



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

FIA2008-A150

## **O conforto acústico como fundamento de projeto: O caso do Teatro de de São José dos Campos**

Carlos Augusto de Melo Tamanini<sup>(a)</sup>  
Fabiana Ramires<sup>(b)</sup>,  
Jorge Luiz Monteiro<sup>(c)</sup>,  
Sylvio Reynaldo Bistafa<sup>(d)</sup>

<sup>(a)</sup>Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 87020-900, Brasil.camtamanini@uem.br

<sup>(b)</sup>Consultora, São José dos Campos, SP, 12230-085, Brasil.engfabiana@uol.com.br

<sup>(c)</sup>Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – São José dos Campos, SP, 12243-260, Brasil.jmonteiro@sabesp.com.br

<sup>(d)</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 05508-900, Brasil.sbistafa@usp.br

### **Abstract**

The acoustic aspects, in most cases, are inseparable from the function that an architectural space must meet. The theatre is an example of a room that must be designed to listen with clarity and sharpness the text, otherwise a room will be unsuccessful. There are several factors that influence the acoustic outcome of an environment and controlling them is key when it comes to spaces with acoustic specific needs. To that end, to evaluate the result of sound characteristics of the theatre of São José dos Campos, Brazil, through the ownership of acoustic quantities objective. With these results, analyzes the solutions of the project, checking its adequacy the needs sound and contemporary technology, aimed at determining the parameters for the development of specific technical projects.

### **Resumo**

Os aspectos acústicos, na grande maioria dos casos, são indissociáveis da função que um espaço arquitetônico deve cumprir. O teatro é um exemplo de uma sala que deve ser concebida para se ouvir com clareza e nitidez o texto, caso contrário, será uma sala malsucedida. Existem diversos fatores que influenciam o resultado acústico de um ambiente e controlá-los é fundamental quando se trata de espaços com necessidades acústicas específicas. Nesse intuito, avalia-se o resultado das características acústicas do teatro de São José dos Campos, SP, Brasil, por intermédio da apropriação de grandezas acústicas objetivas. De posse desses resultados, analisa-se as soluções de projeto, verificando a sua adequabilidade as necessidades acústicas e a tecnologia contemporânea, visando a determinação de parâmetros para a elaboração de projetos técnicos específicos.

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto acústico é fundamental no projeto de arquitetura, implicando em limitações e alterações durante a concepção do projeto. A sua importância está cada vez mais inserida entre os projetistas que consideram os requisitos, sugestões e recomendações num desafio a sua imaginação para conceber um projeto que não desvirtue suas idéias, mas que contemple as diretrizes do projeto acústico.

A evolução da aplicação dos conceitos no condicionamento acústico de uma sala, de acordo com Henrique (2002) até o princípio do século 20 era baseada na aplicação da equação de Sabine, mas a partir da metade do mesmo século a evolução desse domínio foi significativa.

Outro fator que passou por uma evolução significativa refere-se à concepção das salas, que durante muitos anos dependia da intuição do arquiteto ou de um acústico de larga experiência. Com o avanço dos conhecimentos sobre os fenômenos envolvidos e a utilização de softwares no projeto acústico, a acústica de salas tornou-se um conjunto de regras e parâmetros que podem ser calculados.

A caracterização dessas salas de teatros pode ser realizada utilizando-se de determinadas tecnologias de análise, processamento de sinal e softwares adequados, estabelecendo parâmetros, sejam esses objetivos ou subjetivos que influenciam a qualidade acústica de uma sala de teatro.

## 2. ACÚSTICA DE SALAS – TEATRO

A acústica arquitetônica estuda a geração, propagação e transmissão do som em espaços fechados e abertos, enquanto a acústica de salas é o ramo da acústica aplicada que estuda o campo sonoro complexo gerados em espaços fechados, como teatros, salas de concertos e auditórios. Os espaços fechados serão focados essencialmente nesse estudo quanto ao comportamento do som em espaços destinados à apresentação de peças teatrais, isto é, teatro.

Um dos fatores fundamentais para a concepção de uma sala é a definição para o fim a que se destina, pois as exigências acústicas são diferentes entre salas de música e salas para palavra. O teatro se insere nas salas para palavra devido ao fato que a palavra é preponderante durante todas as manifestações. No teatro, a eficácia na mensagem a ser transmitida é muito importante para a percepção, ou seja, para que ocorra a inteligibilidade da palavra falada. Essa caracterização é essencial para estabelecermos uma das principais condicionantes, o tempo de reverberação que é diferente entre as atividades a qual se destina.

Para Serroni, 2002, a primeira idéia quando se pensa em um edifício teatral é a de uma casa de espetáculos. A palavra “casa” tem um duplo sentido, o de abrigo e o de trabalho, ou seja, lugar para atuar e viver. É o edifício que abriga vidas fictícias em permanente renovação. Pertence a sociedade que abrange todas motivações e lógicas dos homens que lá atuam.

Outras condicionantes relevantes refere-se a forma e o tamanho da sala. A forma e o tamanho contribuem diretamente para o tempo de reverberação (volume e área das superfícies) e no estudo geométrico das salas (reflexão e difusão).

Os teatros são concebidos, na sua maioria, como salas polivalentes, capazes de acolher espetáculo tanto para músicas como para palavra. Devido às especificidades de cada atividade, é recomendado a concepção de salas específicas para cada tipo de uso ou de propostas com sistema de acústica variável. Na prática, segundo Corbioli (2002), não temos

essa premissa em função do custo de implantação, desconhecimento do projetista, descumprimento do executor na execução de detalhes elaborados pelo projetista acústico, etc.

O objetivo do estudo da acústica de uma sala para palavra – teatro é estabelecer uma relação entre o problema físico da propagação de ondas sonoras e da sua atuação nas formas interiores da sala com os aspectos psicológicos da nossa percepção auditiva. Existem, portanto parâmetros subjetivos e objetivos que condicionam o tipo de métodos a serem abordados.

Para Henrique, 2002, diversos métodos ou diversas teorias, como teoria ondulatória, geométrica, estatística e psicoacústica contribuem para a caracterização das salas, sendo que o difícil é a escolha do método que favorece a caracterização de aspectos acústicos essencialmente ligados à inteligibilidade da palavra.

Muitos estudos foram realizados visando constatar a eficácia acústica dos teatros, em especial podemos citar o estudo de Canac (1976) apud Henrique (2002) sobre os teatros antigos, que consistiam nos primeiros locais destinados a apresentação de espetáculos. Os teatros antigos que existem até hoje são considerados de excelente acústica e através do estudo de Canac, constatou-se que essa qualidade é o resultado de diversos fatores: dimensões, distâncias e ângulos criteriosamente estudados para permitir boa visibilidade e audição.

Os teatros passaram por modificações tipológicas e morfológicas ao longo dos anos, do teatro ao ar livre ao teatro com as configurações atuais, com paredes laterais e posteriores, teto e mudança nas dimensões de palco e platéia.

Com essas modificações tipológicas – forma e configuração e morfológicas – estilo e caracterização formal (materiais e ornamentação), influenciaram na acústica das salas, estabelecendo uma distinção dos fatores relevantes para favorecer a qualidade acústica das mesmas.

A tipologia de teatros é o resultado da configuração de um conjunto organizado. Existe uma gama de conjuntos que podem ser organizados, entretanto são reduzíveis a alguns tipos fundamentais. A partir da primeira manifestação artística, foram construídas umas infinidades de teatros. As diferenças são substanciais de um país a outro, de um período histórico a outro, de uma região a outra, de um arquiteto a outro.

Se considerarmos o organismo sob o ponto de vista tipológico, verificamos que o organismo teatro se configurou em tipos: arena, palco italiano, elizabetano, etc. Podemos estudar a arquitetura dos teatros sob ponto de vista tipológico através das analogias do trabalho organizativo geral, ou seja, trata-se de um trabalho de síntese onde podemos inserir a acústica como condicionante.

Por fim, a tipologia é a fixação de determinadas características, inclusive humanas, que permite a formação de esquemas. Na arquitetura, a tipologia é a configuração esquemática de edifícios segundo sua função (teatro de planta circular, quadrada, retangular, etc.).

Existem algumas tipologias para teatros que apresentam configurações distintas, principalmente quanto à posição do palco (Funarte, 2005). Essas podem ser assim denominadas: arena: elizabetano, palco italiano e espaço múltiplo.

Os teatros com tipologia chamada de palco italiano são os mais executados atualmente, e essa tipologia que predomina praticamente em quase todos os espaços destinada a apresentação de espetáculos. Nesse intuito, a caracterização dessa tipologia deve ser realizada detalhadamente, estabelecendo uma caracterização dos espaços analisados e uma relação dos fatores relevantes dos mesmos, como tempo de reverberação, forma e tamanho, estudo geométrico, materiais de revestimento, etc.

Se considerarmos somente o organismo teatro sob o ponto de vista morfológico, vemos que o teatro de arena, elizabetano ou palco italiano se diferenciam profundamente, transmitindo através destas diferenças, significados históricos, valores artísticos, métodos construtivos extremamente diferentes. Podemos portanto estudar a arquitetura dos teatros desde o ponto de vista morfológico e iconológico, estrutural e semântico, averiguando todas as diferenças através de uma análise analítica.

As mudanças morfológicas estão relacionadas com o tratamento estético exterior e interior dos teatros durante a história da arquitetura, relacionando-se com os estilos arquitetônicos. Essas mudanças podem ter contribuído na qualidade acústica das salas em função da tecnologia dos materiais de absorção aplicada às superfícies (painéis acústicos) das salas. Portanto é necessário o estudo dos painéis acústicos existentes nas salas, verificando para qual finalidade foram projetados – absorção, ressoarção, difusão ou reflexão.

Os painéis ressoadores, absorsores, difusores e refletores são calculados para melhorar e atender faixas de frequência difíceis de tratamento, embora o seu dimensionamento e forma devem ser calculados seguindo princípios técnicos, como o emprego de equações e teoria dos números (matemática).

### 3. METODOLOGIA

Para a caracterização desejada, é necessária a avaliação dos parâmetros físicos (objetivos) e subjetivos de uma sala.

O principal parâmetro objetivo que permite a caracterização de uma sala é o tempo de reverberação. O tempo de reverberação pode ser definido como o tempo que a energia de um campo sonoro reverberante estacionário leva a decair 60 dB após a extinção da fonte sonora.

Na prática, devido ao nível de ruído de fundo existente nas salas, torna-se difícil medir um decaimento de 60 dB, nesse caso, torna-se mais simples calcular o decaimento de 30dB ou 20 dB, denominados respectivamente de TR30 e TR20. Caso nas salas analisadas não for possível calcular o TR60, adotaremos TR30 pois em salas difusas o decaimento é linear.

Os métodos mais utilizados para calcular o tempo de reverberação são o método clássico e o método de resposta ao impulso. No método de resposta ao impulso, método adotado, mede-se a função de resposta da sala a um impulso sonoro, e utiliza-se do teorema de Fourier para determinar a função de resposta ao impulso.

Para a medição foi utilizado para a captação do sinal por um Microfone Omnidirecional específico para medição de salas (Condensador/Eletreto), modelo ECM 8000, da Behringer, com frequência de resposta ultra-linear, impedância de 600 Ohm, sensibilidade de (-) 60 dB, faixa de frequência de 15Hz a 20.000Hz, a 1,20m do solo, para se aproximar da realidade do ouvido humano, e conectado por cabo a um Phantom Power (15V a 48V), modelo MP-1 da Zerotron (Condenser Microphone Phantom Power Supply), ligado a um computador pessoal portátil Acer.

A captação e processamento dos dados deram-se através do Software DIRAC – Room Acoustic, tipo 7841, versão 3.1 da Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement, com o qual foi possível obter os índices: Tempo de Reverberação (TR).

O Ruído ambiente (isolamento sonoro): conforme nos indica a NBR10152 (1992) – Acústica - avaliação do ruído ambiente em recinto de edificações visando o conforto dos usuários, verifica-se se os níveis de ruídos medidos encontram-se dentro dos níveis de ruído estabelecidos conforme a finalidade mais característica de utilização do recinto. As medições serão realizadas considerando o método de medição da norma citada e utilizando-se do

medidor de nível de pressão sonora da marca 01 dB – Stell, modelo MNS Integrado com módulo de filtro nas faixas de oitava audíveis.

#### 4. OBJETO DE ESTUDO

O teatro (figura 01 e 02) analisado localiza-se no Campus da Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, na cidade de São José dos Campos. Tem capacidade para 503 lugares, área de 752,00m<sup>2</sup> e foi projetado pelo arquiteto Paulo Sophia.



Figura 01: Vista do fundo da sala



Figura 02: Vista da frente da sala

Através das figuras 03, 04 e 05, verifica-se os detalhes e os materiais utilizados para o tratamento acústico.



Figura 03: Forro Convexo

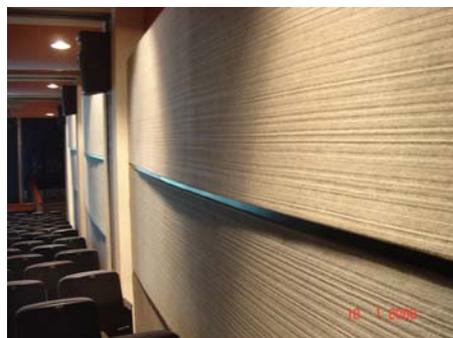


Figura 04: Parede lateral - Muralflex

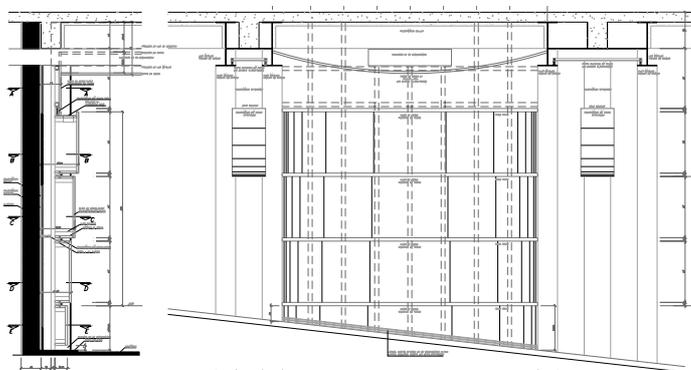


Figura 05: Detalhe do forro e parede lateral

Para a realização da medição, designaram-se pontos distintos na sala. Na figura 06, apresenta-se a planta baixa, em destaques os pontos monitorados; e na figura 07, o corte longitudinal

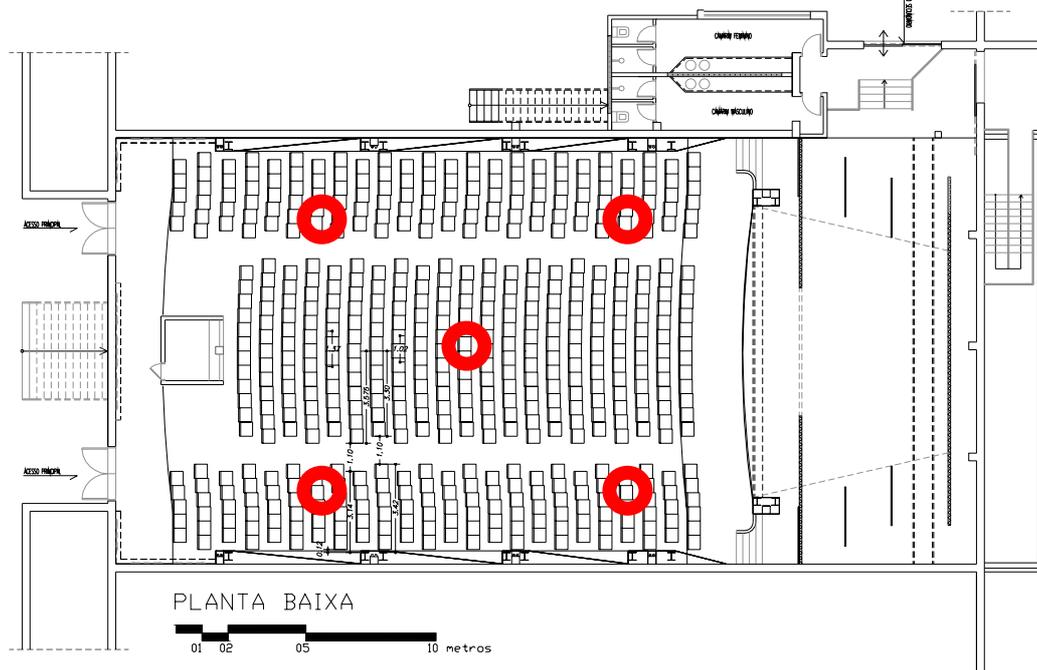


Figura 06: Pontos monitorados

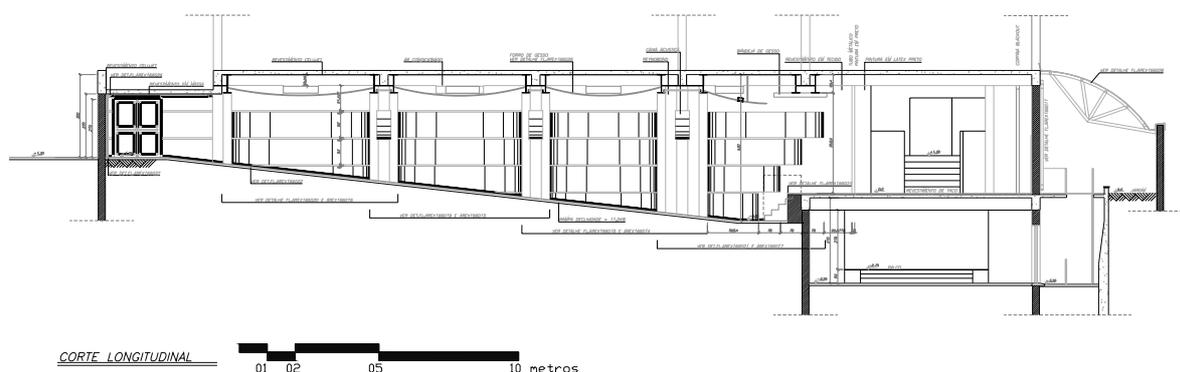


Figura 07: Corte longitudinal

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Avaliação dos parâmetros Tempo de Reverberação – TR e Curvas de Avaliação de Ruído – NC

O primeiro critério a ser avaliado refere-se ao tempo de reverberação. Após a medição e a tabulação dos dados medidos na sala, realizou-se a comparação entre os tempos de reverberação medidos com os recomendados pela NBR 12179/92.

Verifica-se, através da figura 08 que os tempos de reverberação estão abaixo dos estabelecidos pela NBR12179/92, acompanhando a curva, exceto em relação a frequência de 125Hz, onde verifica-se uma queda, que está relacionado com o tipo de solução empregada no teto e paredes laterais (painel ressonante).

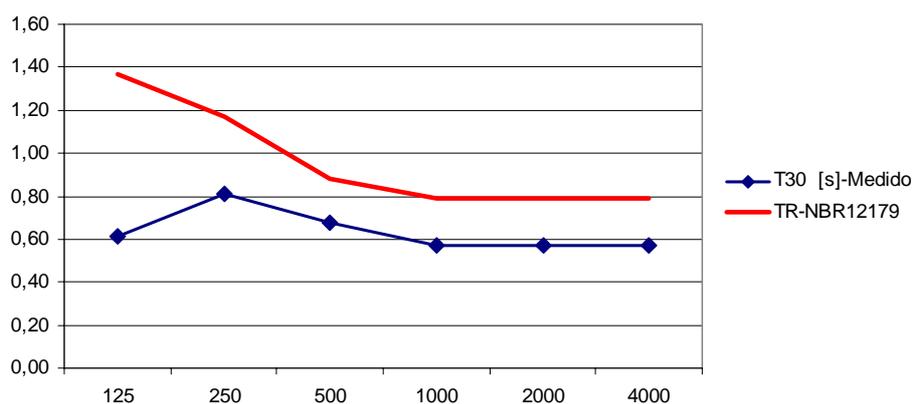


Figura 08: Tempo de reverberação

Outro parâmetro a ser avaliado refere-se ao critério de isolamento de ruídos recomendado às salas de exibição, para as quais a norma sugere um nível de ruídos de fundo da ordem de 30-40 dB(A), equivalente à curva NC25-30 – NBR10152/92.

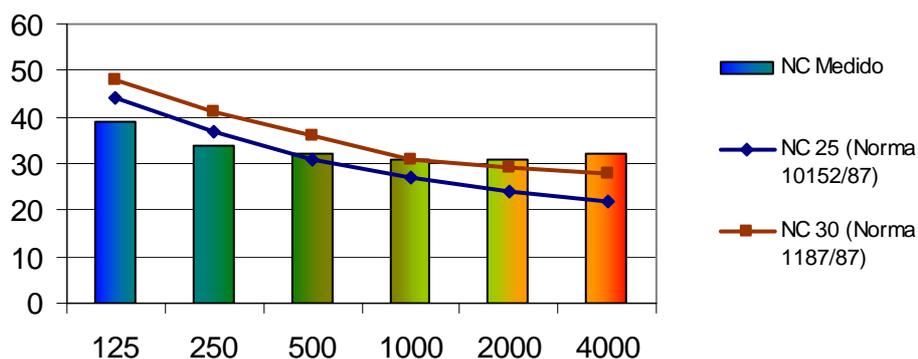


Figura 09: Nível de ruídos de fundo - NC

Através da figura 09, observa-se que os valores medidos se encontram abaixo para as frequências de 125 e 250Hz; um pouco acima para 500Hz, considerando o NC 25; no limite para 1000Hz, considerando NC30 e para as frequências de 2000 e 4000Hz, um pouco acima dos recomendados.

## 5.2 Avaliação dos subsídios para projetos de salas destinadas à palavra falada

Os subsídios relevantes referem-se à forma da sala, paredes laterais e de fundo, tipo de teto e o emprego de placas refletoras e absorvedoras. Assim, realiza-se a seguinte análise:

**Forma:** de acordo com Granado (2002) a forma retangular apresenta melhor desempenho em relação às outras formas. Como visto na figura 06, a sala tem forma retangular e para evitar o paralelismo, que pode causar eco palpitante na platéia é recomendado pequenas mudanças de direção do alinhamento dessas paredes. Nas figuras 10 e 11, observa-se a presença dessas irregularidades.



Figura 10 – Detalhe da Parede lateral



Figura 11 – Material fonoabsorvente

**Paredes laterais:** pode-se optar pelo emprego de materiais fonoabsorventes nas paredes laterais, pois estas contribuem para aumentar a área de absorção da sala, reduzindo a quantidade de reflexões tardias. Nas figuras 10 e 11, verifica-se esta opção.

Entretanto nas proximidades do palco, é interessante utilizar painéis refletoras para reforçar a primeiras reflexões para as posições laterais do palco. Verifica-se que não foi empregado esta condicionante nesse projeto.

**Parede de fundo:** na parede do fundo é recomendado o emprego de materiais fonoabsorventes, pois esses auxiliam na redução da energia detrimental, evitando ecos nas primeiras fileiras ou no palco. Na figura 12, verifica-se o emprego de material absorvente – carpet.



Figura 12 – Detalhe da Parede do fundo

**Teto da sala:** é aconselhável uma inclinação de forma adequada para favorecer o reforço dos sons úteis para as posições mais afastadas da fonte sonora e serem revestidos com materiais reflexivos. Na figura 13, percebe-se a forma convexa, contribuindo para um melhor espalhamento do som e o tipo mais reflexivo do material.

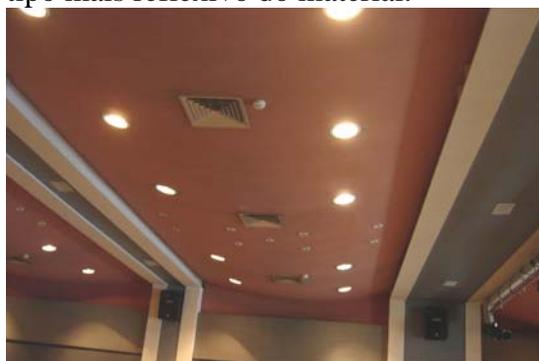


Figura 13 – Detalhe do teto da sala

## 6. CONCLUSÃO

O estudo do comportamento acústico de teatros é importante não só para proporcionar conforto, como também servir para futuras pesquisas e desenvolvimento tecnológico.

No que se refere à sensação auditiva, o interior das salas deve prever o completo envolvimento, onde som trabalhe de forma a estabelecer uma comunicação e despertar os sentimentos ao qual a peça teatral se propõe.

Neste trabalho, o teatro foi avaliado sob a abordagem de avaliar os parâmetros TR e o NC e avaliar os subsídios para projetos de salas destinadas à palavra falada.

Na primeira avaliação, percebe-se que a sala apresenta soluções adequadas às necessidades acústicas quanto ao TR, baseado nas normas nacionais vigentes. Quanto ao NC, encontra-se muito próximo dos valores fixados pela norma, apresentando somente para as altas frequências valores acima dos estabelecidos.

Na segunda avaliação, os subsídios empregados estão de acordo, exceto em relação ao emprego de painéis refletores nas paredes próximas ao palco.

Entretanto, destaca-se a necessidade de uma discussão sobre as normas nacionais vigentes, normas que acompanhem a evolução tecnológica e as necessidades atuais, visto que as normas internacionais, na sua maioria apresentam valores mais exigentes dos das nacionais.

Através das análises, verifica-se que o objetivo do estudo foi atingido, servindo de base experimental para futuros estudos.

## 7. AGRADECIMENTOS

Aos responsáveis pelo Teatro, por facilitarem o acesso às dependências do teatro e permitirem a realização das medições acústicas.

Ao arquiteto Paulo Sophia, por fornecer os desenhos do teatro.

À Universidade do Vale do Paraíba por permitir a realização das medições no interior do teatro.

À Universidade Estadual de Maringá, por ceder o software Dirac 3.0 e o medidor 01 dB para utilização com fins acadêmicos.

## 8. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Alberto Vieira. Teatros e auditórios – acústica e arquitetura. Rio de Janeiro. H. Sheldon, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10152. Níveis de ruído para conforto acústico, 1987.

Audio Engineering Society. Multichannel surround sound systems and operations. Disponível em <<http://www.aes.org>>.

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.

CORBIOLI, Nanci. “Salas de espetáculo – teatro não é auditório”. Revista Projeto Design, Edição 266, abril, 2002.

FUNARTE. Tipologias. Disponível em <<http://www.ctac.gov.br>>. Acessado em 20/09/2005.

HENRIQUE, Luís L. Acústica musical. Lisboa: Fundação Calouse Gulbenkian, 2002.

GRANADO JR, Milton Vilhena; BISTAFA, Sylvio Reynaldo. “Simulação acústicas de teatros com programa comercial de traçado de raios – relato de uma experiência”. VII Encontro Nacional de Conforto Ambiental no Ambiente Construído, Curitiba, 2003, p.510-515.

GRANADO JR, Milton Vilhena. Acústica arquitetônica: subsídios para projeto de salas para palavra falada - Teatro de Palco Italiano. São Paulo, 2002. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, Willi de Barros; PEREIRA, Rubem Gomes. “Estudo e projeto acústica para o teatro municipal de Nova Lima”. I Congresso Iberoamericano e Acústica, Florianópolis, 1998, p.535-538.

SERRONI, J. C. Teatros: uma memória do espaço cênico do Brasil. São Paulo: Editora Senac, 2002.