto foi estabelecida e aprimorada em relação ao estudo da interface Arquitetura / Acústica.

Na Idade Média, com a expansão do Cristianismo, quase um milênio se passou sem que o teatro fosse desenvolvido como tipologia arquitetônica. Assim, o que melhor retratava as funções acústicas do espaço não era mais o teatro, mas sim as igrejas (SOUZA, 2003).

O presente artigo analisa as condições acústicas de uma Basílica, construída segundo uma tipologia arquitetônica contemporânea, verificando o Tempo de Reverberação (TR) e o Tempo de Decaimento Inicial (EDT) do ambiente, obtido a partir da resposta a fontes impulsivas.

## 2 Acústica em templos religiosos

O desempenho acústico de um espaço fechado, em condições normais, deve correlacionar parâmetros arquitetônicos de salas com a avaliação subjetiva da finalidade para a qual ele foi construído. Nesse aspecto é que se insere a avaliação de igrejas.

Makrinenko (1994) definiu que os salões podem ser divididos em três grupos principais de acordo com o programa a ser executado: salas destinadas exclusivamente ao discurso, salas destinadas exclusivamente para finalidades musicais e aquelas para combinações de ambos, que é o caso das igrejas e/ou basílicas. As exigências acústicas nas salas para o discurso são definidas claramente, pois existem métodos de confiança para a predição e a avaliação da qualidade sonora desse tipo de ambiente. Para as salas destinadas à execução de músicas há um grau maior de complexidade, mas é para o caso de ambientes destinados à combinação de ambas (palavra e música) que, segundo o autor, reside a maior dificuldade. As exigências acústicas para o discurso e para a música são não somente diferentes, mas consideravelmente opostas, segundo a avaliação do mesmo autor.

A solução acústica de um salão multi-uso depende do número de pessoas que ela comporta e do tipo de utilização da sala.

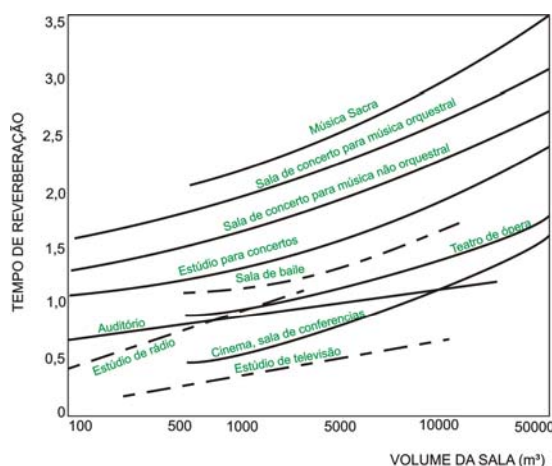
Um dos índices mais importantes a ser analisado é o Tempo de Reverberação (TR), que é o tempo que o Nível de Pressão Sonora (NPS) demora a decair 60 dB após a interrupção da fonte. Sabine, pioneiro no estudo da acústica de salas, determinou empiricamente uma relação para o tempo de reverberação, o volume da sala ( $V$ ) e a área de absorção da sala ( $A = \sum \alpha S$ ), mostrada na equação (1).

$$T_R = 0,161 \frac{V}{\Sigma \alpha S} \quad (1)$$

O TR deve ser adequado, para que não afete negativamente no discurso, pois influencia diretamente na inteligibilidade da palavra. Algumas superfícies do interior do ambiente devem ser construídas para auxiliar nas reflexões diretas para os ouvintes, enquanto outras criam reflexões dispersas não-direcionais, aumentando a difusão, no caso de execução de música. Com isso, obtém-se uma melhoria na claridade e na impressão espacial.

Nos diferentes períodos da história, as salas em que se executava música foram mudando, por exemplo, a música sacra do período barroco era executada em catedrais, onde os tempos de reverberação eram muito altos, e os compositores podiam contar com esse efeito na execução de suas obras. Executá-las em ambientes com baixa reverberação elimina o realismo e muda seu caráter original (MENDEZ et. al, 1994).

A figura 01 mostra os tempos de reverberação ótimos para cada tipo de aplicação de sala.



**Figura 1.** Tempo ótimo de Reverberação  
Fonte: Adaptado de Mendez et. al, (1994).

Ao analisar o gráfico mostrado na Figura 1, fica claro que o TR ótimo para música está bem acima do referente ao discurso. Para o caso das igrejas, onde se executam os dois programas, o TR tem que estar em equilíbrio para as duas finalidades.

Outro parâmetro importantes para a análise acústica de salas é o EDT (Tempo de Decaimento Inicial), que considera os primeiros 10 dB de decaimento da curva. Apesar de muito parecidos, o EDT está mais relacionado à reverberação percebida pelo ouvinte, enquanto que o TR refere-se mais diretamente às propriedades físicas da sala.

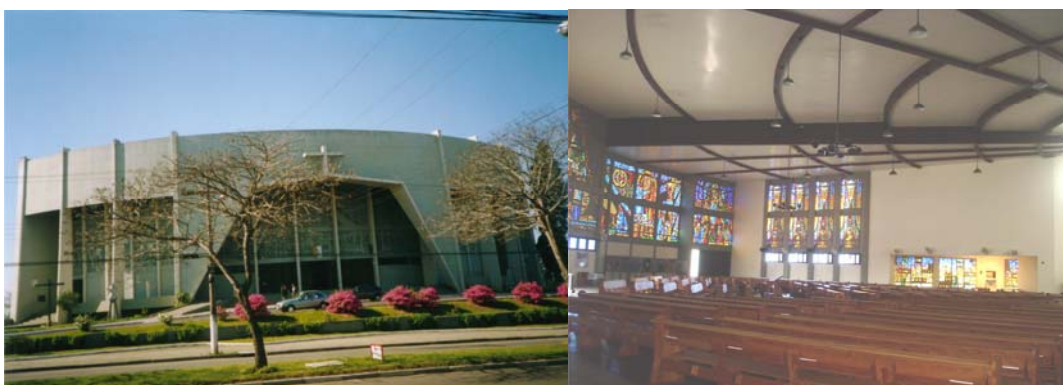
## 2.1 Santuário-Basílica Nossa Senhora Medianeira – Histórico

O Santuário Basílica de Nossa Senhora Medianeira é um centro de peregrinações, que suscita grande interesse popular. Essa devoção foi oficializada pelo Papa Bento XV, em 1921. Chegou à cidade de Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul, no extremo sul do Brasil, em 1928, no Seminário Jesuíta São José, através de Ignácio Rafael Valle. A 1ª Festa e a 1ª Romaria à Nossa Senhora Medianeira ocorreram em 1930. Atualmente, observa-se que apenas num dia - o 2º domingo de novembro - a cidade recebe mais de 300 mil pessoas para uma Romaria Estadual, pois N. Sra. Medianeira é a Padroeira do Rio Grande do Sul.

Em 1935 foi lançada a pedra fundamental do Santuário, mas somente em 1985 os trabalhos foram concluídos. Dois anos mais tarde, em 1987, o local recebeu, do Vaticano, o título de Basílica.

A edificação, com tipologia arquitetônica contemporânea, comporta mais de 900 pessoas sentadas. Sua planta possui formato de sino, diferenciando-se das típicas Igrejas Católicas. Além disso, não possui adornos e materiais em madeira entalhada. A cobertura na parte central é de altura variável, partindo de 9,70 metros e chegando a 11,15 metros.

A Figura 2 mostra o lado externo da Basílica, onde é possível observar a relação entre o carro e a altura da edificação. Visualiza-se, também, o interior da mesma, onde destacam-se os vitrais e a cobertura.



**Figura 2.** exterior e interior do Santuário Basílica de N. Sra. Medianeira.

### 3 Acústica em templos religiosos

A pesquisa se baseou em ensaios experimentais realizados *in loco*, para a determinação do Tempo de Reverberação (TR) e do Tempo de Decaimento Inicial (EDT), a partir de dois tipos de fontes sonoras com sinal impulsivo (balão e dispositivo de madeira). Cálculos analíticos foram executados para comparação com os experimentos.

Para a captação do sinal foram utilizados os seguintes equipamentos: SOLO Medidor de Nível de Integração e registro de dados (01 Db – Metravib - Acoustics & Vibration), Microfone (01 Db – Metravib - Acoustics & Vibration), Calibrador para microfone e Computador portátil.

Foi realizado o levantamento de todos os materiais que compõe as superfícies, para o cálculo do Tempo de Reverberação, utilizando a fórmula de Sabine.

#### 3.1 Fontes sonoras

No presente trabalho foram empregados dois tipos de fontes impulsivas: um dispositivo de madeira e balões de festa.

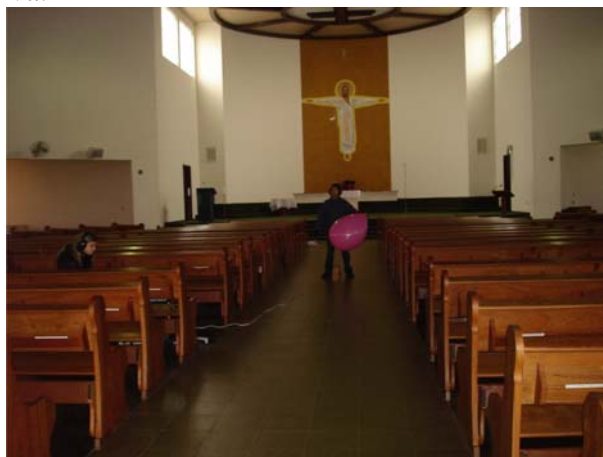
O dispositivo de madeira funciona com força manual e cria um sinal impulsivo, quando se fecha. Produz um estalo suficiente para que as ondas sonoras tenham capacidade de reverberar em determinado ambiente a ser estudado. Trata-se de reprodução de um elemento descrito em artigo científico por Sumarac-Pavlovic et al (2008).

A Figura 3 apresenta um desenho esquemático e uma fotografia da fonte construída no Setor de Acústica da UFSM.



**Figura 3.** Detalhes do dispositivo de madeira (fonte impulsiva).

A segunda fonte sonora empregada foram balões de festa, que eram estourados durante as medições. Possuíam tamanho identificado como 30”, ou seja, uma capacidade de ar de aproximadamente  $0,144 \text{ m}^3$ . A Figura 4 ilustra uma das medições realizadas, com a utilização desse tipo de fonte impulsiva.

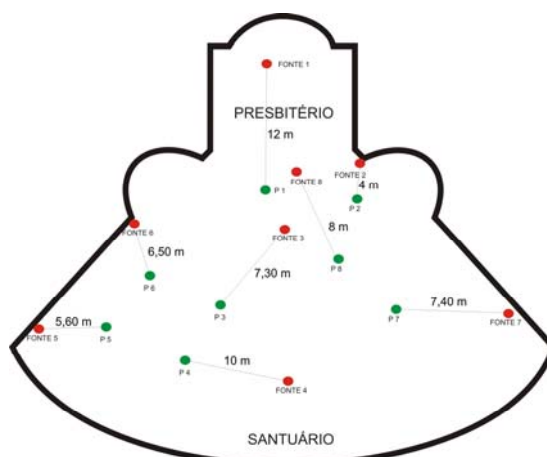


**Figura 4.** Medição realizada com o emprego de balão.

### 3.2 Pontos de medição

Foram definidos oito pontos para a colocação das fontes e oito pontos para a captação do sinal. Para a locação das fontes, considerou-se a proximidade com o local onde estão colocadas as caixas de som existentes na Basílica. Para as posições dos microfones observou-se onde estariam os frequentadores, ou seja, sentados nos bancos. As distâncias entre a fonte e o equipamento de medição obedeceram a Norma Técnica UNI EN ISO 3382:2001 Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, a qual determina que a distância mínima deve ser a metade da onda de menor frequência a ser medida.

A locação dos pontos de emissão e recepção do sinal estão representados na Figura 5, que mostra um desenho esquemático da planta da Igreja, com distâncias aleatórias, que variaram de 4,0 m até 12 m, facilitando a verificação do Tempo de Reverberação, em qualquer ponto que o ouvinte estivesse posicionado dentro do ambiente.

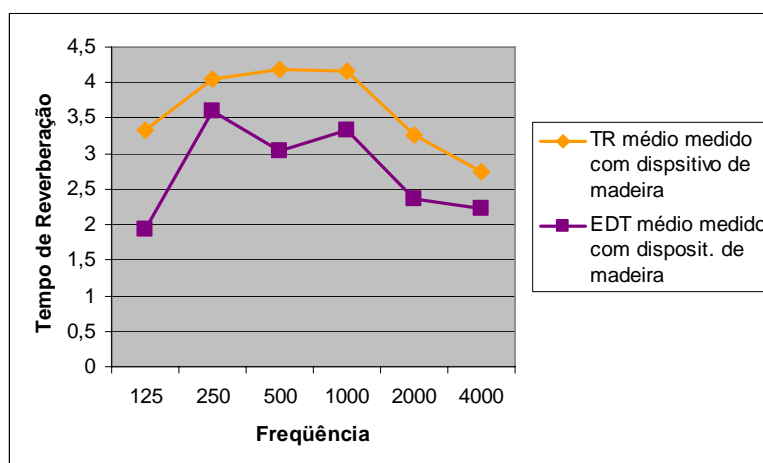


**Figura 5.** Planta da Basílica da Medianeira com as posições de medição e fonte sonora.

#### 4 Resultados e Discussão

Para calcular os parâmetros acústicos objetivos, a partir da resposta impulsiva do ambiente, obteve-se a pressão sonora registrada na posição de interesse do ouvinte, quando um impacto (por tábuas ou balões) produziu um sinal de excitação intenso e de curta duração.

A Figura 6 mostra o resultado do Tempo de Reverberação e do EDT medidos com o dispositivo de madeira. Na Tabela 1 está o desvio padrão do TR e do EDT.



**Figura 6.** Gráfico das médias do TR e do EDT medido com dispositivo de madeira.

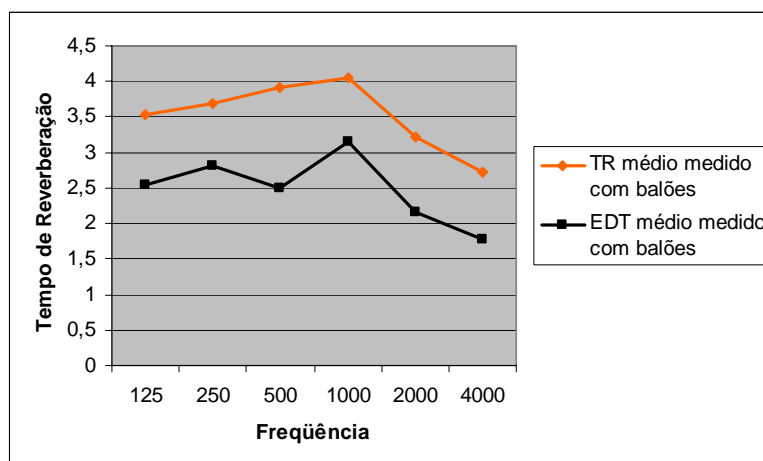
**Tabela 1.** Desvio Padrão das médias do TR e do EDT

	125	250	500	1000	2000	4000
Desv. Padrão TR	1,23	0,32	0,19	0,12	0,19	0,13
Desv. Padrão EDT	0,89	1,33	1,44	1,19	0,96	0,82



Analisando os resultados e comparando-os com seus respectivos desvios padrões, observa-se que há uma maior disparidade entre o TR nas baixas frequências, enquanto para o EDT os desvios localizam-se em frequências mais altas. Há, portanto, disparidade entre os valores obtidos em localizações distintas.

A Figura 7 representa o TR e o EDT médio, obtidos a partir da resposta à excitação com o estouro de balões. A Tabela 2 mostra o desvio-padrão dessas medições.



**Figura 7.** Média do TR e EDT medido com balões.

**Tabela 2.** Desvio Padrão das médias do TR e do EDT (balões).

Desvio Padrão [s]	125	250	500	1000	2000	4000
TR	0,66	0,25	0,72	0,16	0,17	0,14
EDT	1,90	1,26	1,17	1,20	1,06	0,81

Na medição com balões, representada pela Figura 7, observam-se índices menores que os decorrentes do emprego do dispositivo de madeira, pois somente na frequência de 1000 Hz o TR alcançou 4 s. O EDT desse tipo de medição também apresenta valores menores que a modalidade de excitação anterior, com exceção da frequência de 125 Hz.

Ao analisar a relação dos TR e EDT com seus desvios padrões verifica-se que os valores oscilam conforme a posição da fonte e do receptor.

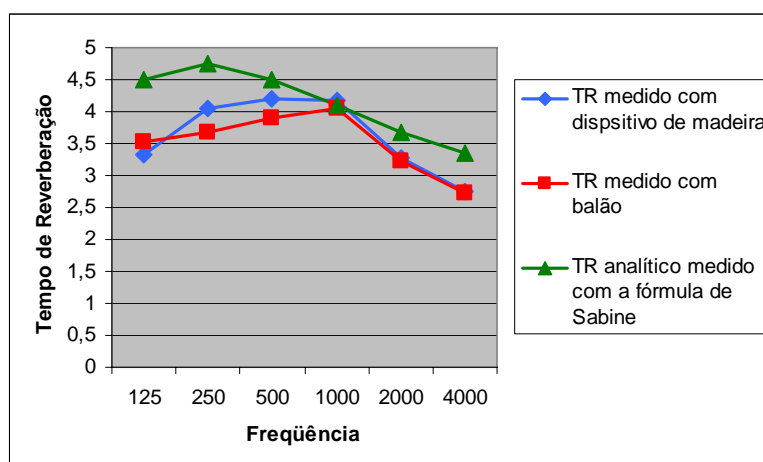
Para o cálculo do Tempo de Reverberação, indicado na Figura 8, foi empregada a fórmula de Sabine, utilizando-se o levantamento dos materiais que compõem a superfície da Basílica, conforme mostra a Tabela 3.

**Tabela 3.** Área de superfície dos materiais, em m<sup>2</sup>.

Parede	Vidro	Carpete	Madeira (bancos)	Concreto	Piso Ceram.	Portas (madeira)	Forro
707,6	361,13	215,09	345,49	254,32	494,33	66,37	1176,02

O volume da Basílica possui um total de 12.144,66 m<sup>3</sup>. O forro é constituído de “PVC” (policloreto de vinila), que se trata de um material leve, flexível e largamente utilizado na construção civil brasileira.

A Figura 8 representa o gráfico dos TR medidos com o dispositivo de madeira, o estouro de balões e o cálculo analítico.



**Figura 8.** TR decorrentes do dispositivo de madeira, do estouro de balões e do cálculo.

Os resultados se apresentam harmoniosos, com um decaimento similar, em especial entre as duas fontes impulsivas. O TR maior no cálculo analítico é decorrência dos ajustes feitos para a identificação dos coeficientes de absorção, devido à existência de materiais e componentes de difícil caracterização, como por exemplo, os vitrais moldados junto a placas de concreto, para os quais o coeficiente de absorção é desconhecido.

## 5 Conclusões

A análise dos experimentos e cálculos analíticos proporciona a verificação de que os resultados medidos com o equipamento, a partir do sinal disparado com o dispositivo de madeira, é similar ao captado pelo estouro dos balões, apresentando uma ligeira diferença nas baixas e médias frequências. Assim, pode-se afirmar que uma fonte sonora impulsiva de baixo custo, como é o caso do dispositivo de madeira, é tão eficaz para o tipo de medição proposta, quanto o estouro de grandes balões.

A música executada na Basílica em estudo não é característica do estilo sacro, sendo executada com instrumentos populares como violão, teclado e eventualmente bateria. Além disso, a principal atividade religiosa pressupõe o emprego da palavra, durante as Missas.

Observa-se que os valores obtidos para o TR são superiores aos recomendados como ótimo, conforme foi mostrado na Figura 1 do presente texto. Para as dimensões da Basílica de Nossa Senhora Medianeira o TR existente está extremamente alto, pois é superior até para o caso da execução de música sacra, onde estão contemplados os maiores índices no conhecido gráfico do tempo de reverberação ótimo.

Constata-se, portanto, que o ambiente não está adequado tanto para a palavra, quanto para a música, que são suas finalidades atuais.

## Referências

- Makrinenko, L., I., translated by Mrs. R. S. Ratner (1994) "Acoustics of Auditoriums in Public Buildings, Woodbury, EUA.
- Méndez, A. M.; Stornini, A. J.; Salazar, E.B.; Giuliano, H. G.; Velis, A. G.; Amarilla, B. C., (1994). "Acustica Arquitectonica" Universidade del Museo Social Argentino, Buenos Aires, Argentina.



Souza, L., C., L., Almeida, M., G., Bragança, L. (2003). “Bê-a-Bá da Acústica Arquiteônica”. LCL, Bauru, Brasil.

Sumarc-Pavlovic, Dragana; Mijic, Miomir; Kurtovic, Husnija, (2008) “A simple impulse sound source for measurements in room acoustics”. *Applied Acoustics*, 69, 378–383

UNI EN ISO 3382:2001, Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.