



Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos



Conrado Silva De Marco

2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

ANÁLISE ACÚSTICA DE AUDITÓRIOS MUSICAIS DEPOIS DE CONSTRUÍDOS

CONRADO JORGE SILVA DE MARCO

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor.

Orientadora: Professora Doutora Marta Bustos Romero

Brasília

2009

CONRADO JORGE SILVA DE MARCO

ANÁLISE ACÚSTICA DE AUDITÓRIOS MUSICAIS DEPOIS DE CONSTRUÍDOS

TERMO DE APROVAÇÃO

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau
de Doutor pela seguinte banca examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Marta Bustos Romero FAU/UnB – Presidente

Prof. Dr. David Bretanha Junker. MUS / UnB

Prof. Dr. Rodolfo Coelho de Souza. ECA USP-RP

Prof^ª. Dr^ª. Lea Cristina Lucas de Souza. DECiv / UFSCar

Prof. Dr. Frank Swensson. FAU / UnB

Prof^ª. Dr^ª. Francisca Albertina Schürmann. FAU / UnB (Suplente)

2009

FICHA DE CATALOGAÇÃO

Silva De Marco, Conrado, 1940 –

Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos / Conrado Silva De Marco. Brasília-DF. 2009.

Tese de Doutorado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília defendida em 07 de dezembro de 2009. Professora Orientadora: Marta Bustos Romero.

1. Acústica (Arquitetura). Título.

Agradecimentos

Agradeço a minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Marta Bustos Romero por sua paciência e estímulo no decorrer deste árduo percurso; à Prof^ª. Dr^ª. Francisca Albertina Barbosa Schürmann por seu permanente dedicação e cobrança, sem os quais esta obra nunca teria chegado ao seu fim; ao Prof. Dr. David Junker por seus conselhos valiosos na estruturação deste trabalho; ao músico e especialista em informática Kojiro Umezaki, que desde seu trabalho em Darmouth, USA, nos forneceu importante ajuda com programas de computação exclusivamente desenvolvidos; à Arq. Cândida Maciel por sua inestimável assistência técnica; à Arq. Miriam Nardelli por seu encorajamento e apoio ao longo do processo.

Agradeço também ao futuro arquiteto Mauricio Gomes da Silva Fonteles, por sua assistência em informática e por sua inestimável ajuda nas medições; à Mestre em Psicologia Clínica e Cultura Naiá Schürman Brillinger, pela revisão no português; à Arq. Leticia Marins por seu laborioso trabalho em boa parte dos desenhos deste trabalho; ao designer Bruno Schürmann pela produção da capa e ao meu filho Wesley que por tanto tempo suportou minha exasperação crescente no processo da tese.

RESUMO

SILVA DE MARCO, Conrado. **Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos**. Tese (Doutorado em Arquitetura) Universidade de Brasília-UnB, Brasília. 2009.

A tese propõe uma metodologia de análise da acústica de auditórios já construídos, com o fim de prover ferramentas para a correção do projeto acústico e da construção, tendo a finalidade de possibilitar melhores resultados na resposta acústica da sala. São analisados os princípios básicos do projeto acústico, a história do auditório e os critérios que fundamentam a qualidade do projeto acústico. São citados e analisados exemplos de auditórios que foram corrigidos depois de sua construção. Entre eles a Salle Pleyel, Paris, o Avery Fisher Hall, Nova York, o Teatro Colón, Buenos Aires e o Teatro Solís, Montevideu. Uma análise mais aprofundada, com cálculos e medições de tempos de reverberação foi realizada para três auditórios de Brasília de características totalmente diferentes: a Sala Villa-Lobos do Teatro Nacional, o Anfiteatro N. 9 da Universidade de Brasília e a Sala Jacob Germano Galler da Casa Thomas Jefferson – Asa Norte. Nas Recomendações são fornecidos esquemas da correção dos auditórios brasileiros e listados os pontos para estabelecer uma sistemática da análise.

Palavras-chave: acústica, acústica de auditórios, critérios de acústica musical.

ABSTRACT

SILVA DE MARCO, Conrado. **Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos**. Tese (Doutorado em Arquitetura) Universidade de Brasília-UnB, Brasília. 2009.

The dissertation proposes a methodology for analyzing the acoustics of build auditoriums, giving tools to correct the acoustical design and construction, in order to provide better results in the acoustical room response. It analyzes the basic principles of acoustic design, the history of the auditorium and the criteria underlying the quality of acoustic design. Examples of halls that were corrected after its construction are cited and discussed. Amongst them are the Salle Pleyel, Paris, Avery Fisher Hall, New York, the Teatro Colón, Buenos Aires and the Teatro Solís from Montevideo. Further analysis, with calculations and measurements of reverberation time, was held to three auditoriums in Brasília with completely different characteristics: the Sala Villa-Lobos's National Theater, the Anfiteatro N. 9, at the Universidade de Brasília and Jacob Germano Galler Hall at the Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. In the Recommendations Chapter, schemes for the correction of the auditoriums made in Brasília are provided and points to establish a systematic approach are listed.

Key-words: acoustics, acoustic of concert halls, musical-acoustic quality.

RESUMEN

SILVA DE MARCO, Conrado. **Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos**. Tese (Doutorado em Arquitetura) Universidade de Brasília-UnB, Brasília. 2009.

La tesis propone una metodología para el análisis de la acústica de auditorios construidos, dando herramientas para corregir diseño acústico y construcción, con la finalidad de proporcionar mejores resultados de la respuesta acústica de las salas. Se analizan los principios básicos del diseño acústico, de la historia de los auditorios y los criterios que fundamentan la calidad acústica. Se citan y discuten ejemplos de auditorios que se reformaron después de su construcción. Entre ellos, la Sala Pleyel, París, el Avery Fisher Hall, Nueva York, el Teatro Colón, Buenos Aires y el Teatro Solís, Montevideo. Un análisis más detallado, con cálculos y mediciones de tiempo de reverberación fue realizado en tres auditorios de Brasilia con características completamente diferentes: la Sala Villa-Lobos del Teatro Nacional, el Anfiteatro N° 9 de la Universidad de Brasilia y el Auditorio Jacob Germano Galler de la Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. En el capítulo de Recomendaciones figuran esquemas para la corrección de las salas brasilienses y son enumerados algunos puntos para establecer un enfoque sistemático del análisis de los auditorios.

Palabras claves: acústica, acústica de auditorios, criterios de calidad acústico-musical.

SUMÁRIO

Agradecimentos	5
Resumo	6
Abstract	7
Resumen	8
Sumário	9
Lista de figuras.	11
INTRODUÇÃO.	12
1. REFERENCIAL TEÓRICO.	17
1.1. Apanhado histórico sobre auditórios musicais.	17
1.2. Livros e artigos de acústica de auditórios	24
1.3. Dissertações e artigos relativos à análise de auditórios.	31
2. TRABALHO DE CAMPO.	32
2.1. Bases da acústica.	32
2.2. Critérios de qualidade.	40
2.3. Análises de auditórios construídos e suas reformas.	44
2.3.1. Sala Pleyel, Paris, 1927.	44
2.3.2. Auditório Avery Fisher, Nova York, 1962.	49
2.3.3. Teatro Solís, Montevideu. 1856 – 2006	55
2.3.4. Auditório do Departamento de Música da Universidade Federal de São João del-Rei. 2008.	62
2.3.5. Os três Auditórios de Brasília.	64
2.3.5.1. Sala Villa-Lobos no Teatro Nacional, Brasília.	65
2.3.5.2. Anfiteatro Número Nove — ANFI 9, UnB.	73
2.3.5.3. Auditório <i>Arq. Jacob Germano Galler</i> — Casa Thomas Jefferson – Asa Norte, Brasília.	79
2.4. Análise dos dados.	88
3. RECOMENDAÇÕES.	91
4. CONCLUSÕES.	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	100

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.	103
ANEXO 1. Normas brasileiras de acústica.	104
ANEXO 2. Cancelamento ativo de ruídos – CAR (<i>ANC</i>).	106
ANEXO 3. Originais dos textos traduzidos ao longo de trabalho.	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estado atual do teatro de Dódona (Ancient-Greece.org, 2009)	18
Figura 2	Máscara de ator grego. (foto: Igor Dutra)	19
Figura 3	Inclinação de arquibancadas. (Silva De Marco, 2009)	20
Figura 4	Projeto de teatro de Patte, 1782. Elaboração deste autor, 2009 (Fonte: Saunders, 1790, plate V.)	22
Figura 5	Tempos ótimos de reverberação. (Silva De Marco, 1982, p. 40)	38
Figura 6	Variação dos tempos ótimos com a frequência. (Silva De Marco, 1982, p. 98)	38
Figura 7	Sala Pleyel. Perspectiva da primeira versão, 1927. (Forsyth, 1985, p. 266)	44
Figura 8	Sala Pleyel, 1927. Forro refletor (Barron [1993], p. 82. Intervenção deste autor)	45
Figura 9	Sala Pleyel, 1930 (ARTEC, 2006, p. 1)	46
Figura 10	Sala Pleyel, 1981-2006 (ARTEC, 2006, p. 9)	46
Figura 11	Sala Pleyel, 2006. Forro refletor (ARTEC, 2006, p.12 Desenho recuperado e completado por este autor)	47
Figura 12	Sala Pleyel, 2006. Foto do forro refletor. (ARTEC, 2006, p. 12)	48
Figura 13	Sala Pleyel, 2006. Vista geral da sala. (Foto: Andreas Praefcke, 2008)	48
Figura 14	Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, Projeto 1962. (Beranek, 1962 p. 519)	50
Figura 15	Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, 1962 (Beranek, 1962 p. 520)	51
Figura 16	Avery Fisher Hall, 1967 (Foto de Mikhail Klassen, 2007 com intervenção deste autor)	53
Figura 17	Teatro Solís, Montevideú. 1890 (CIDDAE, 2006)	55
Figura 18	Teatro Solís. Casa de máquinas do ar condicionado. (Desenho de obra complementado por este autor)	56
Figura 19	Teatro Solís. Detalhe do isolamento do ar condicionado. (Desenho de obra detalhado por este autor)	59

Figura 20	Teatro Solís. Caixa acústica da orquestra (CIDDAE, 2006)	60
Figura 21	Teatro Solís. Fachada 2006 (CIDDAE, 2006)	61
Figura 22	Teatro Solís. 2006. Sala vista do palco (CIDDAE, 2006)	61
Figura 23	Departamento de Música UFSJ. Sala multi-uso (foto deste autor, 2009)	62
Figura 24	Teatro Nacional de Brasília, da plataforma da Estação Rodoviária (Sec. Turismo. DF)	65
Figura 25	Sala Villa-Lobos. Esquema da planta baixa (Mauricio Fonteles, 2009)	66
Figura 26	Sala Villa-Lobos. Foto virtual da platéia (maquete virtual (Jumpstudio, 2002)	67
Figura 27	Sala Villa-Lobos. Corte esquemático (Mauricio Fonteles, 2009)	69
Figura 28	Sala Villa-Lobos. Medição do tempo de reverberação (foto deste autor, 2009)	71
Figura 29	Sala Villa-Lobos. Tempo de reverberação calculado (gráfico deste autor).	72
Figura 30	ANFI – 9. Planta.	74
Figura 31	ANFI – 9. Corte.	74
Figura 32	ANFI – 9. Medição do tempo de reverberação (foto deste autor, 2009)	77
Figura 33	ANFI – 9. Tempo de reverberação calculado (gráfico deste autor).	78
Figura 34	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. Observa-se o forro inclinado e a característica absorvente das poltronas (foto R. Climaco, 2008)	79
Figura 35	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. Planta com distribuição de energia sonora (desenho especial para este trabalho)	80
Figura 36	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. As paredes laterais estão recobertas de painéis com diferentes formas de absorção sonora (foto R. Climaco, 2008)	81
Figura 37	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. Corte com raios sonoros (desenho especial para este trabalho)	82
Figura 38	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. Procedimento de medição do tempo de reverberação (foto deste autor, 2009)	86
Figura 39	Auditório da Casa Thomas Jefferson-Asa Norte. Revestimento inclinado nas laterais (foto R. Climaco, 2008)	86

Figura 40	Auditório da Casa Thomas Jefferson - Asa Norte. Tempo de reverberação calculado.	87
Figura 41	Corte da SV-L. Esquema da disposição de uma bateria de refletores/difusores suspensos da cobertura.	92
Figura 42	Planta da SV-L. Esquema da disposição de uma bateria de refletores/difusores sobre a platéia.	92
Figura 43	ANFI-9. Corte com esquema de painel refletor.	93
Figura 44	ANFI-9. Planta com localização de painéis refletores.	93
Figura 45	Esquema do CAR (<i>ANC</i>).	106
Figura 46	Zona livre de ruído por sistema <i>ANC</i> multi-canais.	107

INTRODUÇÃO

Na área da engenharia acústica, uma atividade que tem sido de grande valor é a correção de auditórios já em funcionamento. A partir da experiência profissional do autor como consultor em acústica nos últimos quarenta e três anos, percebeu-se a necessidade de elaboração de uma sistemática para a correção desses auditórios.

Muitas salas para música construídas no Brasil não levaram em conta um projeto acústico que permita assegurar sua qualidade sonora nas apresentações. De fato, não é só o Brasil que sofre esse tipo de problemas. No resto do mundo, existem exemplos soberbos de auditórios de qualidade, no entanto em muitos casos o resultado não corresponde com o projetado pelos técnicos acústicos.

A acústica é um ramo de conhecimentos que se expande em muitas direções. Ela é estudada dentro da Física, que a analisa como uma forma de propagação de energia similar à óptica; dentro da Engenharia de Materiais, onde, entre outros usos, tem sido empregada para detectar defeitos nos materiais; entre outras áreas como a Engenharia de Estruturas, a Medicina fono-auricular, a Fonologia, a Geologia, a Música e, também, a Arquitetura.

Dentro dos cursos de arquitetura, a Acústica tem sido em geral relegada a uma posição de segunda classe. Quando ela é ensinada — em numerosos cursos no Brasil ela é esquecida — a acústica é restrita a aulas teóricas: o aluno não consegue aplicar os conhecimentos teóricos na prática do projeto por diversas razões, que vão desde a falta de tempo no andamento do curso até um desinteresse sobre as necessidades da acústica na arquitetura.

Considera-se que o conhecimento da tecnologia sempre produz melhores projetos, da mesma forma que, por exemplo, saber de estrutura metálica permitiu ao Engenheiro Pier Luigi Nervi imaginar grandiosas estruturas, que não poderiam ter sido pensadas com a tecnologia anterior ao seu tempo.

O objetivo final desta Tese é fornecer ao arquiteto e, principalmente, ao estudante de arquitetura, ferramentas apropriadas para analisar um auditório já construído, do ponto de vista acústico, avaliar a sua qualidade para oferecer apresentações musicais de forma correta e estabelecer uma metodologia para a correção acústica do auditório. A apresentação desta metodologia não pretende substituir um curso formal de acústica arquitetônica, que deve estar presente na matriz curricular da faculdade de arquitetura de qualquer instituição de ensino

superior, e sim fornecer instrumentos para expandir o universo da população de arquitetos e estudantes de arquitetura de alguns aspectos da acústica arquitetônica.

Para a construção desta metodologia, este estudo apresenta: a) revisão bibliográfica da literatura referente ao tema, b) análise de intervenções realizadas em construções e reformas de auditórios; c) análise visual e auditiva de três auditórios construídos e funcionando em Brasília que apresentam características totalmente diferentes, c) cálculo acústico que permita realizar uma previsão de desempenho antes da construção ou da correção do auditório; d) medições da reverberação nos três auditórios brasilienses.

Serão apresentadas análises de alguns casos na história dos auditórios que sofreram modificações depois de ser construídos e para os quais serão considerados os procedimentos que foram aplicados. Os exemplos escolhidos nesta etapa da pesquisa foram selecionados por oferecer diferentes pontos sobre o processo pós-construção.

O Teatro Colón de Buenos Aires, Argentina está sofrendo, há vários anos, um complexo processo de restauração. Neste caso, a reconhecida qualidade da sua acústica está sendo cuidadosamente preservada (ver item 1.2) e é interessante verificar os critérios seguidos para preservar essa qualidade.

Por sua vez, o Teatro Solís¹, de Montevideú, Uruguai, seguiu poucos anos atrás um procedimento similar, no entanto, neste, a reforma foi aproveitada para corrigir erros acústicos, junto a outros problemas (ver item 2.3.3).

A Sala Pleyel, inaugurada em Paris em 1927, inicialmente foi louvada por sua qualidade acústica. Mas o gosto pela acústica musical mudou muito no século XX, devido, principalmente a evolução da tecnologia e a evolução do público. A Sala Pleyel sofreu sucessivas reformas, a maioria por problemas acústicos, até seu último avatar: re-inaugurada em 2006 é hoje muito bem conceituada como auditório para musica (ver item 2.3.1).

O Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, no Lincoln Center, é um caso flagrante do descompasso entre acústica e arquitetura, complicado com outros problemas. Inaugurado em 1962, com projeto de um dos acústicos mais importantes do planeta, Leo Beranek, sofreu uma sucessiva seqüência de reformas com pouco sucesso, até a atual, em 2006, que parece ter contentado a todos. No item 2.3.2 será descrito detalhadamente o longo processo de suas reformas e a conclusão atingida.

¹ As fotos da capa desta tese são do Teatro Solís.

A falta de acompanhamento de obra por parte do projetista de acústica pode ser funesto para o resultado de uma sala. Isto pode ser verificado exemplarmente no recém concluído Auditório do Departamento de Música da Universidade Federal de São João del-Rei, que será abordado no item 2.3.4.

Os três auditórios escolhidos em Brasília para aprofundar as técnicas de análise, são salas totalmente diferentes:

a) a Sala Villa-Lobos, do Teatro Nacional Cláudio Santoro de Brasília, é a principal sala de concertos da capital, sede da Orquestra Sinfônica do Teatro Nacional (item 2.3.5.1);

b) o Anfiteatro nº 9, localizado no Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília — ANFI – 9 —, auditório diariamente usado para shows internos, ensaios, reuniões, assembléias e palestras de uso da Universidade (item 2.3.5.2);

c) o Auditório Jacob Germano Galler, da Casa Thomas Jefferson na Asa Norte de Brasília, local pensado com o objetivo de música de câmara e também usado para aulas e palestras (item 2.3.5.3).

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Eu não quero escutar o clipe caindo no chão; eu quero escutar a orquestra! (Regente Eugene Ormandy, apud Beranek, 1962, p.1 T.A.).

A pesquisa bibliográfica revista nesta seção está subdividida em três categorias: a) apanhado histórico sobre auditórios musicais, a partir de pesquisa bibliográfica sobre o tema; b) livros e artigos sobre acústica de auditórios e c) dissertações e artigos referenciados relacionados especificamente a pesquisa e métodos de projeto acústico de auditórios.

1.1. Apanhado histórico sobre auditórios musicais.

Quando um de nossos ancestrais batia nas pedras com um pau, uma dessas pedras respondeu com um som diferente — hoje diríamos que era um som com harmônicos; já existiam tais pedras musicais! Pasmado, foi-lhe despertado o ouvido musical e nosso ancestral talvez tenha gritado, tentando imitar o som daquela pedra tão especial. Pode ter conseguido e, provavelmente, ficou feliz.

Num momento de epifania suprema pode ter vislumbrado o que viria depois: grandes grupos de homens e mulheres cantando juntos, homens construindo instrumentos para fazer sons diferentes, orquestras juntando dúzias de homens e mulheres tocando esses instrumentos, centenas de seres humanos sentados juntos escutando concertos, sinfonias, óperas...

Num momento de arroubo máximo, pode até ter imaginado máquinas automáticas fazendo música: alto-falantes enormes, amplificadores, fitas magnéticas gravadas, cd's. Então, sem dúvida, ele deve ter ficado de boca aberta.

Mas com absoluta certeza nosso ancestral nunca imaginou que, depois de muitos séculos de evolução, num longínquo século XX — está bem, ele não contava o tempo em séculos! —, músicos de vanguarda estariam de novo fazendo música com ruídos. (SILVA DE MARCO, 2008, p. 1)

No século IV a.C, os gregos faziam grandes festas em honra ao deus do vinho, Dioniso, juntando enormes procissões com cantos e danças. As procissões foram evoluindo e um "diretor de coro" — antecessor do diretor de teatro atual — preparava grupo que cantava e falava e um *rapsodo* que recitava Homero. A duração dos textos foi aumentando e assim foi

necessário que o público se sentasse para ficar confortável para ver e ouvir. Estava nascendo o teatro, tanto como espetáculo falado e cantado, quanto como local especializado de reunião e encontro.

O interesse do público era tão grande que os teatros cresceram cada vez mais. Muitos foram construídos para cinco mil pessoas e alguns maiores. O teatro de Dioniso, em Atenas, tinha espaço para dezessete mil pessoas. O teatro de Dódona² — Figura 1 — contava com dezoito mil lugares.



Figura 1 – Estado atual do teatro de Dódona.

Falar para cinquenta ou cem pessoas não era o mesmo que falar para dezoito mil. Cada vez ficou mais necessário construir algo a mais para ser ouvido melhor: aproveitar ao máximo a energia da palavra falada, fazer ακουστος (*acústica*), que significava precisamente, "fazer audível".

Barry Blesser e Linda-Ruth Salter (2007) escrevem longamente sobre experiências auditivas nos espaços arquitetônicos, ensinando a perceber o espaço construído como um espaço que, além de proporcionar uma vivência visual, também apresenta uma vivência sonora, se o observador se abre para essa nova experiência. Ao respeito dos teatros gregos eles contam da habilidade dos arquitetos para entender detalhes acústicos:

² Localizado em Épiros, não longe de Corfu. Hoje o maior dos anfiteatros remanescentes

[P]rimeiro, a grande parede frontal do palco, detrás dos intérpretes teria refletido o som para a audiência bem do jeito que o faz a parede de fundo da casa cênica em muitos teatros do século dezessete (e também em muitos teatros modernos). Segundo, aumentando a inclinação da área da arquibancada teriam posicionado o público mais perto dos intérpretes. (Anfiteatros com forte inclinação tem sem dúvida melhor acústica). Terceiro, a abertura da boca das máscaras teria funcionado como mini-megafones. Quarto, com treinamento especial, os intérpretes teriam projetado suas vozes para obter a máxima inteligibilidade. Finalmente, cantando, os intérpretes poderiam projetar suas vozes mais longe do que simplesmente falando – bem longe, provavelmente atingindo os lugares mais afastados. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 96. T. A.).

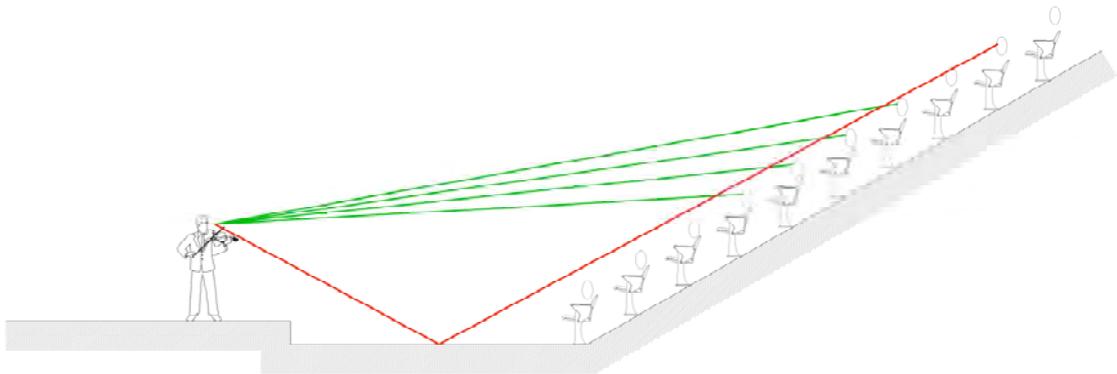
De certa forma, começava o processo histórico da construção de locais especializados para ouvir (e para ver também). Esses primeiros acústicos práticos foram intuitivos e acertados: eles inventaram máscaras com uma abertura frente à boca — Figura 2 —, similar a um funil, para aproveitar a emissão lateral do sistema fonador refletindo-a e encaminhando-a para frente, reforçando com isso a chegada do som da voz até o ouvinte.



Figura 2 – Máscara de ator grego.

Na frente dos atores, eles criaram uma área grande de piso de pedra — ou similar — chamada arena, que refletia para a audiência a parcela da energia da voz dos atores que ia para o chão; paredes de pedra ou alvenaria por trás dos atores tinham a mesma função de devolver para a audiência boa parte da energia das vozes e instrumentos que chegava a elas. Arquibancadas curvadas aproximavam consideravelmente os ouvintes dos atores, situação importante para evitar a perda de energia sonora com a distância; as ladeiras íngremes dos

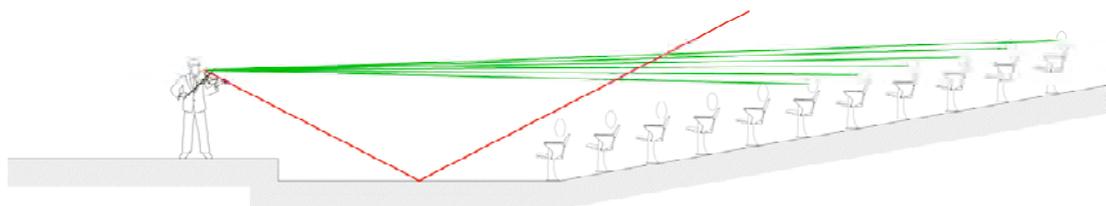
morros eram aproveitadas para construir as arquibancadas, de maneira a facilitar a propagação do som direto, que assim podia atingir as fileiras longínquas sem que parte da energia fosse absorvida ao passar rasante sobre o público, que funcionaria como absorvente de boa parte a energia radiada.



ARQUIBANCADA INGREME

Som direto chega bem a todas as fileiras.

Som refletido na arena reflete para a arquibancada.



ARQUIBANCADA POUCO INCLINADA

Som direto é parcialmente absorvido pelas fileiras da frente.

Som refletido na arena não reflete para a arquibancada.

Figura 3 – Inclinação de arquibancadas. Silva De Marco, 2009

De todos os itens destas construções, considera-se mais importante a existência de áreas silenciosas em torno dos teatros, sem ruídos que mascarariam a audição da palavra. Naquele tempo não tinha tráfego, nem terrestre nem aéreo e o silêncio, imprescindível para uma boa audição, já estava implícito na locação.

Como ficou exposto anteriormente, o arquiteto romano Vitruvius que viveu em Roma no ano 1 A. C., autor de um livro sobre a arquitetura grega: *De architectura libri decem*,

2007) conta de ressonadores instalados nas arquibancadas dos teatros para obter — provavelmente — uma pseudo- reverberação que reforçasse a voz e a música para o público presente.

No correr do tempo, a acústica foi curiosamente empregada com outros fins, como por exemplo, espionagem. Os arquitetos medievais aproveitaram conhecimentos da ressonância dos instrumentos musicais e do mecanismo da reflexão total de sons para construir dutos nas paredes que permitiam escutar a distância conversas realizados em voz baixa.

Aplicações desse tipo eram conhecidas no século XV; Francesco di Giorgio Martini (1439 — 1501), pintor e escultor italiano, além de engenheiro militar, explicou com detalhe no século XV, como funcionava esse aparelhamento:

É possível construir um instrumento com o qual o senhor pode facilmente escutar o que se fala na casa “na sua ausência”, digamos, desta forma: uma concavidade é formada como uma janela na parede (um nicho), no qual é cavado um tubo fino; na parte superior é formado um recanto que abre num sala onde o senhor, aplicando seu ouvido no tubo, escuta tudo apesar dos esforços de falar baixo. Isto é porque os restos do som e da voz nesse espaço angular se fortificam a sim mesmos (reverberam - N. do T.); de certa forma os fragmentos dispersos de juntam e viram mais fortes, com a experiência tem mostrado. (MARTINI, 1966, p.7. T. A.)

Vale lembrar que, durante a Idade Média, pouco se avançou no projeto de auditórios para música. Nesse tempo, e ainda durante o Renascimento, a música — e também a acústica — em geral era entendida como dependentes das regras herméticas da harmonia do universo: relações simples entre os números, já desde os tempos de Pitágoras, definiram as proporções das estrelas e das notas musicais. Thompson (2002) conta como a fé na harmonia do universo tomava conta — com poucas e valentes exceções — da ciência e da arte:

[...] uma fé que integrava música, arquitetura, astronomia e matemática foi aos poucos sendo transformada quando a ciência moderna foi tomando forma durante os séculos XVII e XVIII [...] Quando a ciência e a arquitetura tomaram caminhos separados, a acústica arquitetônica caiu na fenda que se abriu entre elas” (THOMPSON, 2002, p. 18-19. T. A.).

A ciência foi se afirmando em bases sólidas, enquanto que a arquitetura ficou cada vez mais do lado da arte. A acústica arquitetônica, cruzamento das duas, ficou no meio, na fenda de que Thompson fala, que foi sendo ampliada cada vez mais em função do aprofundamento da acústica na ciência, dedicando-se mais à teoria e menos à prática arquitetônica.

O desenvolvimento da acústica no século XVII colocou-se em função de outra demanda: o crescente apreço pela música erudita. Tanto os palácios de nobres amantes da música quanto, na passagem do século, no crescimento das cidades e da burguesia, começaram a exigir espaços maiores para escutar música. Como eles pagavam para entrar nos teatros — a diferença dos convidados nos salões —, isso estimulou os empresários para construir auditórios maiores, e a formar orquestras com maior número de músicos.

Os arquitetos da época começaram a pesquisar as melhores formas para construir esses grandes salões fechados para grande público. O arquiteto francês Pierre Patte (1782, apud Forsyth, 1985) estudou a forma de se propagar o som no interior dos locais e procurou a melhor forma de reforçar o som com as reflexões nas paredes. Ele verificou geometricamente que uma sala de forma elíptica, com um foco no palco (ponto A, na figura 4), produziria raios que se distribuiriam na platéia e se refletiriam nos fechamentos até se cruzarem no outro foco da elipse (ponto B), no meio da platéia, continuando seu percurso e somando-se aos sons diretos e aos das primeiras reflexões. Mas não levou em conta uma circunstância mais complexa: Se o percurso de uma reflexão (A - A' - A'') fosse maior que o percurso do som direto (A - A''), os dois sons iriam se superpor e o resultado ficaria embaralhado. E um problema maior ainda: a poltrona no ponto B da platéia iria estar num situação privilegiada: todas as reflexões da elipse iriam passar por ela, enquanto que seu vizinho, ao lado ou à frente, ia receber uma quantidade de energia sonora bem menor. Além do que, uma fonte fora do ponto A não produziria um ponto único de cruzamento das reflexões, mas uma pequena área de concentração, focal. Poltronas nessa área serão os melhores lugares para se ouvir.

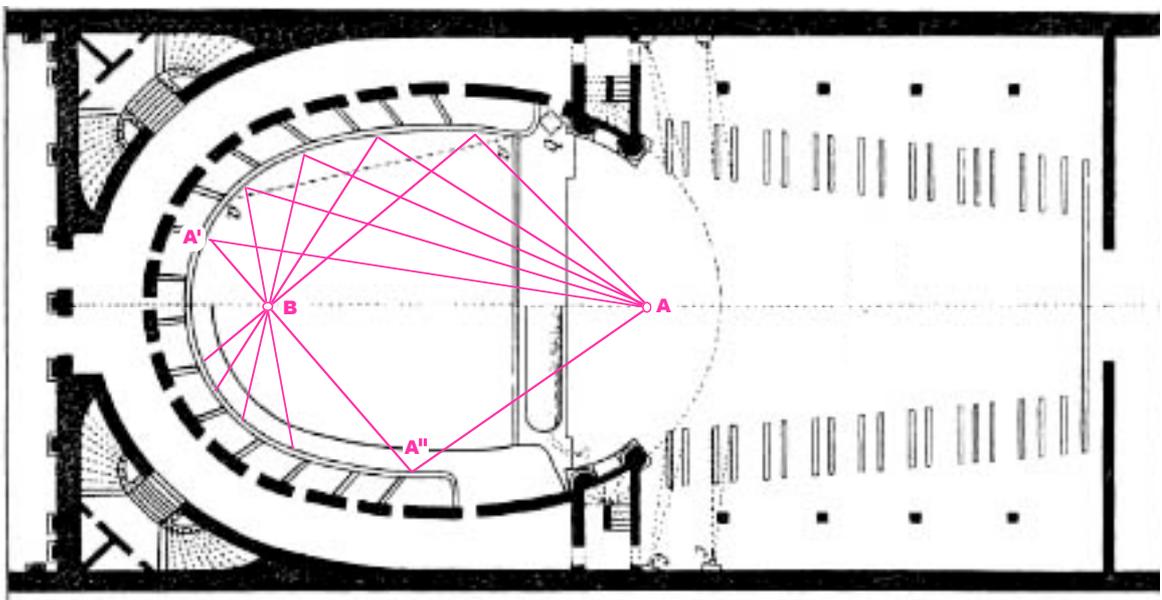


Figura 4 – Desenho de uma sala de espetáculos ideal. Pierre Patte, 1782

Elaboração deste autor, 2009.

Outros arquitetos propuseram formas diferenciadas, sempre na base de figuras geométricas, e numerosos auditórios foram construídos seguindo essas teorias, puramente formais.

Nos séculos seguintes, os construtores foram tomando consciência dos problemas acústicos e, agindo de forma intuitiva, ou aproveitando a experiência de auditórios próprios ou alheios já construídos, obtiveram alguns resultados bons. Blesser e Salter exemplificam:

[...] espaços dedicados à música proliferaram nos séculos dezoito e dezenove. Exemplos de tais grandes espaços, cujo desenho era em geral derivado da tradição, de rudes experiências, da estética visual e de crenças dogmáticas numa ciência imaginária, e cuja acústica oscilava do magnífico até o desastroso [...] (BLESSER e SALTER, 2007, p. 78. T. A.)

No fim do século XIX e no início do século XX, na Europa, a acústica como ciência se desenvolveu muito, estabelecendo procedimentos para estudar e prever a acústica de salas aplicando o desenho geométrico. A idéia era que seria possível analisar o andamento dos raios que partiam da localização da fonte — da posição do músico — e estudar como as reflexões aconteciam nos fechamentos, aplicando leis que, relativas a esses fechamentos, funcionam de uma forma similar à reflexão dos raios luminosos. O engenheiro italiano Giovanni Lauro [ca.1920] mostrou num livro do início do século XX (impossível de determinar a data de sua impressão), que era possível de ser estudada, geometricamente, a forma como o som chegava aos diferentes pontos de uma sala:

O engenheiro e o arquiteto dão curso livre à genialidade criativa da obra de arte: a ciência pode [...] oferecer a resposta para uma boa audição quando estabilizada e concretizada na obra arquitetônica, será possível examinar ponto por ponto as condições acústicas da sala e com procedimentos oportunos adaptá-la às exigências de uma boa audição. (LAURO, ca.1920, p. 189. T. A.).

O uso da geometria na acústica arquitetônica continua sendo muito importante ainda hoje, mas equipamentos novos de medição e novas formas de focar o fenômeno da propagação do som nos ambientes mudaram muito os procedimentos de projeto, como será detalhado no item 2.1.

1.2. Livros e artigos de acústica de auditórios.

Vitrúvio, arquiteto romano que viveu no século 1 AC., escreveu que os gregos já usavam conceitos de acústica em anfiteatros ao ar livre. Em sua obra já citada, (ca. 40 AC), Vitrúvio chega a indicar proporções apropriadas para espaços teatrais:

Os muretes deverão ser distribuídos proporcionalmente à altura dos teatros, não devendo ser mais altos que a largura do caminho horizontal de circulação. Efetivamente, se forem demasiado altos, repelirão e lançarão a voz para o elevado, não deixando que a terminação das palavras, com o seu correto significado, chegue aos ouvidos dos que estão nos seus lugares, acima dos muretes, Em suma, se estendermos uma linha do degrau mais baixo até o mais alto, ela deverá tocar todas as arestas e ângulos; se assim se verificar, a voz não será impedida. (VITRÚVIO, 2007, p. 249)

Um detalhe curioso na tecnologia dos auditórios, observado e comentado no mesmo texto de Vitrúvio já naqueles tempos, foi a instalação de grandes ânforas ocas e abertas, embutidas nos degraus das arquibancadas daqueles teatros. Quando você grita no bocal de um tal recipiente, o ar contido nele ressoa, produzindo uma continuidade do som, ainda depois de cessar a fonte produtora. Isto é a própria definição de “reverberação”, fenômeno que acontece obrigatoriamente em qualquer local fechado, mas que, claro, não existe em auditórios ao ar livre.

Arns e Crawford (1995) escrevem um longo artigo explicando a tecnologia empregada naqueles tempos:

A forma em que uma tecnologia particular é praticada está ligada de forma intrínseca ao contexto social na qual se encontra. Tecnologia, junto com outros fenômenos tais como estruturas sociais, valores e crenças, e linguagem e simbolismo são parte da matriz cultural. A cultura, pela sua vez, reflete e da forma à tecnologia. (ARNS E CRAWFORD, 1995, p. 104. T. A.)

Estes autores enfatizam especificamente o texto de Vitrúvio sobre como e porque esses ressonadores foram usados no teatro antigo:

Vitrúvio escreveu que as ânforas forneciam sons ricos, cheios, doces e de grande claridade. Ainda que a característica de ser ao ar livre não eliminava em absoluto (a aparição de) problemas de ecos, muitos desses teatros eram também muito grandes. Como resultado, teria sido dificultoso para os ouvintes nas fileiras superiores compreender o que estava acontecendo frente a um ruído de fundo da audiência [...] A pesar de que existem aproximadamente cem locais em condições suficientemente boas para examinar esta questão, as evidências arqueológicas indicam que não mais que seis ou sete teatros gregos ou romanos tinham tais ânforas sonoras, ou contavam com nichos que poderiam ter-lhas contido. Parece plausível: 1) que ânforas ocas de alguma forma foram usadas como forma de reforçar o som em alguns teatros gregos

ou teriam sido experimentadas em teatros romanos e 2) que Vitruvius estava fornecendo uma prescrição teórica, apropriada para seu tempo e cultura, como base para aplicações futuras. O fato de restar tão poucas dessas ânforas nos teatros antigos, pode indicar que o esquema não era eficiente o suficiente para garantir sua continuação, uma vez que o idealismo que o motivava era contra-pesado totalmente pela prática República Romana (op. cit., p. 110-112 T. A.)

Ânforas similares às dos teatros gregos e romanos foram também encontradas em igrejas românicas e góticas, porém com um sentido oposto ao indicado por Vitruvius: em vez de servirem para reforçar o som dos atores, no caso das igrejas, o uso foi aparentemente dirigido a diminuir a enorme reverberação no interior dos grandes átrios — piso, paredes e cobertura de materiais duros e por isso refletores de mais de 90% do som que chegava a eles.

Herman von Helmholtz (1885) explica que os garrafões funcionavam como ressonadores, absorventes ativos, com absorção seletiva em frequência. Esta seletividade era por vezes diminuída — e a absorção funcionava para faixas de frequência mais largas — se colocassem materiais leves e porosos no interior dos vasos (cinza, areia, etc.).

Marc Crunelle (1993) analisou esse fenômeno em muitos locais europeus e concluiu que:

[O]s vasos acústicos reaparecem na Idade Média, desta vez em igrejas, mas também de forma curiosa. São encontrados tanto em basílicas como em capelas e, ainda que distribuídas em toda Europa, não foram usados em forma sistemática. Por exemplo, em Vans, Rhône-Alpes, vasos acústicos podem ser encontrados nas capelas do *Conservatoire des Arts et Metiers* (hoje biblioteca), mas não nas grandes igrejas. Nem em St. Sulpice nem em Notre-Dame ou St. Eustache (CRUNELLE, 1993, p. 107. T.A.).

Wallace Clement Sabine foi um físico que, na virada do Séc. XIX para o Séc. XX, dedicou-se seriamente a acústica prática, na interseção entre a física e a arquitetura, e soube explicar como essas disciplinas tinham que se coordenar para obter resultados apropriados para que as comunicações sonoras, verbais e musicais conseguissem ser corretamente percebidas pelo público dos auditórios. Em numerosos escritos, publicados em diversos periódicos e organizados depois num livro, ele indicava para os arquitetos e projetistas como trabalhar no projeto de locais para ouvir, da necessidade de trabalhar com a tecnologia e não simplesmente com o bom senso:

Para levar em conta corretamente essas diferentes condições, a solução do problema deve ser quantitativa, não simplesmente qualitativa, e para obter o melhor efeito, **a solução deve ser anterior e não posterior à construção do prédio**. Para se ouvir bem em qualquer auditório é necessário que o som esteja suficientemente forte; que os componentes simultâneos de um som complexo mantenham suas intensidades

relativas e que os sons sucessivos em rápida articulação, seja de palavras, sejam de música estejam claros e diferenciados, livres uns dos outros e de ruídos alheios. (SABINE, 1922, p.4. T. A., grifo deste autor).

Esses três primeiros critérios dizem muito sobre a acústica de salas. Para o som ficar forte, é preciso estar próximo da fonte — as ondas que se originam na fonte são concêntricas, distribuindo a energia em forma mais ou menos homogênea em cada frente. Com o afastamento da fonte a intensidade diminui³. Quando a audiência é maior, isto fica mais difícil. Uma forma de conseguir aproximar os ouvintes é instalar galerias ou mezaninos, dividindo a audiência em capas superpostas. Se a audiência está num plano horizontal, as ondas sonoras varrerão a área dos ouvintes, perdendo energia em função de parte delas ser absorvida pelos ouvintes. Uma inclinação da platéia melhora essa situação (op. cit).

Na segunda década do século XX Sabine desenvolveu um algoritmo para previsão da reverberação dos locais que ainda se usa hoje:

Mostramos que a duração do som residual numa sala em particular é inversamente proporcional ao poder de absorção das paredes e do material contido. A lei é expressa acuradamente pela fórmula $(a+x)t = k$, a fórmula de uma hipérbole deslocada lateralmente. (op.cit., p. 25. T. A.).

Leo Beranek é provavelmente o acústico que mais tem se dedicado aos auditórios para música no planeta. Em 1962 ele fez um exaustivo trabalho de análise dos 54 melhores auditórios para música do mundo. O livro com esses projetos, *Music, Acoustics and Architecture* (Beranek, 1962) lista, para cada um desses auditórios, o projeto acústico, desenhos, fotos e comentários de regentes e críticos. O autor é especialmente ciente da dificuldade de definir critérios absolutos para a acústica de auditórios:

Dois pensamentos emergem das descrições dos cinquenta e quatro auditórios. Primeiro, as salas podem ser atribuídas a varias categorias ordenadas; e segundo, com exceção da melhor e da pior, tem uma grande variedade de opiniões sobre cada uma. Nenhum auditório estudado estava totalmente livre de críticas nenhuma sala deixou de ter algum elogio. (BERANEK, 1962, p. 393. T. A.).

Ele analisa didaticamente os critérios a levar em conta para obter bons resultados no projeto acústico e indica forma de obtê-los:

³ Ao ar livre, essa diminuição é de 6 dB para cada duplicação da distância à fonte. Nos locais fechados, o processo é bem mais complicado por causa das reflexões sucessivas das frentes de onda nos fechamentos e nos objetos da sala.

Se a Orquestra Sinfônica de Boston fosse instalada sobre um dos lados do seu auditório retangular e comprido, e a área do público fosse estreitada do palco até o fundo do hall, virando 90 graus, para ficar de frente a nova posição da orquestra, a música seria apreciada pelos ouvintes da mesma forma que o atual arranjo faz? Se a cobertura fosse enrolada, deixando o auditório aberto para o céu, ou se as galerias fossem eliminadas e uma nova cobertura fosse pendurada poucos metros acima das cabeças do público, a acústica mudaria? Sem dúvida, grandes diferenças resultariam com alguma dessas mudanças radicais e uma das tarefas do acústico moderno é tentar achar formulas que permitam prever o efeito de diferentes proporções na acústica do auditório. (op.cit., p. 10. T. A.).

Provavelmente Beranek foi o primeiro especialista em acústica que investiu numa prática hoje bastante propagada – pelo menos fora do Brasil: a afinação do auditório:

Desde o início do projeto, foi antecipado que certos recursos desse vasto empreendimento poderiam se beneficiar da oportunidade de ajustes finos ou revisões antes do final. No estado presente dos conhecimentos acústicos, é possível prever corretamente o volume requerido, a área destinada à audiência, a forma geral e as proporções básicas da sala, as dimensões do palco a quantidade admissível de carpete e outros materiais absorventes e o desenho básico para um forro refletor sobre o palco e parte da sala. A acústica ainda não desenvolveu uma forma de determinar, com precisão e com antecedência, as especificações dos detalhes finos — a orientação dos painéis refletores em torno do palco, a altura exata e as proporções das áreas abertas no forro e os ângulos de cada painel do forro e do palco. (op. cit., p. 526. T. A.).

Beranek vai aplicar o conceito de afinação do auditório para o seu projeto da sala da Orquestra Filarmônica de Nova York. Esse projeto teve conseqüências muito especiais que serão detalhadas no item 2.3.2 deste texto. Beranek acredita que esta seja a primeira vez em que se aplique esse processo de afinação e explica os procedimentos que ocorreram em uma semana desta forma:

A semana de ajuste foi realizada com a ajuda da Orquestra Filarmônica e um grupo de ouvintes altamente qualificados, junto com o projetista da acústica, o arquiteto e o contratante. Até onde eu sei, nenhum grande auditório americano de 1857 até o presente teve sua acústica experimentalmente ajustada antes da abertura. (op. cit., p. 527).

A reverberação correta é fundamental para o músico, para ele se sentir cômodo na sua interpretação da obra musical.

A apreciação da reverberação espacial, especialmente quando interpretando música do século XIX em auditórios do século XIX é bem claro em numerosos dados coletados por Beranek (1996 b). O renomeado violinista Isaac Stern disse que “quando [o violinista] vá de uma nota para outra, a nota anterior persiste e ele tem a

sensação de que cada nota está rodeada de energia. Quando isto acontece o violinista sente que ele não está tocando desprotegido, ou “nu”, que tem uma aura amistosa rodeando cada nota... O efeito é bem lisonjeiro. É como andar decolando com foguetes a jato” (op. cit., p. 102).

Schroeder et al. (1966) avalizaram a acústica do Auditório da Filarmônica de Nova York, através de computadores, durante a quarta alteração do programa do auditório. Foram analisadas as seguintes variáveis:

1. tempo de reverberação nas primeiras e últimas partes da 'redução';
2. energias provenientes do som direto e das reflexões do forro suspenso;
3. energias iniciais (chegando até 50 ms após o som direto) e energia reverberante (chegando após 50 ms);
4. distribuição direcional das primeiras energias chegando;
5. relação entre as energias iniciais e reverberantes;
6. intensidade das reflexões da parede posterior da sala;
7. nível de ruído ambiente do auditório.

Haedo et al. (2008), relatam os procedimentos usados no projeto de reforma do Teatro Colón, Buenos Aires, ainda não concluídos. Eles chamam a atenção de que não se trata de uma reforma, mas de uma “restauração” (Haedo et al. 2008, p. 3). O Teatro Colón, inaugurado em 1908, foi reconhecido como uma das melhores acústicas do mundo (Beranek, 1962, p. 181), e isso se tornou fundamental na definição do que seria realizado. “A geometria da sala será preservada na sua totalidade (decisão que inclui as inclinações dos pisos da platéia e do palco e a estrutura da caixa cênica original)” (HAEDO et al. 2008, p. 5. T.A.).

A elaboração do projeto conta com um providencial cuidado com a situação original, considerada fundamental no longo processo. Diferentemente de outras situações, em que a tarefa de reforma sucede alguma catástrofe, notoriamente incêndios, neste caso a restauração é iniciada com a sala em pleno funcionamento. Haedo indica uma sequência de ações para informar a situação da sala antes da reforma, dados indispensáveis para conseguir o objetivo proposto:

Para realizar esta tarefa, contamos com diversas fontes de informação:

- Plantas atualizadas de arquitetura.
- Arquivos históricos do teatro.
- Estudos acústicos prévios.
- Medições acústicas da sala (modelo 1:1).

- Simulações digitais da sala.
- Análises auditivas realizadas por músicos e especialistas.
(HAEDO et al. 2008, p. 5. T.A.).

A seguir, ele indica uma metodologia para desenvolver o trabalho de restauração, que inclui diversos tipos de medições e de estudo em modelos:

1. Diagnóstico do estado acústico prévio ao início das tarefas de restauração. Realização de medições de campo acústico na base da norma ISO 3382.
2. Medições acústicas da sala durante o desarmamento sequenciado, antes e depois da retirada de cada um dos materiais interiores à mesma.
3. Medição em laboratório das características acústicas dos componentes e materiais retirados da sala.
4. Medição em laboratório das características acústicas dos componentes e materiais que seriam incorporados em substituição aos retirados da sala.
5. Elaboração de um modelo acústico digital para o controle de processo de desarmamento – rearmamento da sala.
6. Medições acústicas da sala no processo sequenciado de rearmamento.
7. Medição final com a sala totalmente equipada e funcionando.
8. Comparação das medições indicadas na fase 1 (condição inicial) e na fase 7 (condição final) (op. cit., p. 5. T.A.).

Haedo é ciente da dificuldade de manter valores da acústica original por causa de “diferentes condições de uso, tais como sala vazia, com diferente quantidade e tipo de público, com caixa acústica, com cortina abaixada, com cortina corta-fogo, com diferentes cenografias, com palco vazio, etc.” (op.cit. p. 10. T.A.) E ainda leva em conta a pouca confiabilidade da memória: “[é] bem conhecido o fato de que a memória auditiva a longo termo é pouco estável (pode-se dizer ‘soa diferente’ ainda quando não tiver acontecido mudanças)” (op. cit. p. 11 T.A). Ele espera manter as características originais “controlando através de medições as respostas acústica de todos os materiais novos, instalando eles onde estavam os anteriores, a qualidade acústica original da sala será mantida sem alterações” (op.cit., p. 11. T.A.).

Tamanini (2008) aponta que o arquiteto paulista Rino Levi (1901 – 1965) foi um dos primeiros arquitetos brasileiros a se interessar profundamente pela acústica arquitetônica, quando ele se viu na necessidade de conhecer o funcionamento acústico de uma sala para assim projetá-la melhor:

[...] durante a fase de elaboração de projetos para salas de espetáculos, Rino Levi não encontrou nenhum especialista no Brasil que pudesse auxiliá-lo sobre a acústica dos espaços e resolveu retomar os estudos sobre o assunto e a desenvolver as suas próprias considerações para os seus projetos. Surge pela primeira vez gráficos de visibilidade e de cálculos acústicos para os ambientes, e os resultados acústicos

deixam de ser empíricos. No projeto do Cine Ufa-Palácio estes conceitos são apresentados pela primeira vez. (TAMANINI, 2008, p. 4).

Miguel (2003) destaca a forma de trabalhar de Rino Levi com os problemas acústicos. Levi elaborou tabelas dos tempos de reverberação previstos, calculados na ponta do lápis, em 1936, e fez desenhos geométricos corretos da distribuição da energia sonora em planta e corte para o projeto do cinema Ufa-Palácio.

Nesse sentido, em 1936 foi construído o Cinema Ufa-Palácio, o primeiro com características invejáveis, tornando-se assim nosso objeto de estudo.

Os cinemas nessa época eram construídos para abrigar um grande número de espectadores, sendo que o Ufa-Palácio foi projetado para comportar 3119 lugares[...] O cinema faz parte de um conjunto que abriga também oito pavimentos superiores de apartamentos. Mas o grande destaque refere-se à sala de exibição e o foyer.

Como citado, foi o primeiro cinema que resultou de estudos minuciosos de acústica e de cálculos de visibilidade, tornando-se rapidamente referência para os demais projetos dessa natureza. Nesse projeto, o arquiteto relata que é importante à distribuição da intensidade sonora uniforme em todos os pontos da plateia; a inteligibilidade do som e a pureza do som. (MIGUEL, 2003, p. 2).

1.3. Dissertações e artigos relativos à análise de auditórios

Passeri Jr. e Bistafa (2008) propõem um tema que vem especificamente ao encontro do objetivo deste trabalho de analisar obras e projetos de acústica de auditórios visando sua correção. Eles analisam auditórios de múltipla função, pensados para servir tanto à palavra quanto à música dos tipos mais diversos: ópera, concerto sinfônico, música de câmara etc. Corretamente, eles justificam esta realidade por motivos basicamente econômicos — os proprietários das salas precisam da maior quantidade de clientes para justificar sua existência.

Salas multifuncionais exigem características necessárias às diferentes funções. E diferentes funções priorizam determinadas características para obter resultados corretos para cada uso; quase sempre essas características resultam em detalhes construtivos diferentes e por vezes opostos:

Os parâmetros objetivos de avaliação da qualidade sonora de salas são de grande valia na simulação de uma sala multifuncional na fase de projeto, para verificar seu desempenho em todas as situações de uso pretendidas. Dessa forma, a correta resolução acústica de uma sala multifuncional deve resultar em valores desses parâmetros que estejam de acordo com aqueles preconizados, em cada caso. Os resultados dos índices objetivos simulados, mapeados e associados à escala de cores, correlacionaram-se qualitativamente bem com o desempenho acústico avaliado em campo durante os estudos de caso. (PASSERI Jr. & BISTAFA, 2008, p. 8)

Determinante no trabalho de Passeri Jr. e Bistafa é o uso de um instrumental de alta sofisticação, que permite a análise e a simulação acústica dos ambientes com modelos digitais das salas em 3D, que podem ser construídos a partir dos projetos arquitetônicos. Tais simulações permitem prever os resultados com bastante precisão, previamente à construção. Passeri Jr. e Bistafa explicam:

Os programas computacionais de simulação acústica por traçado de raios, como o que foi utilizado neste trabalho, constituem-se numa excelente ferramenta para arquitetos, no sentido de permitir uma avaliação prévia dos resultados acústicos da sala a partir de diversas combinações de materiais de acabamento e revestimento. Para que se possam obter resultados mais precisos com o programa computacional de traçado de raios, de modo que ele possa vir a ser utilizado com confiabilidade no desenvolvimento de projetos específicos, há necessidade de um melhor entendimento da interação entre absorção e difusão nesse tipo de programa. (op.cit., p. 8).

2 TRABALHO DE CAMPO

2.1 Bases da acústica

Ao entrar num local desconhecido com os olhos fechados, o que se escuta e como se escuta tem muito dizer sobre esse espaço. Se ele é grande, se é pequeno, se está vazio, se está mobiliado...

Blessner e Salter (2007) definem o conceito de “arquitetura auditiva”, com um paralelo da arquitetura visual. A arquitetura em geral se apóia na percepção visual do espaço construído, deixando de lado outras possíveis percepções: o espaço sonoro, o espaço odorífico, o espaço tátil. Eles postulam a compreensão de uma arquitetura apoiada na percepção do som, na resposta sonora que um local produz.

O simples fato de ter pela frente uma grande parede cria a percepção de uma “resposta” da mesma. Se a parede está próxima, a reflexão que ela produz passa a resposta de que ela não está longe. Ao se afastar, a resposta será um pouco mais demorada. Com um afastamento muito grande – na faixa de 17 metros – a sensação dá um pulo: se escuta um eco, uma repetição do som claramente definida. Os 17 metros de distância da parede correspondem a um percurso de trinta e quatro metros para o som ir e voltar. Com uma velocidade do som no ar de 340 metros por segundo, a demora do retorno é um décimo de segundo. A acústica fisiológica indica que esse é o tempo para que os neurônios que transmitem a vibração sonora para o cérebro se recuperem para entender o som refletido como um novo som — o eco. Para distâncias menores — produzindo demoras menores — os neurônios estão descansando da tarefa anterior de transmissão e o som refletido se funde com o primeiro produzindo, no nosso cérebro, a sensação de prolongamento do primeiro som.

Blessner e Salter (2007), analisando os espaços arquitetônicos, ampliam o conceito para ambientes mais complexos afirmando:

Um ambiente real, uma avenida, uma sala de concertos, uma floresta densa, são sonoramente mais complicados que uma parede. A composição de numerosas superfícies, objetos e geometrias de um ambiente complexo dariam uma *arquitetura auditiva*. Quando escutamos a forma como fontes múltiplas interagem com vários elementos espaciais, assinamos a personalidade identificável para a arquitetura audível, da mesma forma como interpretamos o eco como a “personalidade” audível da parede. (BLESSNER e SALTER, 2007, p. 2. T. A.)

Todo um ramo da música eletroacústica trabalha com os sons do ambiente, realizando composições com sons reais, mais ou menos transformados com uma complexa parafernália de filtros, amplificadores, reverberadores, além de alguns processos digitais que trituram e regeneram o som original. O resultado são complexos sonoros, que criam sensações ligadas ao ambiente real e reconhecível. O fato da música eletroacústica nos apresentar, do lado da arte, produtos que evocam sons do lado da vida real — de forma similar ao que mostram alguns tipos de fotografias que transcendem a simples documentação da realidade — essa linha de música eletroacústica, chamada *soundscape*, nos oferece, quando mostrada num concerto, como uma obra de arte, uma versão nova do objeto sonoro original. E não fica só nisso. Como indicam Blesser e Salter:

Ainda que costumamos pensar o “soundscape” (panorama sonoro) como uma coleção de eventos sonoros, ele inclui a arquitetura auditiva do entorno. A experiência de escutar um sermão numa catedral é uma combinação da articulação apaixonada do padre e da reverberação espacial. A interpretação de um concerto de violino combina os sons do instrumento musical com a acústica da sala de concerto. O panorama sonoro de uma floresta combina o canto dos pássaros com as características acústicas das colinas, vales, árvores e do ar em movimento. Para usar uma metáfora alimentar, eventos sonoros são os ingredientes, a arquitetura auditiva é o estilo culinário e, como uma combinação inseparável, o panorama sonoro é o prato resultante. (op.cit., p.15. T. A.)

A forma de um local, a relação dimensional de largura, comprimento e altura fornecem parâmetros para estudar — e prever — a sua resposta sonora. A geometria do local é responsável pelos percursos que o som realiza no interior, mudando a percepção dos sons, as suas características e qualidades produzindo respostas sonoras diferenciadas e propondo uma arquitetura auditiva. Fechamentos curvos adquirem importância especial na forma da percepção, produzindo distorções das reflexões. Ainda segundo Blesser e Salter:

Quando um espaço tem superfícies curvas, sua acústica muda rapidamente a geometria percebida auditivamente daquele espaço. Da mesma forma que o espelho lateral de um carro avisa que objetos (visuais) estão mais próximos (maiores) do que parecem, superfícies curvas também focalizam o som de forma que a fonte aparece auditivamente próxima ou afastada, maior ou menor. Podemos pensar essas superfícies curvas como distorções de uma arena acústica circular. Superfícies curvas podem também produzir áreas acústicas mortas, nas quais a fonte fica inaudível, como se fosse uma arena isolada acusticamente. Privacidade auditiva não precisa de paredes. Pelo contrário algumas superfícies curvas dão a impressão que um orador está sentado a sua direita ou a sua esquerda. Museus de ciência amiúde mostram como um refletor sonoro de forma parabólica desloca um orador que está a

trinta metros para uma distância auditivamente percebida de três centímetros, um deslocamento de um milésimo. (op.cit., p. 54)

Para o público se concentrar numa comunicação sonora que será realizada, ele precisa de silêncio. Por isto, a acústica de um auditório deve ser estudada inicialmente em função de sua localização, dentro de um espaço construído, ou dentro de espaço onde está localizado. Se o espaço externo é silencioso, o trabalho será menor na procura do isolamento. No caso de ser ruidoso, será necessário um trabalho extra. Tudo será válido, desde interpor locais menos sensíveis ao ruído entre o auditório e os ruídos, a empregar sistemas construtivos extremamente isolantes. Os valores máximos toleráveis para esses locais estão definidos por normas específicas (ver Anexo 1).

Os materiais de revestimento dos fechamentos do local podem refletir ou não as ondas acústicas que incidem neles. A reflexão pode ser quase total — neste caso quase toda a energia que incide no fechamento retorna ao local, salientando que nenhum material fornece reflexão total ⁴ — como acontece com paredes de concreto, ou metal e, no limite oposto, a reflexão pode ser nula, por exemplo, quando a onda sonora encontra uma janela aberta. Define-se um coeficiente de absorção [α] que corresponde a fração de intensidade absorvida pelo material com relação à intensidade incidente.

$$\alpha = \frac{\text{intensidade absorvida}}{\text{intensidade incidente}}$$

Este coeficiente varia entre 0 (reflexão total) e 1 (uma janela aberta).

O processo pelo qual se percebe essa absorção não é intuitivo. Entendido o som como uma onda de pressões em movimento gerada por uma fonte vibrante ⁵, é fácil aceitar que toda

⁴ A reflexão total do som numa superfície, quando toda a energia incidente é devolvida ao local e nada dela é absorvida, independente do material da superfície acontece exclusivamente numa situação: Quando o ângulo de incidência do som nessa superfície seja menor ou igual a 5°. É o que sucede, por exemplo, nas superfícies cilíndricas, quando uma voz é dirigida à parede com esse ângulo sendo perfeitamente escutada no ponto diametralmente oposto do cilindro (ver, por exemplo, na Catedral de Brasília, onde esse fenômeno é observado. O diâmetro de 30 metros da nave, impede que o som seja ouvido numa linha reta, através da nave).

⁵ As ondas de energia sonora originadas numa fonte são concêntricas, distribuindo a energia em forma mais ou menos homogênea em cada frente de onda. Com o afastamento da fonte, a intensidade diminui. Ao ar livre, essa diminuição é de 6 dB para cada duplicação da distância à fonte. Nos locais fechados, o processo é bem mais complicado por causa das reflexões sucessivas das frentes de onda nos fechamentos e nos objetos da sala.

molécula que aparecer pela frente será levada a se movimentar, acompanhando a onda de pressão. O atrito gerado por esse movimento vai transformar parte dessa energia em calor, sugando a energia da onda. Quando a onda encontra um fechamento pela frente, irá tentar empurrá-lo. Se as moléculas deste não estão rigidamente ligadas umas nas outras— o material não é rígido o suficiente — elas vão se movimentar. O movimento vai corresponder à frequência do som, ao comprimento da onda sonora.

A frequência do som incidente define a forma como vai se produzir a absorção. Se essa frequência é alta — uma nota aguda como, por exemplo, o som de um Lá 9⁶ — o comprimento da onda é pequeno, da ordem do tamanho das fibras do material poroso e macio — lã de vidro, lã de rocha, esponjas, carpetes, estofamentos, por exemplo. Nesse caso quase toda a energia será “absorvida”, na verdade convertida em calor com o movimento super rápido das fibras do material que a energia vibrante do som impõe a essas fibras. Se, pelo contrário, o som é grave — por exemplo: para a nota La 0, o primeiro Lá do piano, a frequência é 55 Hz e o comprimento da onda, da ordem dos seis metros — as fibras do material são inertes frente à pressão sonora. Eles não se movimentam e o material não funciona como absorvente de graves. Foi preciso inventar um outro sistema para absorver esses sons. Partindo do conhecimento da forma de vibrar das membranas que produzem sons graves — a membrana dos bumbos — foi criada a técnica de construir caixas fechadas com materiais flexíveis nas tampas — compensado, Duratex —. Essas tampas vibram e o ar vedado no interior da caixa funciona como uma mola, comprimindo e expandindo a massa de ar dentro da caixa e, dessa forma, transformando em calor a energia cinética do movimento.

Corre entre os acústicos uma estimativa — correta ainda que não precisamente acadêmica — da quantidade de calor emitida pela absorção acústica dos materiais de construção: A energia térmica — caso fosse possível de se aproveitar — produzida pelos gritos de uma torcida ensandecida com um gol do Flamengo no Maracanã, seria suficiente, apenas, para conseguir fritar um ovo.

O projeto acústico de um auditório para música deve levar em conta os princípios da acústica auditiva, tanto quanto da acústica teórica: o conhecimento da propagação de um som

⁶ Os nomes das notas musicais são distintos em diferentes culturas. Neste texto será adotada a nomenclatura de Lá 3 (Lá logo a direita do Do central do piano)— com frequência 440 c/s = 440 Hz. Para uma velocidade do som no ar de 345 m/s, o comprimento de onda deste Lá 3 será de 0,788 m. O Lá 9 é a sétima oitava do Lá 3 do piano, quarto harmônico Lá mais agudo do piano — não tem nota para tocá-lo, mas faz parte importante dos harmônicos superiores da vibração das cordas — a frequência é aproximadamente 28.160 Hz e o comprimento da onda, ca. 6 mm).

no ar, a sua reação no encontro com os materiais utilizados na construção — as reflexões, as absorções. Deve ser estudado o isolamento do som produzido no local para o exterior, no caso de que os locais contíguos sejam especialmente sensíveis. E a entrada de ruídos externos para o interior do auditório. Da mesma forma, deve ser controlado o nível sonoro dos ruídos estranhos à comunicação — ar condicionado, máquinas e geradores de som — no interior do auditório. O local deve ser estudado como uma unidade que responde, conforme sua forma, ao som musical gerado no interior, distribuindo este de forma mais ou menos homogênea na área do público, reforçando as notas mais graves ou as mais agudas, conforme a necessidade. Deve-se cuidar de evitar ecos nocivos, focalizações do som em alguns pontos, produzidas por superfícies refletoras côncavas, ecos palpitantes dos fechamentos paralelos, evitar a ressonância de algumas notas, produzida pelas relações entre as dimensões do local e as frequências dessas notas. Com o conhecimento da forma de absorver o som dos materiais de revestimento, será calculada a resposta seletiva em frequência da sala.

A reverberação é o critério mais importante e o mais empregado nos projetos de acústica arquitetônica. Indica o efeito produzido pela reflexão do som nos fechamentos e objetos de um auditório. Uma sala grande só com materiais refletores (p.ex. uma catedral gótica; um galpão para aeronaves) terá uma reverberação longa; uma sala menor e com quantidade considerável de materiais absorventes (um estúdio de gravação, uma biblioteca) terá uma reverberação curta. É importante notar que, ainda sendo que a reverberação é um fenômeno causado pelas reflexões do som nos fechamentos e objetos do local, ela não depende da forma do local nem da localização dos materiais refletores: ela é um fenômeno que se estuda estatisticamente, tendo um resultado único para o local.

Uma grande reverberação indica que os sons refletidos demoram um bom tempo percorrendo o ar. Reflexões sucessivas em diferentes paredes e/ou objetos, aumentam esse tempo e o som se delonga por mais tempo na sala. Se esse atraso ficar muito grande, os fonemas da palavra falada vão se superpor, ficando difícil compreender o texto oral e as notas de uma música vão se misturar, complicando a precisão harmônica da música escutada. Em texto específico de salas para palavra, Silva De Marco (1982) indica:

Deve se lembrar ainda que uma quantidade exagerada de som reverberante impediria a correta percepção do texto, no momento em que os diversos fonemas se misturam, por permanecerem por tempo exagerado no auditório (SILVA DE MARCO, 1982, p. 105).

A reverberação se avalia através do chamado tempo de reverberação, definido como o tempo em segundos que um som persiste num local, depois de ser suspenso dentro desse local. Particularmente, o tempo de reverberação mais usado, TR_{60} , se define como o tempo, em segundos, que um som demora em diminuir 60 dB, depois de a fonte desaparecer. Este tempo — TR — é diretamente proporcional ao volume do local e inversamente proporcional à absorção total desse local. Tal absorção é a soma do produto da área de cada material multiplicada pelo seu coeficiente de absorção sonora.

O coeficiente de absorção, α , é o percentual de energia absorvida por cada material.

$$TR_{60} = 0,161 \times \frac{V \text{ (volume do local, m}^3\text{)}}{A_t \text{ (absorção total, Sabines)}}$$

$$A_t = \left(\sum \alpha_i \times S_i \right) + \left(\sum A_i \times N_i \right)$$

onde:

- α_i — coeficiente de absorção do material;
- S_i — área desse material;
- A_i — absorção unitária de um determinado objeto;
- N_i — quantidade desse objeto no local.

As equações indicadas devem ser refeitas para cada frequência ou faixa de frequências porque, conforme foi definido acima, os materiais têm comportamentos absorventes diferentes para frequências diferentes. Para se obter valores em toda a gama de frequências dos sons musicais, costuma se estudar o TR em faixas de oitavas, centradas nas frequências de 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hertz (ciclos por segundo).

Valores ótimos do tempo de reverberação foram definidos para diferentes situações a partir da experiência (tentativa e erro): os valores dependem da função específica que cumprirá o local e de seu volume:

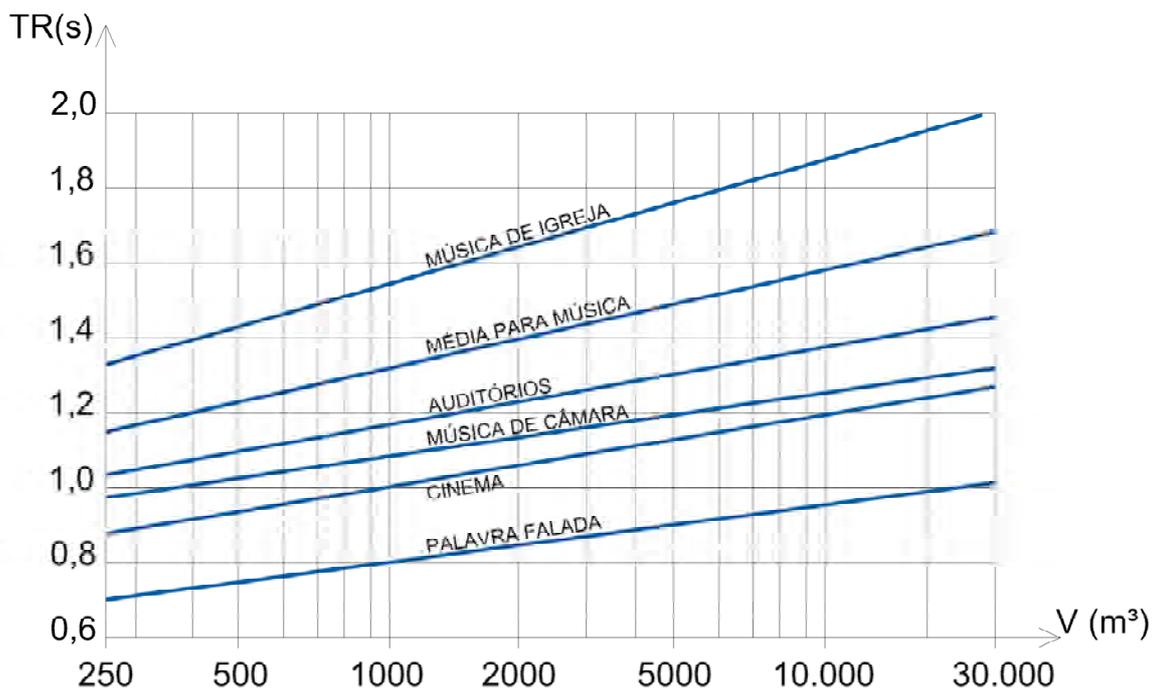


Figura 5 – Tempos ótimos de reverberação. Silva De Marco, 1982.

Esses valores deverão ser corrigidos para as diferentes frequências porque, psicologicamente, nosso ouvido requer uma quantidade maior de energia de frequências mais graves do que mais agudas.

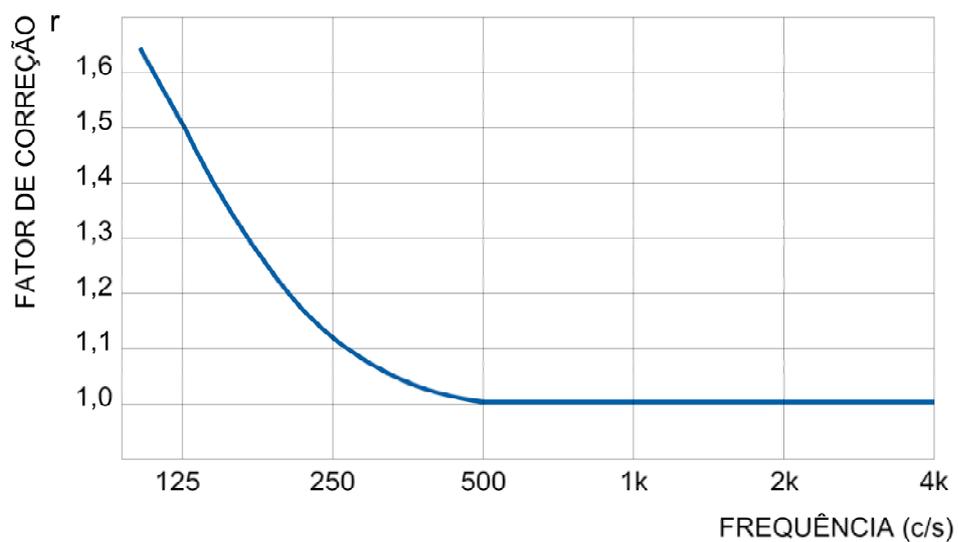


Figura 6 – Variação dos tempos ótimos com a frequência. Silva De Marco, 1982.

A partir desses objetivos, e contando com o projeto arquitetônico e os dados dos materiais e objetos que vão fazer parte do equipamento do auditório é realizado um cálculo para indicar as áreas dos materiais de revestimento dos fechamentos.

A figura 29 mostra um modelo de cálculo que permite prever o resultado do tempo de reverberação de um projeto, a partir da indicação dos materiais que serão empregados e das suas áreas em cada fechamento.

O projeto acústico deve levar em conta, é claro, o projeto arquitetônico, e o especialista de acústica deve alertar o arquiteto sobre os perigos que a forma projetada poderá produzir na resposta da sala. Pode ainda recomendar ao arquiteto a adoção de eventuais refletores para, por exemplo, reforçar o som para as fileiras mais afastadas da fonte do som, compensando assim a diminuição de energia com a distância percorrida pelo som. A boa relação entre o arquiteto e o projetista de acústica é extremamente importante para um resultado coerente e harmonioso.

Os critérios de qualidade da resposta acústica do projeto são indispensáveis para pensar a intervenção acústica e serão objeto da próxima parte.

A experiência do autor do projeto acústico aumenta a qualidade do seu projeto. Ele, enfrentadas as diferentes respostas em realizações anteriores, adquire segurança crescente em cada novo projeto lembrando-se de incluir todos os detalhes importantes, que fazem distinguir entre um bom projeto e um excelente projeto. Finalmente, é o conhecimento e a experiência musical que fazem a diferença entre os projetos acústicos.

Por vezes, o especialista em acústica tem condições de acompanhar a obra, assegurando-se que seu projeto seja realmente respeitado. Nesse caso ele será responsável pelos resultados positivos ou negativos. Mas outras vezes, quando ele não participa do acompanhamento, não poderá responder integralmente pelos resultados. A experiência tem mostrado que detalhes construtivos simplesmente não são executados, ou podem ser construídos de forma errada. Na obra finalizada, costuma ser impossível corrigir sem quebrar a construção. Essas omissões durante a obra diminuem a qualidade do projeto acústico.

A obra já terminada é inaugurada com alguns concertos. O resultado acústico será bom ou muito bom: se o cálculo foi correto, o resultado nunca será muito ruim. Mas sempre restam detalhes que podem indicar sérias melhoras no resultado. A resposta acústica do local

é o objetivo final das recomendações do especialista. Importa saber quais procedimentos nos permitiriam corrigir a construção e melhorar a resposta acústica.

Beranek (1962) tem chamado a atenção para a importância de realizar uma “afinação” do auditório, considerada como uma verificação de ter atingido o objetivo na realização do projeto acústico. Ele acredita que essa verificação é imprescindível. No item 2.3.2 se mostra um caso onde tal afinação foi empregada.

2.2 Critérios de qualidade.

Ao longo da história da acústica, o ouvido musical foi desenvolvendo conceitos para caracterizar a resposta acústica que as salas de música apresentam. Esses critérios eram tão importantes que se não fossem levados em conta na construção, poderiam ofuscar o resultado musical. Aos poucos, os acústicos foram identificando e classificando essas características que tomaram o nome de critérios de qualidade.

Enquanto, Sabine (1922) se ocupou de definir pela primeira vez critérios de qualidade, Beranek (1962) fez o primeiro levantamento dos critérios acústicos mais importantes de uma sala. Posteriormente, têm sido acrescentados diferentes critérios e dado definições não sempre idênticas para esses critérios. Blesser e Salter, por sua vez, alertam que os critérios podem não ser absolutos, já que dependem de uma série de condicionantes humanos e culturais:

Como a experiência subjetiva é frequentemente dominada pela cultura, é claramente possível que cada sub-cultura mostre grandes diferenças quando faz julgamentos perceptivos e de escolha. Por exemplo, Barron (1988) mostra que ouvintes se dividem em dois grupos, os que preferem a "intimidade" e os que preferem a "reverberação". A cada tempo, músicos, arquitetos acústicos e simples ouvintes são simplesmente diferentes sub-culturas auditivas, cada uma com seu próprio vocabulário, suas experiências e suas percepções. O problema pode ser devido a uma linguagem imperfeita ou com paradigmas de pesquisa grossos, mais do que a variações na percepção. [...] Simplesmente não é obvio que a percepção auditiva e os julgamentos de preferência devam ser consistentes. E se existem, de fato, grandes variações, qualquer tentativa de procurar resultados consistentes vai fracassar (BLESSER e SALTER, 2007 p. 223. T. A.).

A seguir serão analisados alguns dos critérios mais usados, ligando-os, o quanto possível, com os princípios.

SINTESE DOS CRITÉRIOS DE QUALIDADE DOS AUDITÓRIOS.

Intimidade	ouvir como se estivesse numa sala pequena
Vivacidade	ter a impressão subjetiva da reverberação
Clareza	perceber com transparência a música
Definição	compreender bem a palavra falada
Calidez	escutar bem os sons graves
Brilho	escutar bem os sons médios e agudos
Audibilidade	reforço da percepção por causa das reflexões
Índice de transmissão de fala	relação reverberação / ruído de fundo
Relação energia final / inicial	relação entre som direto e reverberado
Sonoridade relativa	índice de resposta da sala
Suporte	apoio aos músicos

O primeiro critério é o chamado de *intimidade*. Ele é muito importante para uma sala de concerto. Ainda que se trate de uma grande sala, o ouvinte, em geral, quer se sentir perto do intérprete, compartilhar com eles a fruição do fazer musical. Isto será conseguido se depois da chegada do som direto da fonte, as primeiras reflexões não demoram. Assim ele se sente intimamente ligado ao som, como se estivesse numa sala pequena. Beranek (1996), recomenda que essa demora não deva ultrapassar os 20 ms.

Para saber como calcular a *intimidade*, é necessário antes definir alguns conceitos ligados ao tipo de reflexões que chegam ao ouvinte. O tempo que demora o som em diminuir 10 dB seu nível de intensidade é chamado de Tempo de Decaimento Inicial — *Early Decay Time* (EDT). É a primeira parte do TR_{60} – tempo de reverberação – aquele que indica a demora do som em cair 60 dB. O EDT dá uma percepção especializada da reverberação, às vezes chamada de reverberância. A demora entre a chegada ao ouvinte do som direto e a chegada da primeira reflexão é chamada de Retardo Inicial ITDG — *Inicial Time Delay Gap*. O valor da *intimidade* está diretamente relacionado com esse retardo inicial: quanto mais curto ele for, maior a intimidade que a sala oferece.

O segundo critério, na sequência de Beranek (1996), é a *vivacidade*. Um auditório reverberante é chamado de um auditório vivo. Um outro, com muita absorção é chamado de auditório morto — ou seco. Para apreciar a música de orquestra, ou coral é fundamental contar com a vivacidade da sala. Ela está relacionada com o tempo de reverberação e com os demais critérios a seguir.

Para a apreciação musical, especialmente dos instrumentos de cordas e seus semelhantes é muito importante o critério de *clareza* (C80), chamada de *definição* por Beranek (1996). Ele confere uma idéia subjetiva da transparência da música escutada. Define-se (Passeri Jr. & Bistafa, 2008) como a energia das reflexões que chegam ao ouvinte nos primeiros 80 ms após o som direto.

Embora Beranek não faça distinção entre esta *clareza* e a *definição* — o próximo critério — hoje estes critérios são considerados por separado. Entende-se por *definição* (D50) a energia das reflexões que chegam ao ouvinte nos primeiros 50 ms, em relação à energia que chega depois. Considera-se, a *definição* é um critério mais ligado a inteligibilidade da comunicação falada. Com uma variação entre 0 e 1, a *inteligibilidade* melhora com o aumento da *definição*.

As reflexões do som nos fechamentos laterais são importantes na formação da resposta do auditório. O *envolvimento* indica as primeiras reflexões laterais a chegar ao ouvinte em até 80 ms, após o som direto. O critério de *espacialidade* — *Inter-Aural Cross Correlation Coefficient* (IACC80) — vai além, relacionando a energia recebida pelos dois ouvidos, dentro dos mesmos 80 ms.

Para Beranek (1996), o critério de *calidez* — *Warmth* — tem um alto valor para a boa audição musical. Consiste na quantidade relativa de sons mais graves com relação aos agudos. Ele é hoje medido pela relação entre a soma dos EDT — *Early Decay Time* — entre os sons graves e os sons médios. Ele estabelece um balanço tonal, ou de timbre, na resposta do local:

$$\text{Calidez} = \frac{\text{EDT}_{125} + \text{EDT}_{250}}{\text{EDT}_{500} + \text{EDT}_{1000}}$$

Também ligado ao timbre do auditório são os próximos critérios. O *brilho*, como seu nome permite prever, indica como os sons mais agudos acontecem, com relação aos médios e, em certa forma, é o oposto à ao critério de *calidez*. Será calculado como a relação entre sons e agudos e sons médios:

$$\text{Brilho} = \frac{\text{EDT}_{2000} + \text{EDT}_{4000}}{\text{EDT}_{500} + \text{EDT}_{1000}}$$

O critério de *audibilidade* — *Loudness*; parâmetro G — indica as reflexões do forro e as laterais que chegam ao ouvido do indivíduo logo após a chegada do som direto, e o reforçam ao se somarem no envio do sinal sonoro para o cérebro.

O *índice de transmissão da fala*, *Sound Transmission Index* – STI — indica a relação do efeito da reverberação com o ruído de fundo. É típico da comunicação da inteligibilidade da palavra (Bertoli, 2008)

O critério Relação energia final / inicial “*Early-to-late Energy Ratios*” — Elt — é uma proporção logarítmica obtida a partir da resposta impulsiva da sala, entre a energia inicial (som direto) medida no intervalo de tempo t [0, t], e a energia final (som reverberante) medida no intervalo de tempo t [t , ∞] (Passeri Jr. e Bistafa, 2008). O critério é similar ao C50, ponderado para palavra falada, e incorpora valores para diferentes frequências. Só considera fatores ligados à reverberação.

A *sonoridade relativa* — *Relative Loudness*, L ou *Relative Strenght*, G — é definida como a relação entre a energia num ponto do Auditório e energia da fonte medida num ambiente anecóico (Passeri Jr. e Bistafa, 2008)

Finalmente, o critério de *suporte* — ST1 — foi criado para indicar a interferência da sala nas relações entre os músicos tocando no palco:

Este parâmetro foi proposto [...] para medir o “apoio” ou o “suporte” que o som refletido pelas superfícies do palco dá aos artistas que lá estão se apresentando, porquanto está diretamente relacionado à sensação de “conjunto” e “balanço” dos músicos no palco, e estabelece que as reflexões sonoras percebidas por eles, entre 20 e 100 ms após o som direto, são consideradas benéficas, pois melhoram seu desempenho. Os valores ideais de ST1 são aqueles contidos no intervalo $-13 \text{ dB} \leq \text{ST1} \leq -11 \text{ dB}$. De acordo com SIEBEIN, os parâmetros acima têm sido cada vez mais utilizados no processo de projeto de salas de espetáculos, auditórios e teatros. Entretanto, ainda há muito a ser pesquisado, com o intuito de estabelecer de uma forma mais precisa quais as decisões do projeto de arquitetura que, realmente, interferem na resposta impulsiva em pontos diferentes de uma sala, e o quanto a resposta impulsiva da sala efetivamente contribui para o resultado da sua qualidade sonora. (PASSERI Jr. e BISTAFA, 2008, p.2).

2.3 Análise de auditórios construídos e suas reformas.

2.3.1 Sala Pleyel, Paris, 1927

Um bom exemplo de auditório reformado e transformado por motivos principalmente acústicos é a Sala Pleyel, em Paris. A idéia do autor do projeto, Gustave Lyon, engenheiro e músico, era construir uma cobertura que pudesse refletir o som de forma homogênea para todos os ouvintes. A solução geométrica levou a forma aproximada de um cilindro deitado de base parabólica com a qual os raios provenientes de uma fonte seriam refletidos pela cobertura como raios mais ou menos paralelos, que distribuiriam a energia sonora para toda a platéia. Esperava-se que a audição seria suficiente recebendo-se o som direto da fonte e uma reflexão de um forro, convenientemente disposto, para que a distribuição fosse homogênea. A repercussão depois da inauguração foi muito boa e o auditório e sua acústica receberam grandes elogios, inclusive do arquiteto Le Corbusier.



Figura 7 – Sala Pleyel. Perspectiva da primeira versão, 1927.

No entanto, logo os erros ficaram evidentes. As reflexões do forro difundiam corretamente para plateia e galeria, mas isto acontecia sempre que o intérprete ficava na

posição precisa do foco dessa parábola. A ideia não deixava de ser interessante talvez para um orador, mas não para uma orquestra, distribuída sobre uma área bem maior que um ponto focal. Outro problema foi que o percurso dos raios funcionava em mão dupla e tanto quanto os ouvintes escutavam o artista, ele também escutava, somadas, todas as conversas e ruídos de todos e cada um dos assistentes da sala. Além do qual, era impossível aos músicos se ouvirem uns os outros, vista a distância entre eles e a falta de refletores de som entre eles.

A sala comportava 3000 lugares, mais de 50 metros de comprimento e apresentava alguns problemas acústicos hoje facilmente identificados. O público da plateia por baixo da primeira galeria, apesar de receber uma reflexão, além do som direto, não recebia energia sonora suficiente. A pouca inclinação das galerias produzia grande absorção do som direto, que passava rente às cabeças do público (ver na figura 8).

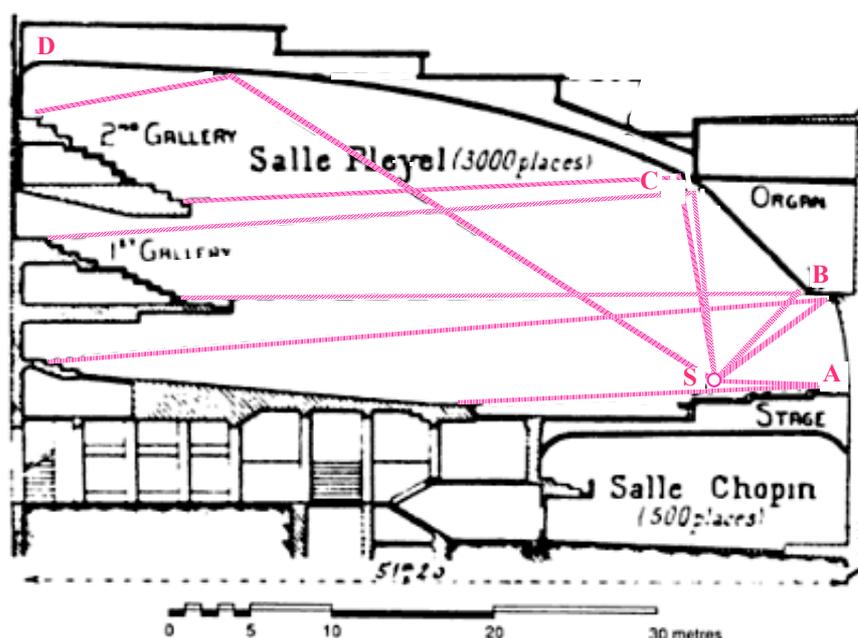


Figura. 8. Sala Pleyel, 1927. Forro refletor.
(intervenção deste autor)

O auditório incendiou-se oito meses depois de construído e na reconstrução, no ano seguinte, já se verificavam algumas tímidas correções no forro, ainda mantendo a forma parabólica, mas quebrando a curva acima da orquestra em fragmentos planos (Ver Fig. 9).

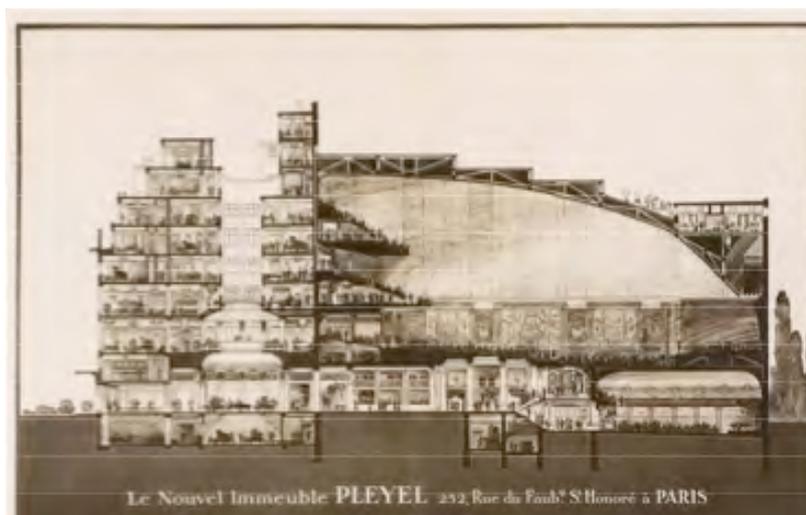


Figura 9 – Sala Pleyel, 1930

A partir daí, foram realizadas sucessivas correções, até a última em 2006, que acabaram por transformar a concepção original pouco eficiente da parábola em um auditório de alta qualidade acústica. Parte do forro, plano e horizontal, reflete agora para o palco, cruzando as reflexões entre os músicos para eles se ouvirem melhor. A figura 10 mostra a versão de 2006 com desenho em vermelho de uma versão intermediária do forro, a de 1981.



Figura 10 – Sala Pleyel, 1981-2006.

É importante verificar como a versão atual da sala ampliou bastante o volume geral

da sala, ao tempo que diminuiu a quantidade de público, de 3000 para aproximadamente 2400. Na figura seguinte, número 11, mostra como o forro atual consegue distribuir em forma, agora sim, homogênea a energia sonora na sala. Mostra também a instalação de forros refletores por baixo das galerias, para reforçar esses lugares, os mais prejudicados.

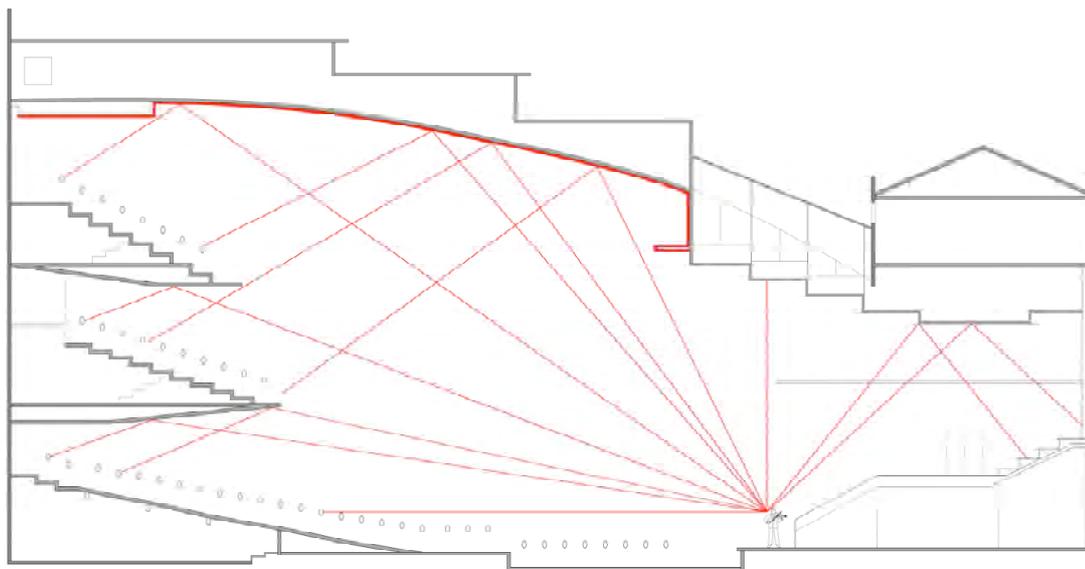


Figura 11 — Sala Pleyel, 2006. Forro refletor.

Corretamente, se verifica que a maior parte desse forro envia reflexos para a plateia, mas não para as primeiras fileiras, para as quais o som direto é suficiente. Outra parte da reflexão, logo acima dos músicos, retorna energia para os próprios músicos, que escutando a si mesmos conseguem controlar sua emissão entre uns e outros. Também esse forro plano acima dos músicos envia parte da reflexão para as poltronas logo atrás da orquestra. A difusão sonora, inexistente no projeto original, fundamental para se conseguir o efeito de audibilidade (ver item 2.2) é obtida agora a través de galerias laterais e grandes nichos cavados nas paredes laterais, como se observa na Figura 12.



Figura 12 – Sala Pleyel, 2006. Foto de forro refletor.

A figura 13, foto tomada do palco da Sala Pleyel atual, mostra como os lugares por baixo das galerias estão suficientemente abertos. E como as galerias das paredes laterais contribuem para a difusão da música da sala.



Figura 13 – Sala Pleyel, 2006. Vista geral da sala.

2.3.2 Auditório Avery Fisher, Nova York, 1962.

Em alguns casos existem circunstâncias que podem eliminar um trabalho consistente. O caso do Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, no Lincoln Center e sua decorrência é um exemplo ilustrativo. O projeto acústico foi realizado por Beranek, em 1962, com os melhores cuidados e com uso dos critérios mais avançados da acústica musical. Beranek fez um estudo histórico, comemorado até hoje, analisando exaustivamente os melhores cinquenta e quatro auditórios para música e salas de ópera do mundo. O livro foi impresso no mesmo ano que foi inaugurado o Auditório da Filarmônica (Beranek, 1962).

Beranek e sua equipe aplicaram no projeto todo o seu conhecimento, explicando detalhadamente o projeto no seu livro (op. cit.). Provavelmente foi o projeto acústico trabalhado com maior detalhe da história dos projetos de acústica para música até aquele momento, e o que foi realizado com a maior liberdade. Os diretores do Lincoln Center, proprietários do Auditório, aceitaram os conceitos enumerados por Beranek: o auditório teria como objetivo os concertos de música sinfônica — nada de salas multimídia —, a capacidade não poderia ultrapassar a possível para boa acústica e “não seriam poupados esforços para que o Auditório da Filarmônica assumisse um lugar entre os melhores auditórios do mundo — juntamente aos de Boston, Viena, Amsterdam e Basileia” (Beranek, 1962, p. 513).

A partir da comparação com outras salas pesquisadas foram definidos os parâmetros mais importantes. O volume foi afixado em um valor máximo de 24.000 m^3 , para permitir a sensação de intimidade. Deveriam ser instalados painéis suspensos do forro, suficientemente baixos (ver nas figuras 14 e 15) para que suas reflexões não demorassem mais que 23 ms em chegar ao público após a chegada do som direto. Para assegurar boa vivacidade na sala foi indicado um tempo de reverberação entre 1,85 e 1,95 segundos. Para resguardar a calidez da resposta do Auditório, dependente da quantidade de sons graves da resposta acústica, foi decidido que o reforço desses sons graves resultasse de ter um tempo de reverberação, para as notas graves, 1,2 vezes maiores do que para as notas médias e agudas.



Figura 14 – Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, Projeto 1962.

Beranek e seu grupo definiram a necessidade de “afinar” o projeto:

Desde o início do projeto foi antecipado que certas características deste vasto empreendimento se beneficiariam com a oportunidade de ajustes finos ou revisões antes do final. No estado atual do ofício acústico, é possível prever corretamente o volume necessário da sala, a área das poltronas a forma e as proporções básicas do auditório, as dimensões do palco, a quantidade admissível dos carpetes e outros materiais absorventes, o desenho básico da caixa acústica do palco e o dossel frontal do Auditório. A acústica, porém, não tem desenvolvido uma forma de determinar, com precisão e com antecedência especificações para os detalhes finos — a orientação dos painéis no palco, a altura precisa e as proporções da área aberta da caixa acústica, os ângulos dos painéis individuais dessa caixa. (BERANEK, 1962, p. 526. T. A.)

Assim, no cronograma da obra, foi prevista uma semana, antes do acabamento final da sala, para realizar uma série de testes e medições. Como o intuito era de provocar a resposta com a sala cheia de público, mantas de material com absorção sonora similar a absorção das pessoas foram colocadas sobre todas as poltronas. Uma bateria de medições foi preparada, incluindo medições do som com orquestra presente, para a qual foi até composta uma pequena partitura para permitir a medição do tempo de reverberação. Foram convidados regentes, músicos, críticos. Eles e os membros da orquestra responderiam a um formulário para avaliar sua percepção da resposta da sala. Provavelmente foi a primeira vez na história da acústica que foi feita tal análise, que o próprio Beranek chamou de afinação.



Figura 15 – Auditório da Orquestra Filarmônica de Nova York, 1962.

O autor contava que, com pequenos ajustes, o objetivo do seu projeto teria sido atingido.

Pequenas correções foram realizadas durante a semana. O dossel sobre a orquestra foi rebaixado; foi acrescentado um tablado para reforçar o som direto dos contrabaixos, painéis refletores foram instalados no palco e superfícies curvas refletoras foram acrescentadas no fundo da sala.

Os ouvintes especializados gostaram do resultado e das correções efetuadas nessa semana de “afinação”: o regente Leopold Stokowski disse que a sala estava “esplêndida” (Beranek, 1962 p. 534). Tudo parecia se dirigir a uma consagração da acústica do Auditório.

Após o ensaio da véspera da inauguração, Beranek escrevia:

Então, sábado 2 de junho de 1962 concluí um capítulo único nos anais do projeto acústico – cinco anos de cooperação simpática entre artistas e cientistas. Se a história premiaria o Auditório da Filarmônica com um lugar entre os melhores ambientes para música de concerto, é muito cedo para nos julgarmos. Mas a compreensão já gerada entre músicos, arquitetos e acústicos irá enriquecer os projetos acústicos do futuro e evitará muitas das ciladas do passado (Beranek, 1962, p. 534. T. A.).

É extremamente ilustrativo o que acontece a seguir. Logo na inauguração, julgamentos contrários e a favor se fizeram ouvir. Analisando a resposta negativa da primeira apresentação, Beranek lembra que:

[Para a estréia] foi programada uma obra que exigia uma orquestra extra-grande com três grandes coros e uma “tropa” de solistas. Para acomodar esse conjunto, o palco teve que ser ampliado ao dobro do seu tamanho. As músicas, sob a batuta de Leonard Bernstein chegavam esmagadoramente fortes e agressivas, com o som ressaltando de todos os painéis acústicos... Concertos na mesma semana, com as orquestras de Boston, Filadélfia e Cleveland, soaram melhor, em parte porque essas orquestras eram menores, em parte porque foi usado o palco original, mas o estrago já tinha sido feito: a maior parte dos críticos já tinha formado uma opinião (Beranek, 2008, p. 159. T. A.).

Críticos e músicos despencaram julgamentos negativos sobre a acústica. Michael Barron, excelente especialista em acústica, escreve:

Não dava para imaginar as tempestades que se desencadeariam após a inauguração... O Auditório da Filarmônica é considerado o maior desastre acústico do século. (Barron 1993, p. 91. T. A.).

O crítico do New York Times, Harold Schonberg descreve o som como "claro, um pouco seco, com pouca reverberação e uma notória falta de graves" (Barron, 1993, p. 93). Fantel (1976, apud Barron.1993, p. 93. T. A.) se refere a uma "dureza de aço, com violinos soando ásperos, com seções da orquestra sem condições de se misturar, como se uma parede invisível separasse as cordas, as madeiras e os metais".

Beranek e sua equipe corrigiram detalhes do projeto acústico, apesar de serem conscientes de que não era possível esperar milagres “vendo que não seria possível introduzir irregularidades suficientemente grandes nas paredes laterais para produzir efeitos substanciosos, não fizemos recomendações ao respeito” (Beranek, 2008, p. 160. T. A.).

Varias correções pontuais foram realizadas na sala, mas as crônicas negativas, na boca dos críticos já não pararam. Beranek se sentiu especialmente sensível (Beranek, 2008, p. 163. T. A.): “Outros interesses me afastaram do trabalho com auditórios e salas de ópera por mais de duas décadas depois do fiasco do Lincoln Center”

Para fazer frente às críticas, os responsáveis da sala chamaram outros consultores prestigiosos para tentar corrigir os problemas; “mais de dois milhões de dólares foram gastos em modificações” (Barron 1993, p. 91), mas as numerosas correções parciais empreendidas não surtiram efeito suficiente para acalmar os críticos.

Um tempo depois — e com uma volumosa doação do mecenas Avery Fischer — todo o interior do Auditório foi re-projetado e seu interior reconstruído. Nascia o Avery Fischer Hall, que pouco tinha a ver com o projeto original.

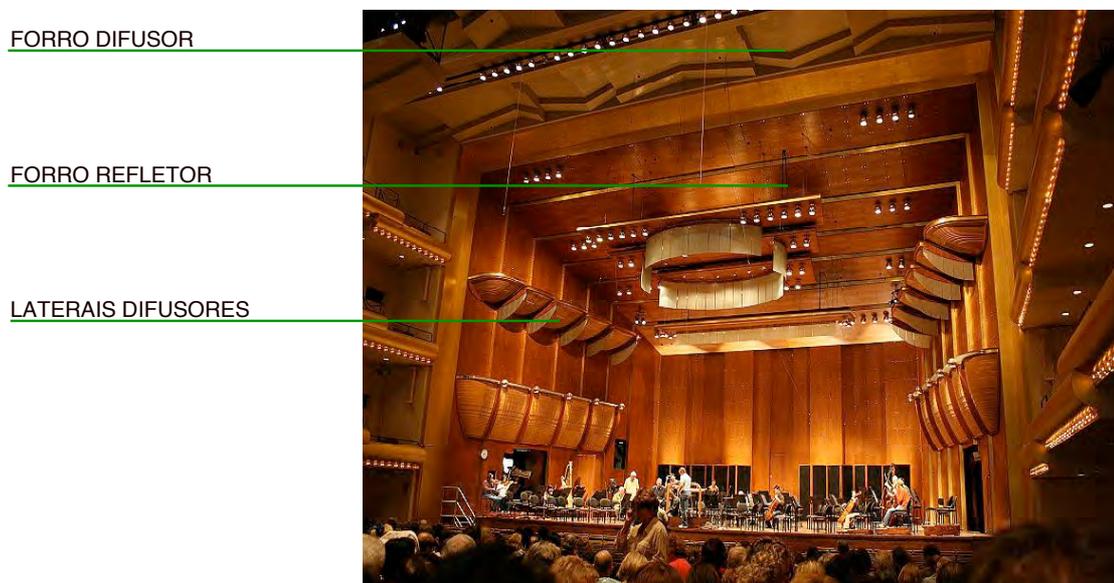


Figura 16 – Avery Fisher Hall, 1967. Intervenção deste autor.

O projeto do Auditório da Filarmônica de Nova York era para ser a culminação de uma longa e exitosa carreira como consultores da equipe de Beranek. Todos os conhecimentos atualizados e uma longa experiência foram usados no projeto. Ninguém era mais bem considerado no momento para a sua realização. Não existiam melhores ferramentas para ser aplicadas. O resultado foi questionado por Barron que pergunta:

Que teria dado errado? Quando um problema prova ser tão sério, é tal vez previsível que não existam respostas simples e que ninguém envolvido conseguiu providenciar uma avaliação completa. A charada é especialmente surpreendente já que o tempo de reverberação era próximo aos 2 segundos, considerado amiúde como valor ótimo e que a forma geral não era revoltante para padrões acústicos. (Barron, 1993, p. 91. T. A.).

O fracasso do projeto com o Auditório paira ainda hoje como um fantasma sobre todos os acústicos do mundo. O compositor e teórico Joshua Hudelson apresentou uma versão dos fatos mais abrangentes. Ele lembra que fatores econômicos, sociais, históricos e culturais influenciam a avaliação de um objeto de arte. E exemplifica com a história do Avery Fisher Hall:

[O] Auditório Avery Fisher foi o local com o máximo de diferenças ideológicas entre duas forças centrais influenciando a cena musical do centro de Manhattan no século vinte. Ainda que a ciência da acústica seja bem real, seu desdobramento é sempre político. Argumentos a favor de um tipo de som com relação a outro sempre levam com eles uma bagagem ideológica. Implícita na forma de escutar música está um tipo certo de pessoa que vá escutá-la e as prioridades de um determinado estilo de música e de interpretação. Então, a acústica vira um bode expiatório e a batalha é combatida em silêncio, por trás de paredes isolantes. (Hudelson, 2008, p. 2. T. A.).

Finalmente, pode ser concluído que é imprescindível, para o sucesso de um projeto acústico, o perfeito entendimento entre o responsável pela acústica e o arquiteto ou entre acústica e arquitetura.

Em 1984 este autor foi solicitado para realizar o projeto acústico do Auditório do Memorial da América Latina em São Paulo. O autor do projeto, Arquiteto Oscar Niemayer foi informado sobre a necessidade de instalar painéis refletores e difusores suspensos do alto da cobertura, para obter reflexões próximas que permitissem ter a sensação de intimidade na resposta da sala. O arquiteto entendeu que não seria necessário, já que a sala “seria mais usada para espetáculos de dança e folclóricos da América Latina”. Com efeito, para a inauguração foi convidado o balé cubano de Alicia Alonso. Prevendo que sem esses instrumentos, a acústica não seria conveniente para música, este autor desistiu de realizar o projeto. Tempos depois, o auditório foi aproveitado para concertos semanais da Orquestra Municipal de São Paulo. O resultado foi tão ruim que se chegou a improvisar um sistema de amplificação eletrônica, com resultado ainda pior: os microfones, alguns poucos para cada naipe, davam como resultado uma curiosa somatória do sons dos instrumentos mais próximos aos microfones, em detrimento daqueles que ficaram mais afastados, longe da qualidade sonora que se esperava de uma orquestra⁷.

⁷ O auditório foi construído, conforme o projeto arquitetônico, com duas platéias enfrentadas, uma a cada lado do palco, entendendo que a sala funcionaria quase como uma arena, própria para certo tipo de espetáculos. Quando a Orquestra Sinfônica Municipal foi trasladada ao local, para permitir o uso das duas platéias, ela foi, curiosamente, disposta de lado para as duas platéias, com o regente regendo também de lado! Essa disposição, provavelmente única na história das orquestras, deu como resultado singular que uma das platéias escutava predominantemente os violinos, em tanto que a outra se contentava com os contrabaixos, sendo eternamente solistas... A sala foi também usada para shows de música popular. A cantora popular argentina Nacha Guevara fez lá sua apresentação em 1990. Ela cantava uma música de frente para uma plateia e outra para a outra. Ela se justificava dizendo: “Bom, agora vocês podem ficar admirando minha bunda que vou cantar para a outra turma”.

2.3.3 Teatro Solís, Montevideú, 1856 – 2006.

O Teatro Solís, de Montevideú foi inaugurado em 1856. Foi reformado em 2006 e destaca nos procedimentos desta obra como é importante definir critérios que podem ser aplicados numa reforma.



Figura 17 - Teatro Solís, Montevideú. 1890.

Em 1998, após um pequeno incêndio nos depósitos, foi realizada uma exaustiva verificação das instalações, a partir da qual foi resolvido empreender uma grande reforma.

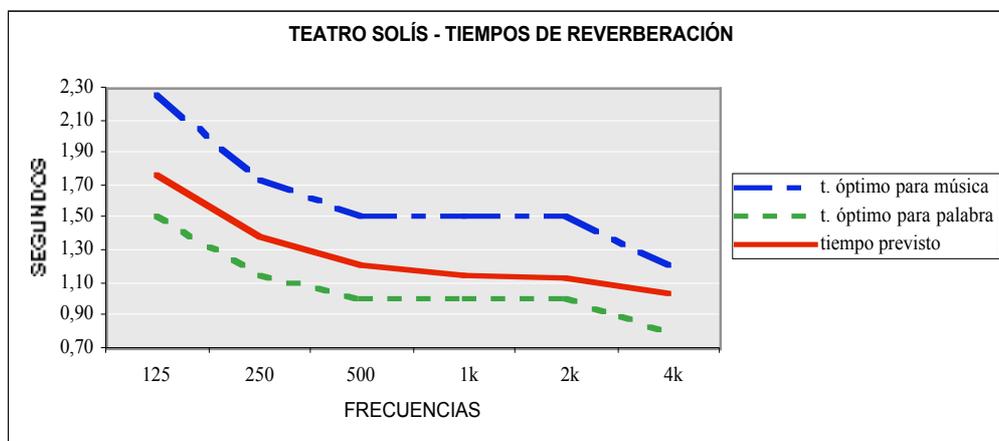
A reforma, que devia manter as características básicas do teatro, seria total. O teatro seria revisto e reconstruído, mantendo, inclusive, a acústica original. Tradicionalmente, sempre se considerou no Uruguai que o Teatro Solís tinha uma ótima acústica atribuída, miticamente, a um riacho que circularia por baixo da sala. É claro que nenhum riacho foi descoberto na reforma, que chegou a refazer parte das fundações e a instalar o sistema de ar condicionado sete metros por baixo da platéia. Curiosamente, foi verificada uma construção secreta — não constava de nenhum desenho nem texto conhecido — presumivelmente com fins acústicos: uma espécie de casco de embarcação, de madeira, oco e de uns seis metros de comprimento, tinha sido construída por baixo do local onde no início estava o fosso de orquestra.

Durante o processo de reforma, este autor foi consultado para verificar e complementar um projeto acústico realizado por técnicos franceses, que tinham suspenso totalmente sua assessoria. Nessa consultoria, entre outros itens, três destacam-se em importância para ser exemplificados para esta pesquisa:

- a) o aumento de volume da sala;
- b) o isolamento especial do sistema de ar condicionado, diretamente sob a plateia da sala;
- c) a instalação de uma caixa acústica especial para a orquestra.

A sala historicamente sempre foi usada para palavra. A Comédia Nacional, principal instituição cênica do Uruguai, teve sua sede desde seu início em 1947 nesse teatro. O tempo de reverberação original, de um segundo, era ótimo para essa função, mas extremamente exíguo para seu uso para música. A Orquestra Sinfônica Municipal de Montevideú muitas vezes reivindicara o teatro para suas apresentações permanentes, mas o tempo de reverberação para uma orquestra teria que ser em torno de 1,7 – 1,8 segundo. Como o espírito da reforma exigia manter a aparência interna da sala exatamente como o público montevideano a lembrava, foi descartada a possibilidade de aumentar o volume da sala. O ideal, para poder atingir os 1,8 segundos de tempo de reverberação seria duplicar os 5.300 metros cúbicos da sala original — o Teatro Colón de Buenos Aires conta com mais de 20.000 metros cúbicos de volume, quatro vezes maior que o Solís (Haedo, 2009). Uma opção humilde e heróica foi definida: fazer participar o volume de ar por cima do forro original, escondido do público, do volume da sala. Aberturas laterais à altura da galeria superior permitiram parcialmente criar esse aumento, quase virtual, de 950 metros cúbicos. Assim foi explicado num texto apresentado à direção da obra como justificativa na oportunidade:

Para se ter um ótimo teatro para música é necessário um volume grande (como o do Teatro Colón de Buenos Aires). Para o Teatro Solís, seria necessário contar com 9.800 m³, perante os 5.300 m³ do volume original da sala. Quase duas vezes esse



volume. Já que seria impossível duplicar o teatro, foi necessário baixas nossas pretensões. Durante o processo de reforma, conseguimos criar um acréscimo de 945 m³: dentro do volume operacional do Teatro Solís foi introduzido um volume extra, por cima do forro histórico e sob a nova laje de concreto, espaço criado na reforma para aumentar o isolamento acústico da sala com o exterior. Isto corresponde a um aumento de 18% sobre o volume histórico do Teatro. Não é muito, mas permite nos aproximar um pouco às condições ideais.

O Teatro Solís deve ser tão bom para palavra quanto para música. Essa consigna definiu a reverberação final. O gráfico acima mostra uma curva intermediária entre os tempos de reverberação ideais para palavra e para música. Esa foi a curva tomada como objetivo para o teatro, obtida com cuidados especiais. Difusores com relevos em madeira, calculados especialmente para as características da sala foram instalados nas lojas avant-scène, para aportar um certa ambigüidade à direção do som musical.

As cortinas que separam os camarotes dos vestíbulos anteriores a estes foram aproveitadas: elas permanecerão fechadas quando o teatro seja utilizado para palavra (a Comédia Nacional, por exemplo) tendo a função de absorver o som e eliminando a participação acústica do volume dos ante-palcos. Essas cortinas serão abertas durante os concertos, aproveitando o volume dos ante-palcos para aumentar um pouco (uns importantes décimos de segundo) o tempo de reverberação. É fundamental que esta medida seja mantida durante o uso do teatro: as cortinas fechadas para a Comédia e abertas para os concertos. Durante os concertos será fundamental usar a caixa acústica da orquestra, que permite que a energia sonora emitida pelos grupos instrumentais e/ou vocais seja aproveitada ao máximo, refletindo para a sala os sons que sem ela seriam perdidos para os lados, para cima e para trás dos músicos. Essa caixa acústica, facilmente desmontável, foi construída especialmente, e está sendo importada. Não poderá ser usada na re-inauguration, mas quando chegar, seu uso está previsto toda vez que um espetáculo musical seja apresentado. Um refletor acústico adicional, complementar da caixa acústica e também caixa desmontável, será pendurado sob a boca da cena, com a atribuição de fornecer um aumento das primeiras reflexões do som que chegam no ouvinte. Esse refletor terá que ser colocado para cada concerto ou ciclo dos concertos e poderá ser retirado quando o teatro for usado pela Comédia ou por outras atividades com palavra falada. A caixa acústica e o refletor extra são indispensáveis para obter a primeira qualidade acima indicada: a intimidade acústica do teatro. (SILVA DE MARCO, 2003, p. 3)

Originariamente, o Teatro Solís não tinha ar condicionado, e contava com um modesto sistema de ventilação, que não resolvia as inclemências do clima do sul. Na reforma foi previsto um sistema de ar condicionado, com ar frio e quente. O sistema, muito grande, ocuparia um espaço de doze por oito metros e quatro de altura e era necessariamente bastante barulhento. Como não podia ficar muito longe da sala; foi imprescindível sua instalação no subsolo da plateia. Lugar crítico: a sala não ia tolerar ruídos externos de mais de 25 dBA. Foi definida a construção de uma laje maciça de 20 cm de espessura, um forro isolante por baixo, suspenso por material flexível que abafasse a vibração da casa de máquinas (ver as Figuras 18 e 19). Com o mesmo objetivo, todo o equipamento ficou apoiado em molas, cuidadosamente calculadas. O piso de madeira da plateia que devia apoiar nessa laje, recebeu, sob os pilaretes, uma lâmina de neoprene para evitar a passagem de vibrações. A medição posterior à instalação, e com o equipamento a carga plena forneceu ruídos menores que 20 dBA (abaixo do limite inferior do equipamento de medição) e nenhuma vibração foi perceptível na platéia vazia e silenciosa.

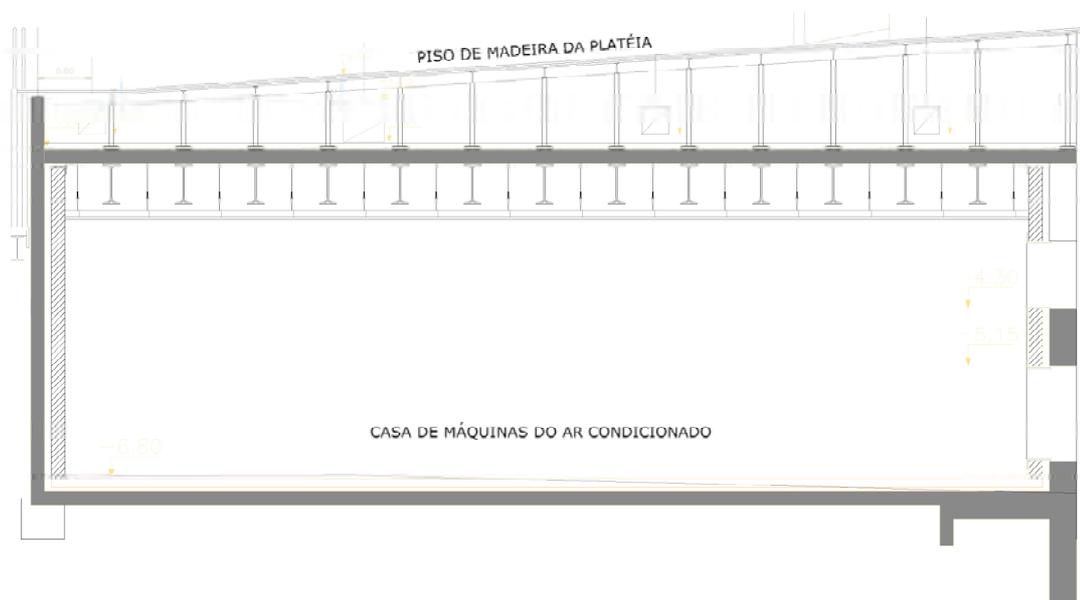


Figura 18 – Teatro Solís. Casa de máquinas do AC.
(Desenho de obra complementado por este autor)

O sistema isolante cumpria a dupla função de evitar a passagem de som aéreo — gerado

nos grandes ventiladores e transmitido por paredes e cobertura da sala — e de ruído de impacto — gerado nas vibrações do equipamento e transmitido diretamente no apoio desse equipamento na estrutura. Aproveitando que a casa de máquinas estava no subsolo, foram construídos blocos de apoio do equipamento independentes da estrutura e apoiados diretamente na terra. Molas calculadas a partir do peso e da velocidade de rotação do equipamento foram instaladas para diminuir ainda mais a passagem da inevitável vibração dos ventiladores.

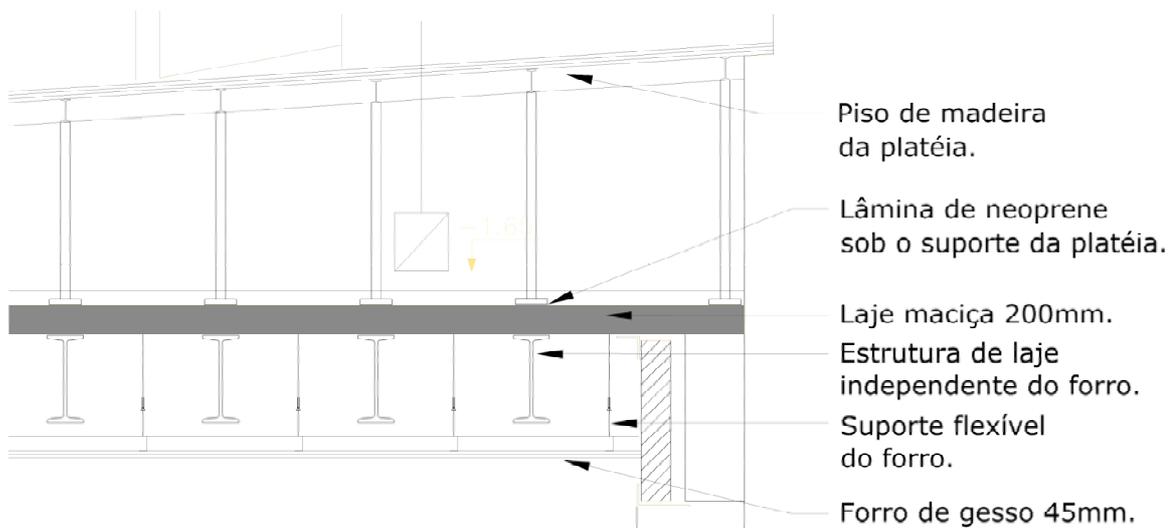


Fig.19 – Teatro Solís. AC. Detalhe do isolamento
(Desenho de obra detalhado por este autor)

O terceiro ponto acusticamente importante desta consultoria acústica foi a recomendação para aquisição de uma caixa acústica desmontável, para ser usada toda vez que a sala fosse usada para a orquestra ou para música de câmara. Desmontada, os painéis verticais são “torres” que podem se movimentar em forma independente e serem armazenadas nas coxias. Os painéis do forro são pendurados do urdimento e podem ser escamoteados quando o teatro é usado para outros fins. A caixa tem uma função dupla: concentra a energia sonora dos músicos enviando-a para a platéia e evitando que parte considerável dessa energia seja perdida quando emitida dentro do grande volume do palco (22 metros de altura), evitando, ao mesmo, tempo que a demorada reverberação, gerada naquele grande volume interferisse negativamente com a reverberação, muito menor da sala (ver na Figura 20). Por

outro lado, a forma dessa caixa permite dosar convenientemente a quantidade de som recebida por cada setor do público e permite, ao mesmo tempo, que parte da energia sonora permaneça no palco, alimentando sonoramente os músicos da orquestra.



Figura 20 – Teatro Solís. Caixa acústica da orquestra.

Na figura 21 se observa como a fachada do Teatro Solís, depois da reforma, ficou com a mesma aparência da fachada original (figura 17).



Figura 21 – Teatro Solís. Fachada 2006

O interior da sala (Figura 22), de tradicional formato de ferradura, foi mantido quase intacto. As frentes das galerias mantiveram seus revestimentos barrocos que de certa forma difundiam a energia sonora recebida. Foram retiradas todas as cortinas dos fundos das galerias, conforme o cálculo do tempo de reverberação, para aumentá-lo o máximo. Foi previsto manter abertas as portinhas dos espaços pré-lojas, com o mesmo objetivo.



Figura 22 – Teatro Solís. 2006. Sala vista do palco.

2.3.4 Auditório do Departamento de Música da Universidade Federal de São João Del-Rei.

A dificuldade de participar do processo de construção do auditório influi negativamente no resultado.

Exemplo desta constatação é o projeto de auditório de uma escola de música foi apresentado sem possibilidade de acompanhar a construção devido a distância do local. Uma visita depois de inaugurada a escola deu origem a uma avaliação negativa (SILVA DE MARCO, 2009)



Figura 23 – Departamento de Música - UFSJ. Sala Multi-uso.

No projeto foi indicado que todas as salas de aula deveriam receber um pequeno vestíbulo, com portas sucessivas. No prédio, esse vestíbulo só foi construído em algumas salas do segundo andar. Não foram aplicadas as juntas de borracha previstas (desenho no detalhe Dacu-1). Essas juntas podem não ser necessárias se a

sala é prevista só para instrumento de cordas, mas é imprescindível para piano ou instrumentos de metal.

Um tal vestíbulo foi projetado ainda para a SALA MULTI-USO (chamada Auditório, no projeto), mas não foi construído.

Na SALA MULTI-USO foi instalada uma porta, na fachada leste, que não estava no projeto, com vedação totalmente insuficiente. Deverá ser substituída por muro ou vidro fixo, conforme indicado no detalhe Dacu 2 do projeto.

Um sistema de ar condicionado ou ventilação forçada foi indicado para todas as salas onde se tocam instrumentos musicais. No prédio, o sistema só foi instalado para algumas salas do segundo andar. As salas que não tem ventilação obrigam ao professor ou aluno que usa essa sala, por motivos de higiene ambiental, a abrir a janela — que foi indicada no projeto para ser fixa — produzindo ruído para as salas contíguas, ao lado e no andar superior (ou inferior).

O ruído produzido pela ventilação é muito superior ao tolerável para aulas de música. No projeto é indicado o procedimento para evitar a passagem de ruído dos ventiladores para as salas, o que não foi lembrado na construção do prédio.

Um ponto que não foi indicado no projeto, por parecer obvio no momento da construção, é que o ventilador não pode estar diretamente apoiado em qualquer elemento da estrutura do prédio, para evitar a passagem da vibração, tal como acontece no prédio atual, precisamente no local mais crítico, a Sala Multiuso.

Foi realizado um modelo de cálculo para a definição dos materiais de revestimento das diferentes salas. A partir dele, foram definidos os materiais e as áreas de cada um para a perfeita resposta da sala. Esses valores estão indicados no nosso RT 530, de 14 de junho de 2007. As áreas de aplicação desses materiais não foram completamente seguidas na obra. Recomendamos a verificação desse listado em cada local.

A SALA MULTI-USO receberá uma correção do projeto acústico devido a futura construção de um grande ginásio próximo a ela, conforme acordado na reunião do dia 18 de setembro. Isso será detalhado em texto autônomo. (SILVA DE MARCO, 2009, p. 2)

Como, em geral, o construtor não tem conhecimentos específicos de acústica, ele não é ciente da importância que uma determinada indicação do projetista tem para o resultado final. No caso acima comentado, ele não levou em conta as recomendações relativas ao ar condicionado e o resultado foi que o ruído gerado por ele interferia no silêncio necessário para a concentração na obra musical realizada. Os materiais de revestimento foram cuidadosamente calculados e desenhados, mas não foram respeitados na obra. Áreas de aplicação foram alteradas e os materiais sofreram modificações. O projeto acústico muitas vezes costuma ser considerado não mais que um projeto de decoração. Por isso tem vital importância sempre acompanhar a obra e verificar a qualidade do serviço.

2.3.5 Os três auditórios em Brasília.

Nesta pesquisa foram estudadas com maior profundidade três salas de espetáculo de Brasília com características totalmente diferenciadas para possibilitar um melhor entendimento dos diferentes enfoques que o processo de correção acústica pode produzir.

- **Sala Villa-Lobos no Teatro Nacional Cláudio Santoro (daqui para frente chamada SV-L)**
- **Anfiteatro 9 na Universidade de Brasília (chamado de Anfi-9)**
- **Auditório Jacob Germano Galler na Casa Thomas Jefferson, Asa Norte (chamado de STJ)**

A primeira, sede da Orquestra Sinfônica do Teatro Nacional Cláudio Santoro, é uma sala de para 1.300 lugares. Seu uso é predominantemente para concertos orquestrais, mas visto a falta de auditórios especializados em Brasília, ela é aproveitada também para música de câmara, ópera, teatro de palavra e corais.

O ANFI-9 comporta uns 300 lugares. Faz parte da Universidade de Brasília e foi originariamente pensado para aulas e palestras, mas como ainda não foi construído um grande auditório para orquestra e corais, que faz parte do projeto do Departamento de Música, do Instituto de Artes, ele foi evoluindo em seu uso, para apresentações musicais, tanto eruditas quanto populares.

O Auditório Jacob Germano Galler, na Casa Thomas Jefferson – Asa Norte, que será aqui chamada STJ, para 200 lugares, foi concebido para apresentações de música de câmara e, em segundo lugar, para aulas e palestras.

Para cada um desses auditórios foram realizadas as seguintes análises:

- Observação do auditório e levantamento estimativo das características acústicas de cada local à luz dos critérios de qualidade acústica anteriormente levantados;
- Medição do tempo de reverberação, realizada empregando como fonte o ruído da explosão de um balão no palco para cada auditório. As medições foram realizadas de forma a obter a resposta do tempo por separado em seis oitavas, centradas nas frequências 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz. Foi utilizado o Sonômetro Blue Solo, da firma 01 dB. Classe 1, e o programa anexo dBati, do qual foram extraídas as curvas mostradas para cada auditório.
- Simulação acústica, modelo digital para a previsão do tempo de reverberação final, a partir do projeto arquitetônico, levando em conta todos os materiais de revestimento com seus

índices de absorção, e as áreas de aplicação. O modelo fornece a previsão do tempo de reverberação – TR – em seis faixas de frequências: 125, 250 (sons graves), 500, 1000 (sons médios) e 2.000 e 4.000 Hz (sons agudos). Os resultados foram comparados com valores definidos como ótimos para as frequências respectivas. Nos gráficos foram incluídos os valores medidos como forma de comprovação.

A seguir encontram-se os estudos específicos de cada sala.

2.3.5.1 Sala Villa Lobos do Teatro Nacional

A SV-L teve sua construção iniciada em 1960. A sua estrutura foi concluída no ano seguinte, mas a obra ficaria parada por mais de 15 anos. O teatro só foi inaugurado em 1981. O projeto arquitetônico original teve um estudo acústico completo encomendado ao Prof. Eng. Lothar Cremer, acústico famoso, professor deste autor em Berlim, que foi o primeiro a desenvolver e utilizar cálculos computacionais para acústica. Ele é o autor, entre muitos outros, do estudo acústico da sala da Orquestra Filarmônica de Berlim, projeto arquitetônico do arquiteto Hans Scharoun.



Figura 24 – Teatro Nacional de Brasília, da plataforma da Estação Rodoviária.

O projeto do Prof. Cremer para a SV-L (Nonato Silva na revista Brasília, abril de 1992, apud Araújo, 2004, p. 35) é obviamente da melhor qualidade, mas acredita-se que problemas econômicos na época provavelmente impediram sua realização. Posteriormente, na inauguração às pressas da Sala, decidiu-se não aproveitar o projeto acústico do Prof. Cremer e a sala foi inadequadamente revestida de carpete absorvente. O resultado, como era de se esperar, foi péssimo; mais tarde algumas pequenas reformas e adaptações foram implementadas sem levar em conta a acústica e hoje, na maior e mais importante sala de concertos da capital do Brasil, a Orquestra Sinfônica, apesar dos esforços de músicos e regentes, se escuta com um som extremamente pequeno. Athos Bulcão comenta em 2004 os problemas da acústica da Sala: “[...] durante muitos anos, não era um teatro ideal para concertos, devido à acústica [...] A acústica é um coisa muito difícil de resolver [...]” (Araújo, 2004 p. 25)

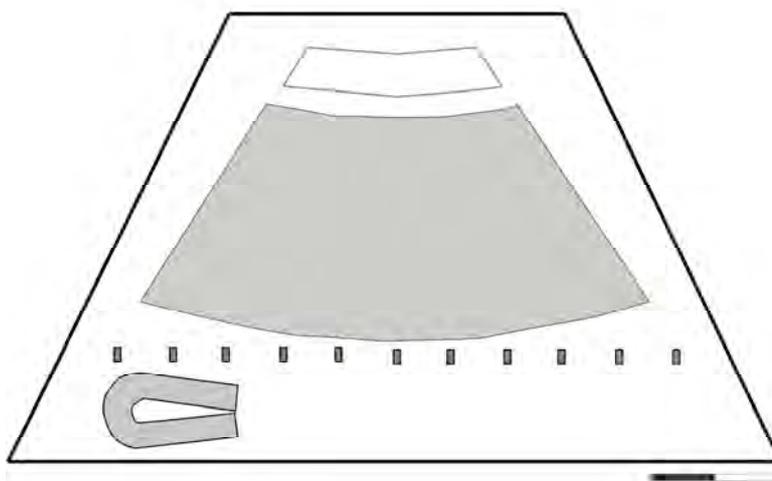


Figura 25 – Sala Villa-Lobos. Esquema da planta baixa.

A primeira impressão sonora na visita à sala é da falta de isolamento na entrada. Uma espécie de foyer por trás da plateia faz parte do volume da sala, sem vedações. A entrada à sala ocorre por uma grande rampa; quem entra nela, no alto da rampa, não vê o que está acontecendo no auditório e amiúde conversa com tranquilidade. O público na sala, em silêncio e escutando a orquestra, escuta porém perfeitamente o teor das conversas na rampa, perdendo concentração da música. O som da orquestra se percebe, das últimas poltronas, longínquo e sem força mas, pelo menos, equilibrado nos diferentes naipes. Quem senta mais perto dos músicos, escuta mais alto, mas com desequilíbrio dos grupos de instrumentos. No primeiro semestre de 2009 foi instalada uma caixa acústica parcial, com painéis por trás e aos

lados dos músicos. O resultado é positivo, recuperando parte da energia sonora que antes era perdida para a plateia. Porém, a falta de refletores por cima da orquestra e a falta de um ajuste apropriado dos painéis laterais, compromete a resposta completa do artefato.



Figura 26 – Sala Villa-Lobos. Foto virtual da Platéia.

Outro fato importante é a forma básica da sala. A forma em leque da SV-L faz com que poucas reflexões laterais atinjam as últimas fileiras, exigindo reforços especiais de painéis refletores que deveriam ser pendurados a partir da cobertura. Esses painéis deveriam ser baixos para fornecer reflexões que cheguem aos ouvintes pouco tempo depois da chegada dos raios de som diretos. Desta forma o critério de Intimidade, hoje totalmente perdido na sala, poderia ser creditado. Os mesmo painéis, convenientemente desenhados, produziram a difusão do som necessária para obter um melhor coeficiente de Espacialidade.

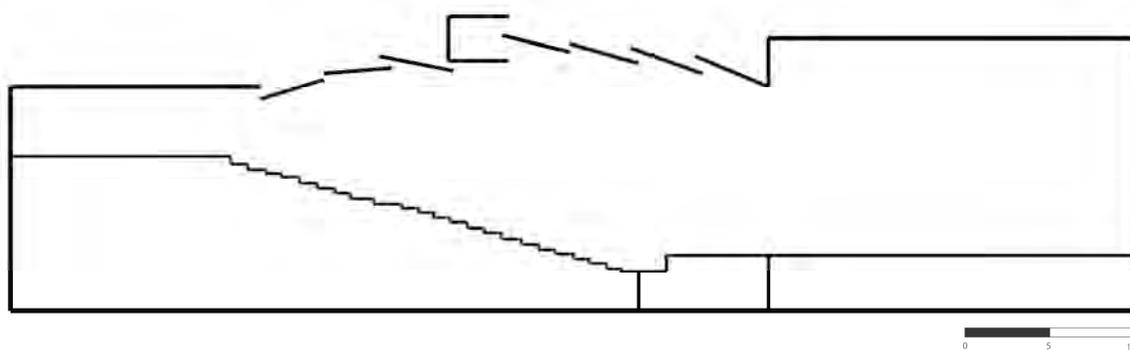


Figura 27 – Sala Villa-Lobos. Corte esquemático.

A seguir são representados os resultados das medições realizadas dos tempos de reverberação na SV-L. O equipamento produz gráficos do tempo de reverberação – TR – filtrado em faixas de oitava. As oitavas são centradas nas frequências de 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

Os gráficos mostram o tempo em segundos nas abscissas e o nível sonoro de intensidade nas ordenadas. Os sucessivos altos e baixos das curvas indicam a recepção de reflexões sucessivas que o som sofre em todos os fechamentos e objetos que refletem para o ponto onde é realizada a medição. No canto superior esquerdo de cada gráfico, ficam indicados a frequência do filtro em Hz e o valor do TR em segundos. A precisão gráfica, nesta primeira bateria de medições ficou prejudicada por razões de força maior, o que não acontece com os gráficos das medições do ANFI – 9 e o auditório da Thomas Jefferson.

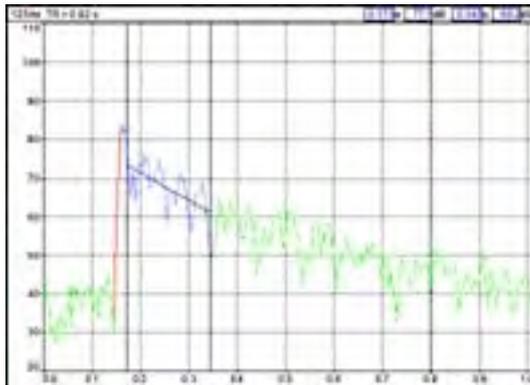


Gráfico 1. Tempo de reverberação da SV-L para 125 Hz.

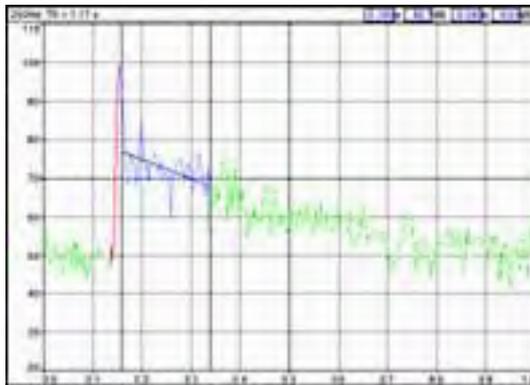


Gráfico 2. Tempo de reverberação da SV-L para 250 Hz.

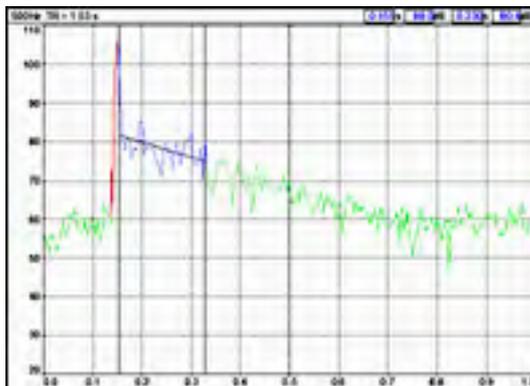


Gráfico 3. Tempo de reverberação da SV-L para 500 Hz.

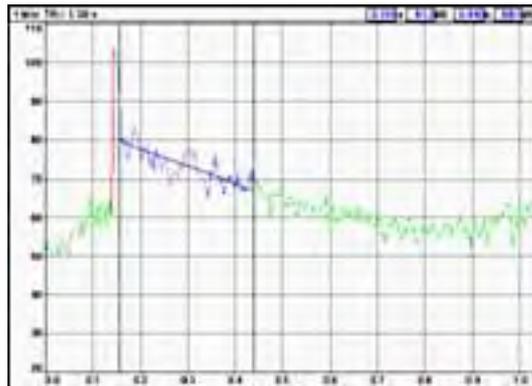


Gráfico 4. Tempo de reverberação da SV-L para 1.000 Hz.

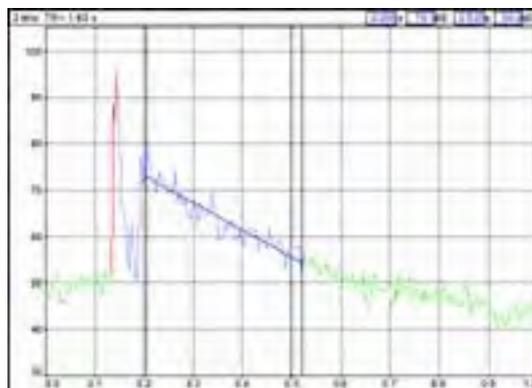


Gráfico 5. Tempo de reverberação da SV-L para 2.000 Hz.

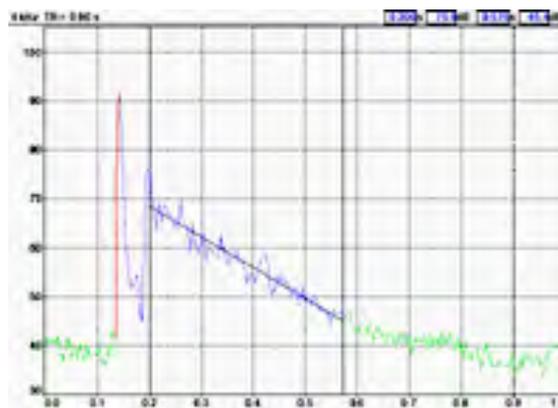


Gráfico 6. Tempo de reverberação da SV-L para 4.000 Hz.

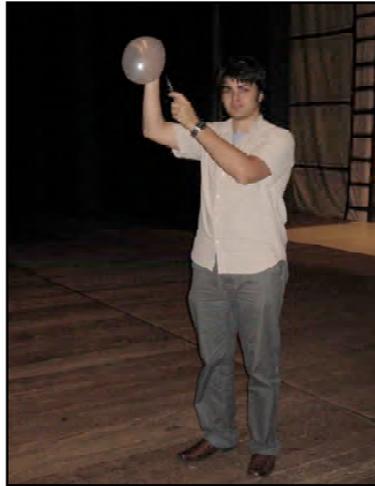


Figura 28 - SV-L. Procedimento de medição de tempo de reverberação.

Resumo da medição do tempo de reverberação na SV-L.

Fonte no palco.

Medidor na primeira fileira da platéia.

Freq. Hz	TR seg
125	0,82
250	1,17
500	1,53
1.000	1,36
2.000	1,02
4.000	0,96

O cálculo do TR, mostrado na figura 29, foi realizado com um modelo de simulação digital apoiado na teoria desenvolvida por Sabine (1922) e Beranek (1962). O modelo parte dos valores de tempo de reverberação ótimos para uma determinada finalidade do local e do seu volume. Características dos materiais de revestimento do local e das pessoas e objetos, com suas quantidades e coeficientes de absorção, são incorporados sucessivamente até se obter tempos resultantes que estejam suficientemente próximos aos valores propostos como ótimos para cada situação. No cálculo são inseridos os valores medidos no auditório, para obter uma rápida comparação dos valores calculados e medidos.

A tabela e os gráficos abaixo mostram o resultado da simulação para a SV-L. No caso dos outros dois auditórios, mostrados mais adiante, o procedimento de cálculo é similar.

PROGRAMA DE PREVISÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Obra: Teatro Nacional Cláudio Santoro

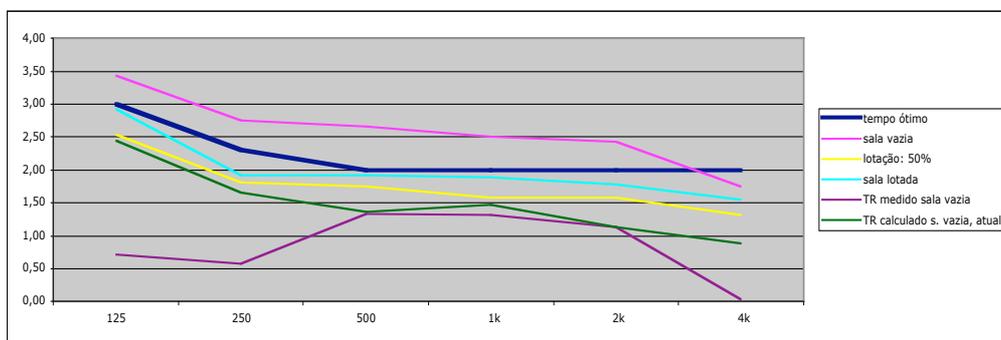
Volume do local: 10169 m3.

Local: Sala Villa-Lobos

Tempo base: 2 s.

Data: 28 de julho de 2006

Absorções totais		320,7	336,9	250,6	263,8	257,5	454,3
Freqüências (oitavas;Hz)		125	250	500	1k	2k	4k
tempo ótimo de reverberação (s)		3,00	2,30	2,00	2,00	2,00	2,00
TR medido sala vazia (s)		0,72	0,58	1,34	1,32	1,13	0,04
TR calculado vazio, situação atual		2,44	1,65	1,37	1,48	1,14	0,89
TR calculado sala vazia (s)		3,43	2,74	2,66	2,50	2,43	1,75
TR calculado 50% da lotação (s)		2,54	1,81	1,75	1,58	1,58	1,32
TR calculado sala lotada (s)		2,92	1,91	1,91	1,89	1,78	1,55
Δ t: tempo após - tempo ótimo (s)		-0,46	-0,49	-0,25	-0,42	-0,42	-0,68



Materiais de revestimento				coeficiente de absorção por oitava					
Area	Local de aplicação	Material de revestimento							
1846,40	Forro	Concreto aparente	1	1	1,5	2	2	2	
1617,00	Piso sala	Madeira maciça, 25 mm	12	14	10	9	6	7	
229,40	Piso palco	Madeira maciça, 25 mm	12	14	10	9	6	7	
532,00	resto de parede lat	Gesso, 25 mm	14	10	6	4	4	4	
30,41	boca de palco	Madeira maciça, 25 mm	12	14	10	9	6	7	
83,29	boca de fundo de sala	Abertura de boca de palco	3	3	4	5	4	4	
#####	(Volume do local)	Absorção do ar no interior do local				0,32	0,82	2,57	
650	poltronas: 1300	50% cadeiras vazias Poltrona Allegro	16	39	38	39	37	37	
650		50% cadeiras ocupadas Público sentado na Allegro	34	48	67	80	83	84	
1300		previsão para sala lotada	18,5	40	46,5	46,5	51	46,5	
1300		previsão para sala vazia	12	20	28	30	32	37	

Figura 29 – Sala Villa-Lobos. Tempo de reverberação calculado

2.3.5.2 ANFI - 9 — Universidade de Brasília.

O projeto original do Arquiteto Oscar Niemayer para o Instituto Central de Ciências da UnB⁸ inclui 18 anfiteatros de três tamanhos diferentes, para aproximadamente, entre 100 e 300 pessoas. Pensados para aulas e palestras, os locais são notoriamente inapropriados para essa função: volume substancial e nenhum revestimento absorvente determinam um tempo de reverberação demorado demais para permitir a correta compreensão da palavra. Tanto é assim que, em parte desses anfiteatros, pensados especificamente para palavra, se faz necessário hoje o uso de amplificação eletrônica para sequer possibilitar a realização das aulas.

O ANFI - 9 teve uma adaptação para transformá-lo num auditório alternativo para concertos e shows em 1989. A falta de um auditório grande para essas finalidades no campus da Universidade de Brasília, estimulou esse projeto, acoplado, provavelmente, com a possibilidade de ter um auditório no mesmo “minhocão” local de encontro e passagem da maior parte dos alunos e professores.

Numa visita à sala, o primeiro que salta à vista — ou melhor, ao ouvido —, é o problema de isolamento dos ruídos externos. As aberturas para ventilação natural permitem a entrada de ruídos do estacionamento e da circulação interna do minhocão, cada um a um lado do ANFI - 9. A falta de um espaço intermediário entre a sala e o acesso, faz que, cada vez que a porta é aberta — e muitas vezes ela fica escancarada — o ruído inevitável da circulação irrompe no interior, atrapalhando a audição do evento. Por causa do calor no local, quase permanentemente são ligados quatro ventiladores com um nível de ruído que chega aos 60 dBA (valor estimado) que são um permanente incômodo para quem tenta ouvir o que acontece no palco.

⁸ Prédio conhecido como Minhocão.

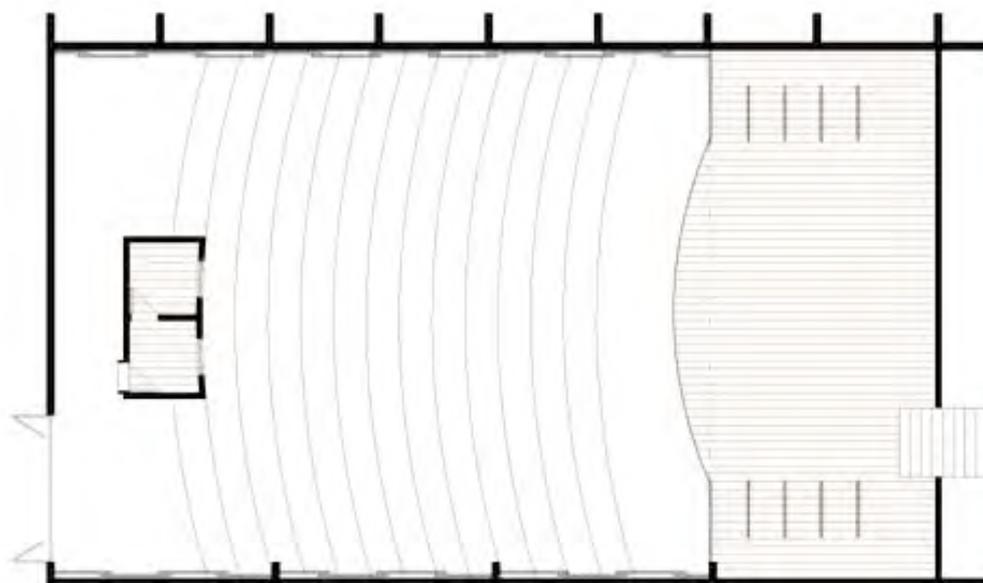


Figura 30 – ANFI - 9. Planta.

Como é moda, todos os shows realizados nos últimos tempos no ANFI - 9, empregam microfone e amplificação — inclusive um recital de música indiana no dia 21 de outubro de 2009, para o qual essa amplificação era obviamente desnecessária. Apesar de seguir de perto a programação do local por mais de um ano não foi possível encontrar um único recital/concerto/show sem uso de amplificação para possibilitar avaliar a resposta da sala em condições normais.

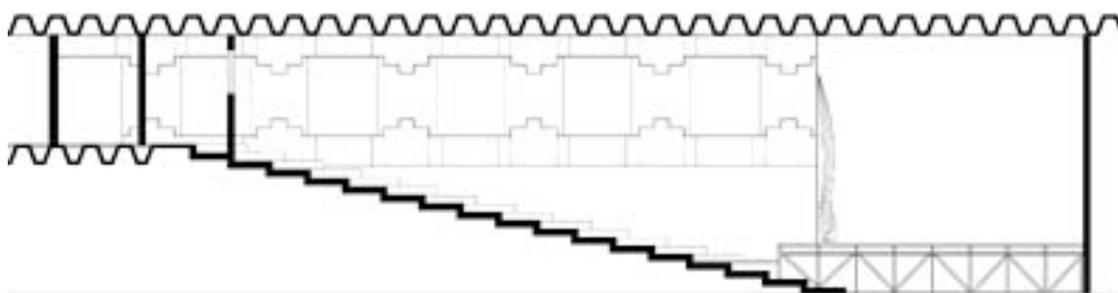


Figura 31 – ANFI - 9. Corte.

De forma similar ao explicado para a Sala Villa-Lobos, a medição do tempo de reverberação é realizada gravando o ruído do estouro de balão.

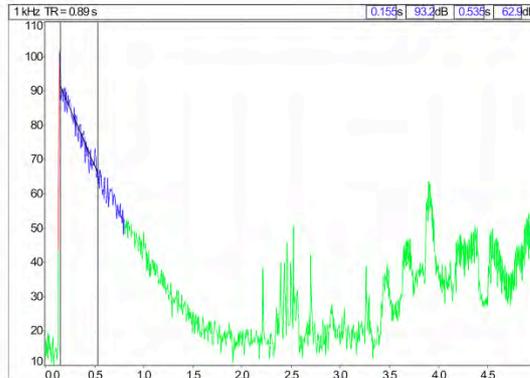


Gráfico 7. Tempo de reverberação do ANFI-9 para 125 Hz.

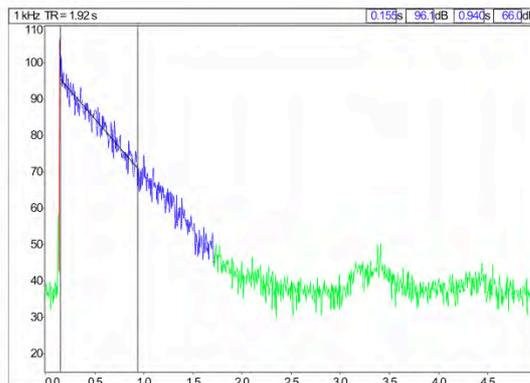


Gráfico 8. Tempo de reverberação do ANFI-9 para 250 Hz.



Gráfico 9. Tempo de reverberação do ANFI 9 para 500 Hz.

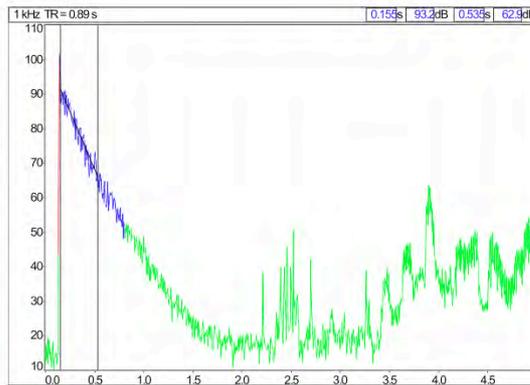


Gráfico 10. Tempo de reverberação do ANFI 9 para 1.000 Hz.

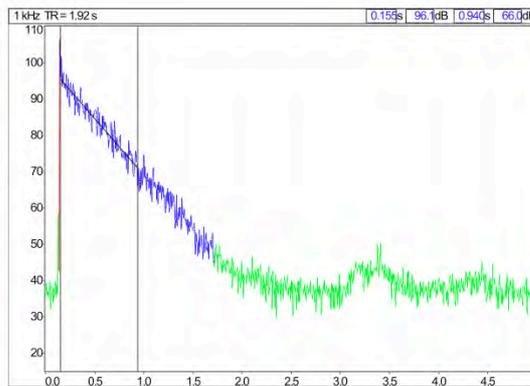


Gráfico 11. Tempo de reverberação do ANFI 9 para 2.000 Hz.

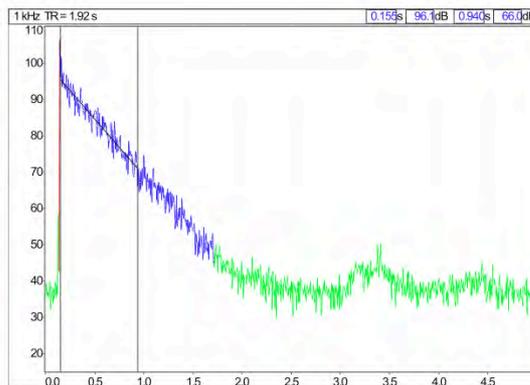


Gráfico 12. Tempo de reverberação do ANFI 9 para 4.000 Hz.



Resumo da medição do tempo de reverberação no ANFI-9.

Fonte no palco.

Medidor na primeira fileira da sala.

Ruído de fundo: 45 dBA

Freq. Hz	TR seg
125	2,75
250	1,98
500	1,85
1.000	1,92
2.000	1,81
4.000	1,52

Figura 32 - ANFI-9. Procedimento de medição de tempo de reverberação.

O resultado indica um tempo excessivamente alto para a pequena sala, o que é corroborado com o cálculo a seguir:

PROGRAMA DE PREVISÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Obra: ANFI9 SALA

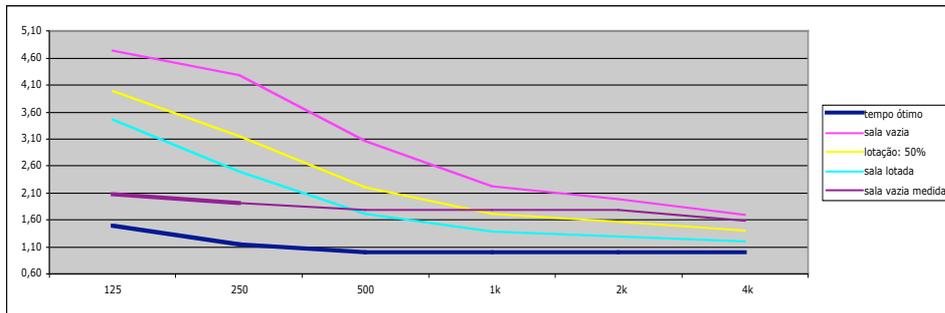
Volume do local: 1113 m³.

Local: Auditório

Tempo base: 1 s.

Data: 01 de setembro de 2009

Absorções totais	21,8	21,8	34,5	52,7	62,1	77,8
Freqüências (oitavas;Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
TR ótimo de reverberação (s)	1,50	1,15	1,00	1,00	1,00	1,00
TR medido com sala vazia	2,08	1,92	1,79	1,79	1,79	1,59
TR calculado, sala vazia (s)	4,74	4,29	3,07	2,22	1,99	1,69
TR calculado 50% da lotação (s)	4,00	3,15	2,20	1,71	1,57	1,41
TR calculado, sala lotada (s)	3,46	2,50	1,72	1,39	1,30	1,21
Δ t: tempo após - tempo ótimo (s)	2,50	2,00	1,20	0,71	0,57	0,41



Materiais de revestimento

Area	Local de aplicação	Material de revestimento	coeficiente de absorção por o.					
261,90	Forro	Concreto aparente	1	1	1,5	2	2	2
261,90	Piso sala	Plurigoma	4	4	8	12	13	10
166,58	Paredes	Alvenaria lisa, revocada	3	3	3	4	5	7
37,10	Fundo da sala	Alvenaria lisa, revocada	3	3	3	4	5	7
86,57	Proscênio virtual	Abertura de boca de palco	3	3	4	5	4	4
1113,08	(Volume do local)	Absorção do ar no interior do local	0,32 0,82 2,57					
100	poltronas	200 50 % ocupadas: Público sentado, cadeira de plást	15	25	35	38	38	35
100		50 % cadeiras vazias Cadeira plástico	8	10	12	14	14	14
200		previsão para sala lotada	15	25	35	38	38	35
200		previsão para sala vazia	8	10	12	14	14	14

Figura 33 – ANFI – 9. Tempo de reverberação calculado.

2.3.5.3 Auditório Arq. Jacob Germano Galler – Casa Thomas Jefferson – Asa Norte. Brasília – STJ

O terceiro estudo de caso é a STJ. Este auditório foi pensado primordialmente para música de câmara sendo empregado ainda para palestras. A planta do projeto arquitetônico, retangular, foi mantida no projeto acústico, de autoria de Silva De Marco. Foram definidas vedações corretas com o exterior e um vestíbulo na entrada para evitar a entrada do ruído do público que chega.



Figura 34 – Auditório da Casa Thomas Jefferson.
Observa-se o forro inclinado e a característica absorvente das poltronas.

A primeira impressão, entrando no auditório, é de uma sala sem alta reverberação. Com a sala sem iluminação, dá para perceber frestas nas duas portas próximas do palco. A da esquerda, porta de emergência, corta-fogo, externa, é próxima a uma quadra de esportes escolar. Quando há atividade na quadra, o ruído externo dentro do auditório atrapalha bastante a comunicação. A porta da direita abre para uma área de serviço do Instituto e conta com frestas por cima e por baixo da porta. Essas frestas são responsáveis pelo vazamento das conversas das faxineiras. O projeto acústico original, porém, determinou que as portas deveriam receber juntas herméticas. Isto não foi observado na obra.

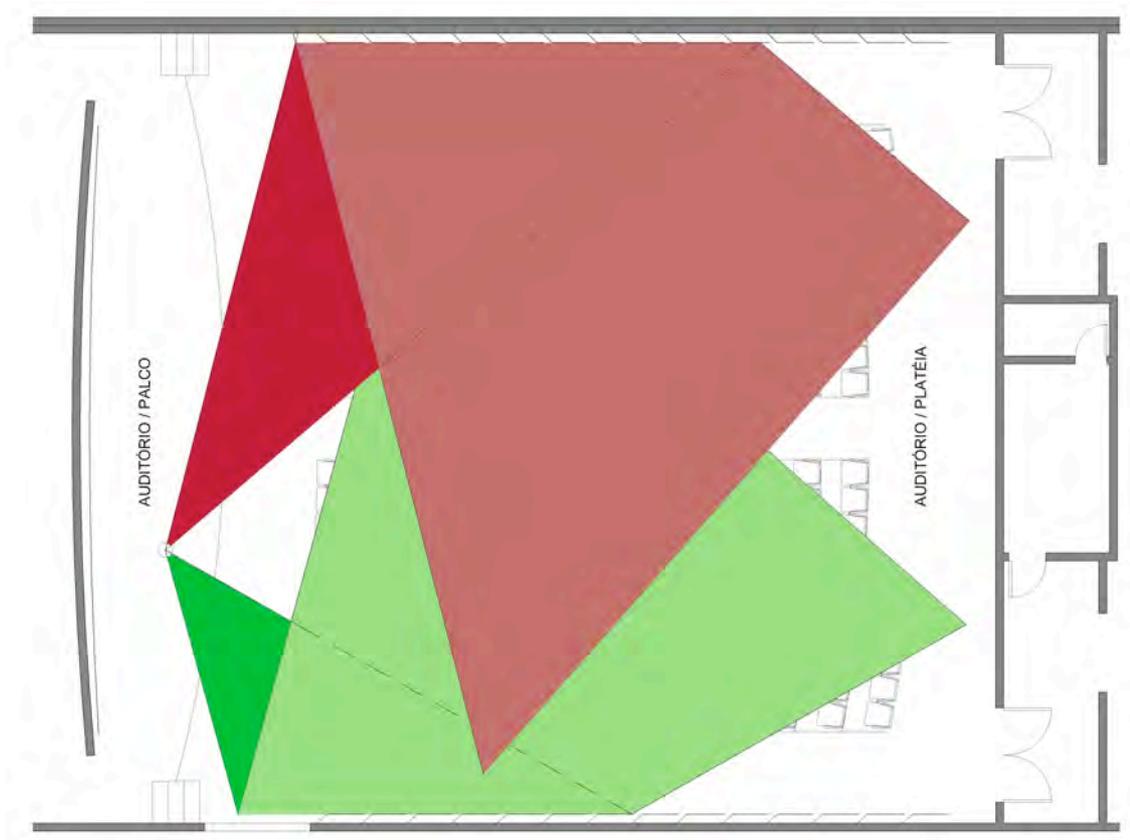


Figura 35 – Auditório da Casa Thomas Jefferson.
Planta com distribuição de energia sonora.

Também foi determinado no projeto que o ar condicionado não deveria gerar mais que 30 dBA no interior da sala. Isto não foi observado e atualmente o ruído gerado, atinge a faixa de 45 dBA (valor estimado), o que interfere com a comunicação. Sendo o ruído constante e homogêneo, pouco se percebe quando o público entra na sala, mas é surpreendente o silêncio que se cria no momento em que ele é desligado.

Fora dos problemas de ruído gerados pelas frestas e pelo ar condicionado, não se percebem problemas na primeira impressão.

O auditório tem sido louvado por músicos e assistentes aos concertos realizados, onde se aprova a transparência da música (critério de Clareza) e a qualidade dos músicos se ouvirem bem a si mesmo e aos outros (critério de Suporte observado)



Figura 36 — Auditório da Casa Thomas Jefferson.
As paredes laterais estão recobertas de painéis com diferentes
formas de absorção sonora.

Na figura 37 está indicada a forma de refletir do forro (a primeira parte deste reflete diretamente o som acima dos músicos, para se ouvir bem entre si). A segunda parte reflete o som para as fileiras da quarta à última fileira, já que as três primeiras não carecem de reforço por estar bem próximas aos músicos no palco. A terceira parte do forro, horizontal, provê reflexão para as fileiras nove à última. As duas últimas partes não refletem diretamente para nenhuma fileira, contribuindo à difusão e à reverberação global.

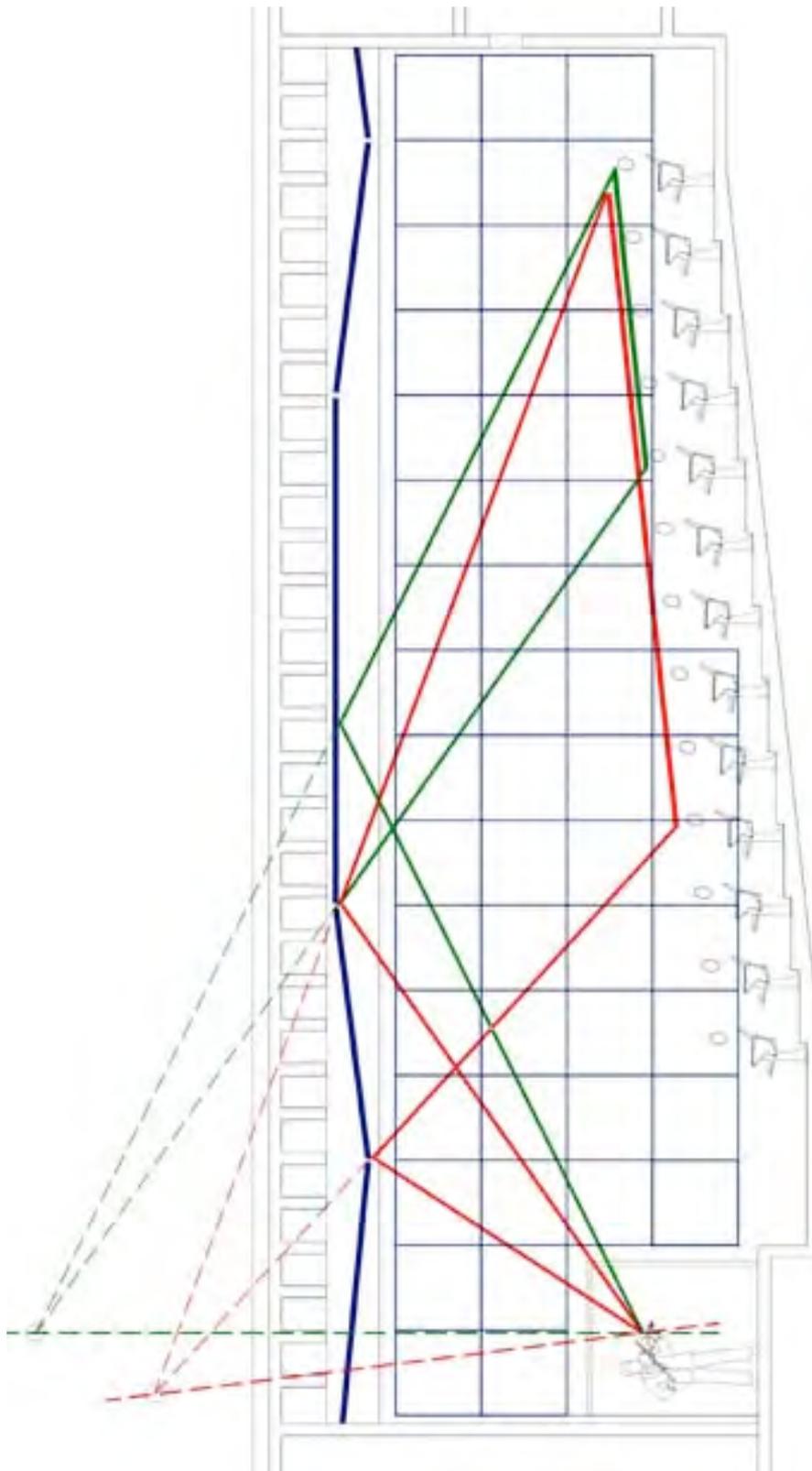


Figura 37 – Auditório da Casa Thomas Jefferson.
Corte com raios sonoros.

No desenho foi indicado, a modo de explicação gráfica, o procedimento de formação das reflexões: uma fonte virtual é desenhada, simétrica da fonte sonora com relação à superfície refletora. Todos os raios refletores deverão passar por essa fonte, o que simplifica muito o procedimento de desenho dos raios refletores.

Na figura 35 são indicadas as faixas de reflexão produzida pelas paredes laterais. Estas paredes foram levemente deslocadas do seu paralelismo para evitar ecos palpitantes e contribuem com uma difusão considerável (ver figura 40), que foi acrescida com as arestas do forro.

O tempo de reverberação TR_{60} foi mantido dentro da previsão com aplicação de absorção para frequências graves e médias. O carpete fino e a absorção concentrada na parede do fundo da sala contribuem para a absorção de frequências agudas. As poltronas foram escolhidas de forma que sua absorção, quando vazias, fosse semelhante a que elas oferecem quando o público está sentado nelas.

A seguir são representados os resultados das medições realizadas dos tempos de reverberação. Da mesma forma que para os outros auditórios, o equipamento produz gráficos do tempo de reverberação TR filtrado em faixas de oitava. As oitavas são centradas nas frequências de 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

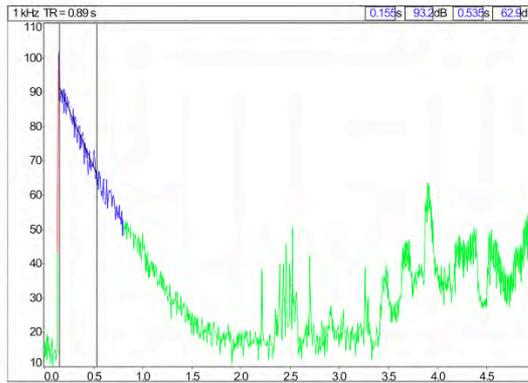


Gráfico 13. Tempo de reverberação da STJ para 125 Hz.

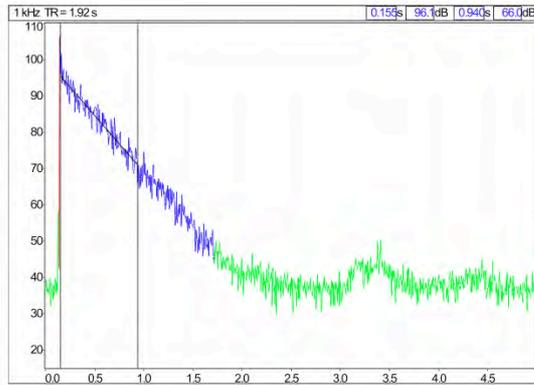


Gráfico 14. Tempo de reverberação da STJ para 250 Hz.

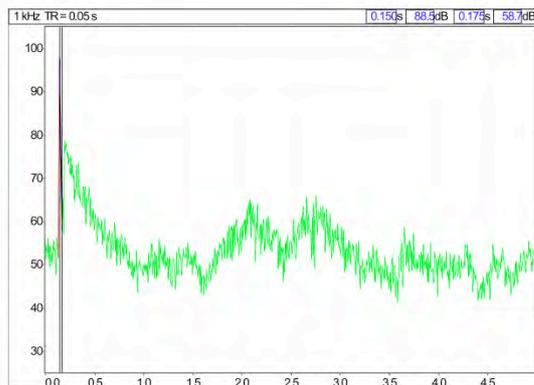


Gráfico 15. Tempo de reverberação da STJ para 500 Hz.

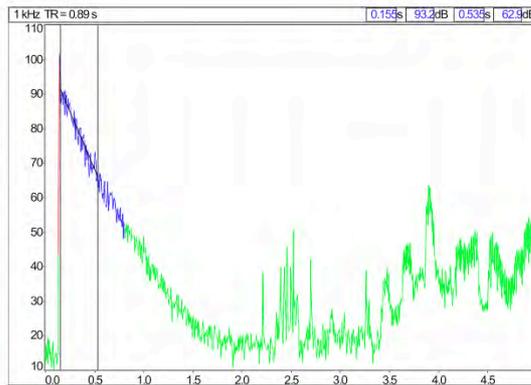


Gráfico 16. Tempo de reverberação da STJ para 1.000 Hz.

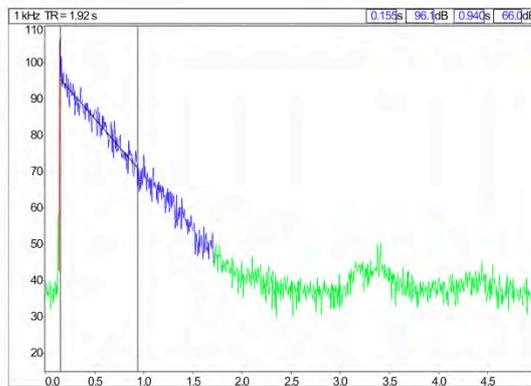


Gráfico 17. Tempo de reverberação da STJ para 2.000 Hz.

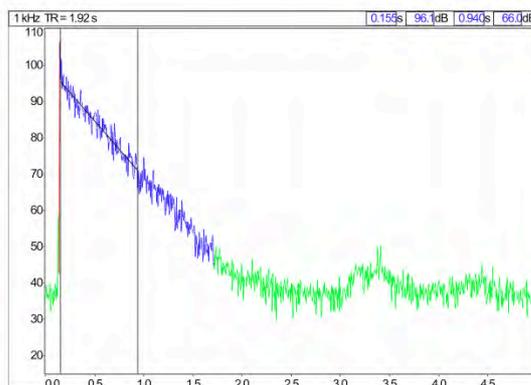


Gráfico 18. Tempo de reverberação da STJ para 4.000 Hz.



Figura 38 - STJ. Procedimento de medição de tempo de reverberação.

Resumo da medição do tempo de reverberação na STJ.
 Fonte no palco.
 Medidor na primeira fileira da sala.
 Ruído de fundo: 40 dB

Freq. Hz	TR seg
125	1,32
250	0,91
500	0,88
1.000	0,89
2.000	0,92
4.000	0,83

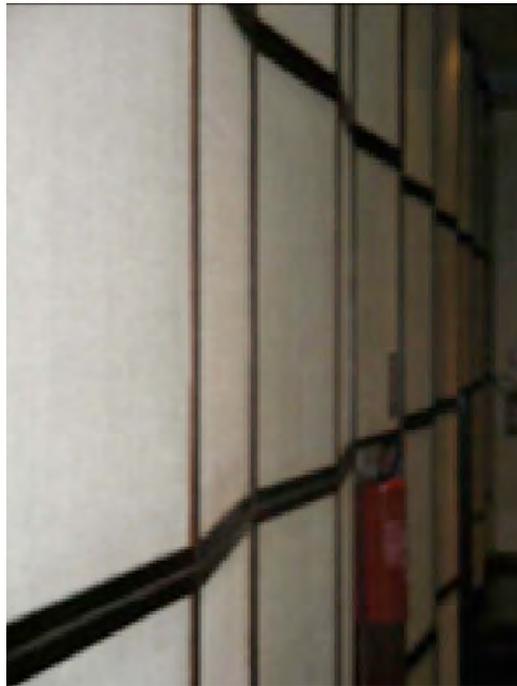


Figura 39 — Auditório da Casa Thomas Jefferson-Asa Norte. Revestimento inclinado nas laterais

PROGRAMA DE PREVISÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Obra: **Auditório Thomas Jefferson A. Norte**

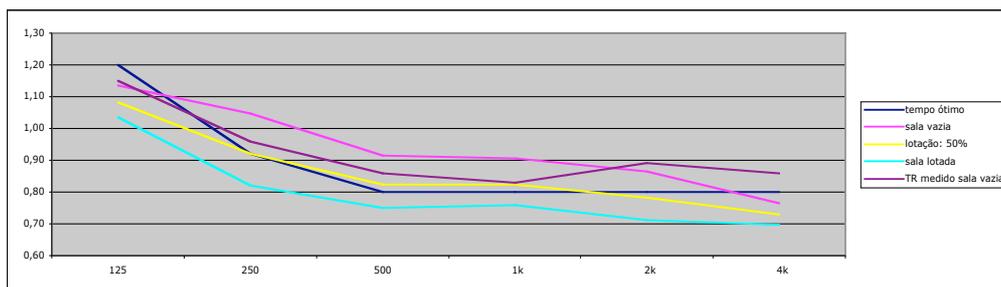
Volume do local: **1233 m³.**

Local: **Auditório**

Tempo base: **0,8 s.**

Data: 28 de julho de 2006

Absorções totais	143,5	137,8	143,9	141,2	146,1	163,8
Frequências (oitavas;Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
tempo ótimo de reverberação (s)	1,20	0,92	0,80	0,80	0,80	0,80
TR medido sala vazia (s)	1,15	0,96	0,86	0,83	0,89	0,86
TR calculado sala vazia (s)	1,14	1,05	0,92	0,91	0,87	0,76
TR calculado 50% da lotação (s)	1,08	0,92	0,82	0,82	0,78	0,73
TR calculado sala lotada (s)	1,04	0,82	0,75	0,76	0,71	0,70
Δ t: tempo após - tempo ótimo (s)	-0,12	0,00	0,02	0,02	-0,02	-0,07



Materiais de revestimento										
Area	Local de aplicação		Material de revestimento	coeficiente de absorção por oitava						
264,18	Forro		Gesso, 25 mm	14	10	6	4	4	4	
222,74	Piso sala		Carpete colado sem enchimento	9	8	21	26	27	37	
41,44	Piso palco		Madeira maciça, 25 mm	18	12	10	9	6	7	
60,00	parcela de parede		Duratex 3mm c/câmara+lã de vidro 25 mm	40	25	15	12	10	8	
40,00	parcela de parede		Compensado 6 -10 mm, c/câm 50 mm ou mais	42	21	6	5	4	4	
66,58	resto de parede		Lambri de madeira simples	10	12	8	6	6	4	
60,83	Fundo da Platéia		Lambri lã rocha 50 mm+ripas com 20% sep.	40	80	90	85	75	40	
68,82	Fundo do palco		Lambri de madeira simples	10	12	8	6	8	4	
2,00	Aberturas laterais		Madeira maciça, 25 mm	18	12	10	9	6	7	
1232,69	(Volume do local)		Absorção do ar no interior do local				0,32	0,82	2,57	
130	poltronas	260	50 % ocupadas:	Público sentado, poltr. com est. gro	18,5	40	46,5	46,5	51	46,5
130			50 % cadeiras vazias	Poltrona com estof. grosso	12	20	28	30	32	37
260			previsão para sala lotada		18,5	40	46,5	46,5	51	46,5
260			previsão para sala vazia		12	20	28	30	32	37

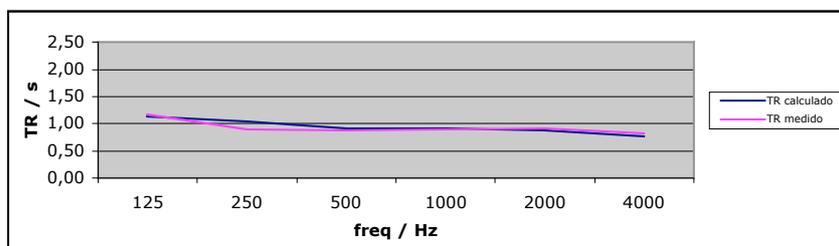
Figura 40 — Auditório da Casa Thomas Jefferson-Asa Norte. Tempo de reverberação calculado.

2.4 Análise dos dados

A relação das medições realizadas, na comparação com os valores calculados, permite algumas considerações. Em primeiro lugar, estabelece diferenças consideráveis entre os dados de medição e cálculo da Sala Villa-Lobos e do Anfi-9 com os dados da Sala Thomas Jefferson.

Sala Thomas Jefferson

freq./ Hz	125	250	500	1000	2000	4000
valores calculados tTR60 / s	1,14	1,05	0,92	0,91	0,87	0,76
valores medidos tTR60 / s	1,17	0,89	0,88	0,89	0,92	0,83



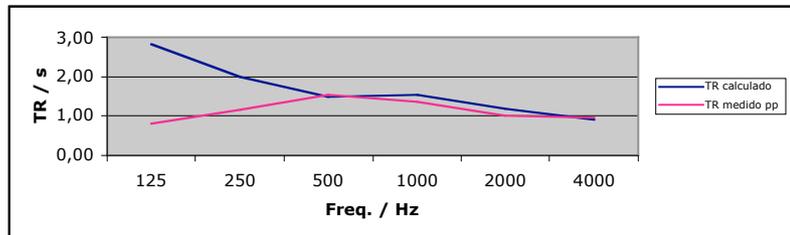
Neste caso foi possível realizar um cálculo preciso da situação atual por ter nas mãos o detalhamento completo do projeto acústico original. Foi importante contar com os valores reais dos materiais empregados.

No caso da Sala Villa-Lobos, foi quase impossível obter dados precisos de todos os itens da obra, já que não existe um histórico competente desse processo. O Arquiteto Milton Ramos, responsável pelo detalhamento e execução do projeto em 1975, teve dificuldade para achar os desenhos originais para realizar o detalhamento final:

A primeira dificuldade foi procurar o projeto estrutural que tinham extraviado. A própria Construtora Rabello desconhecia o projeto estrutural, não conseguiu localizá-lo. Numa obra complexa como a do Teatro, com vários níveis e formatos, pra você implantar são necessários todos os cálculos. O que fizemos foi botar topógrafos levantando toda a estrutura de baixo até a cobertura e desenhando cada parte do edifício. (RAMOS, apud Araújo, 2004, p.28)

Sala Villa-Lobos

freq./ Hz	125	250	500	1000	2000	4000
valores calculados tTR60 / s	2,83	2,00	1,49	1,55	1,18	0,91
valores medidos p-p tTR60 / s	0,82	1,17	1,53	1,36	1,02	0,96

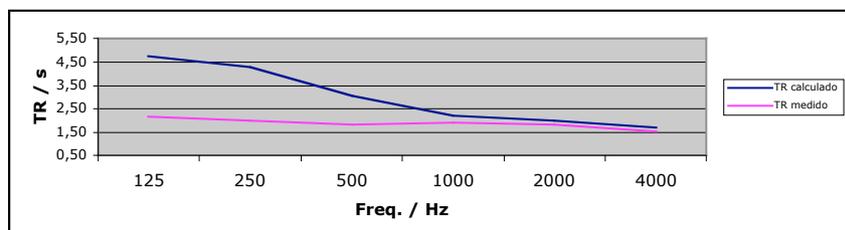


A medição tem uma aproximação boa nas frequências médias e agudas, mas variações grandes nas frequências graves. Deve-se acreditar que o cálculo não foi preciso por falta de dados importantes sobre a forma do espaço. Por outra parte, a necessidade de aproximar, na medição, fonte e aparelho de medição, visto a impossibilidade de realizar uma medição mais afastada por problemas técnicos, deve ter influenciado esta medição, que inclui com relevância as reflexões próximas do piso do palco.

A medição realizada no ANFI-9 deu resultados que correspondem com os cálculos para as frequências agudas e divergem nas graves. Isto costuma acontecer com a existência de modos normais de ressonância, que interferem consideravelmente nessa faixa.

ANFI 9

freq./ Hz	125	250	500	1000	2000	4000
valores calculados tTR60 / s	4,74	4,29	3,07	2,22	1,99	1,69
valores medidos tTR60 / s	2,17	1,98	1,85	1,92	1,81	1,52



O fato de ser permanentemente usado o sistema de amplificação no ANFI-9, tanto para palavra quanto para música, permite assegurar que, tanto os usuários quanto os

responsáveis da sala entendem que ela só pode funcionar desse jeito. Na realidade, poucos detalhes seriam necessários para transformá-la numa boa sala para música de câmara, tal como poderá ser observado no capítulo de recomendações.

3 RECOMENDAÇÕES

Não faz parte do escopo da tese formular projetos acústicos dos auditórios comentados mas, como parte prévia do estabelecimento de uma metodologia, parece conveniente listar alguns itens que permitiriam melhorar as condições musicais dos três auditórios avaliados no capítulo anterior. Compreende-se que sem a realização de medições e cálculos específicos para a realização de um projeto acústico consistente e que permita assumir a responsabilidade pelo produto, estas recomendações devem ser tomadas apenas como sugestões de pré-projeto.

A Sala Villa-Lobos é a que merece maior empenho. O projeto original do Prof. Lothar Cremer, de óbvia qualidade, pode estar escondido em alguma gaveta, talvez até em Berlim. Retomá-lo e desenvolvê-lo, cinquenta anos depois, com o aporte dos novos materiais e técnicas acústicas, seria solução ideal.

Na impossibilidade de executar essa tarefa, pelo menos dentro desta tese, resta listar algumas das correções recomendadas:

- a) retirar o carpete da sala, substituindo-o, possivelmente, por um revestimento de madeira. Com isto diminuir-se-ia a exagerada absorção sonora da sala, aumentando consideravelmente seu tempo de reverberação;
- b) complementar com uma cobertura a nova caixa acústica para a orquestra, re-dirigindo para a plateia toda a energia sonora emitida pelos músicos;
- c) instalação de painéis refletores nos primeiros metros na frente do dossel da caixa acústica, para reforçar a energia sonora para as últimas fileiras;
- d) instalação de uma bateria de rebatedores e difusores acima da platéia, cuidadosamente calibrados para obter uma melhor audibilidade e uma sensação de vivacidade para a música da orquestra;
- e) proibir totalmente o acesso à sala durante as apresentações. Quase sempre isto é observado, mas sempre há exceções, que podem atrapalhar muito o desfrute da música que exige silêncio para não perder sua evolução.

Depois dessas reformas, seria indispensável a realização de novas medições e de uma semana de “afinação” em ensaios da Orquestra Sinfônica e com a presença de um grupo de “pareceristas” para dar opiniões sobre o resultado para ajustar as correções.

A seguir, e só como exemplo sem cotas, indica-se o aspecto que tomaria a sala com os refletores- difusores sobre a plateia. O desenho arquitetônico não é o atual. Na falta deste, foi simplesmente aproveitado o esquema de um dos avatares da construção. A quantidade e o detalhamento desses difusores deveriam ser calculados e desenhados com precisão, mas no esquema pode-se verificar que os painéis ocupariam menos da quarta parte da área da sala.

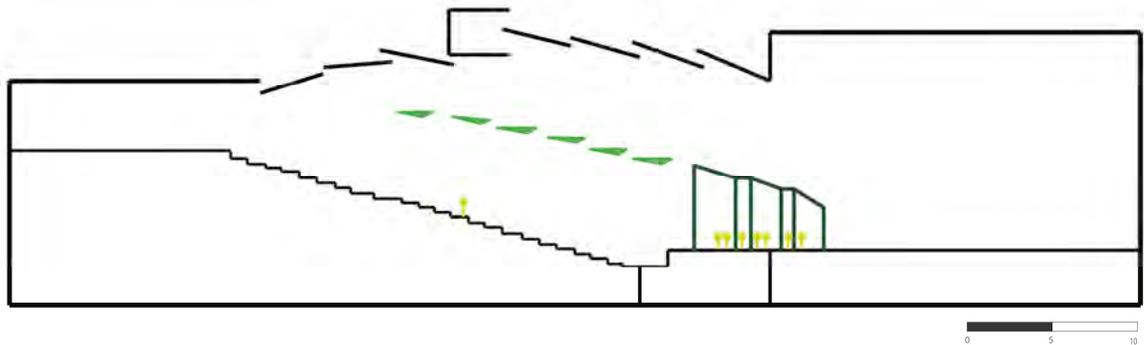


Figura 41 – Corte da SV-L. Esquema da disposição de uma bateria de refletores/difusores suspensos da cobertura.

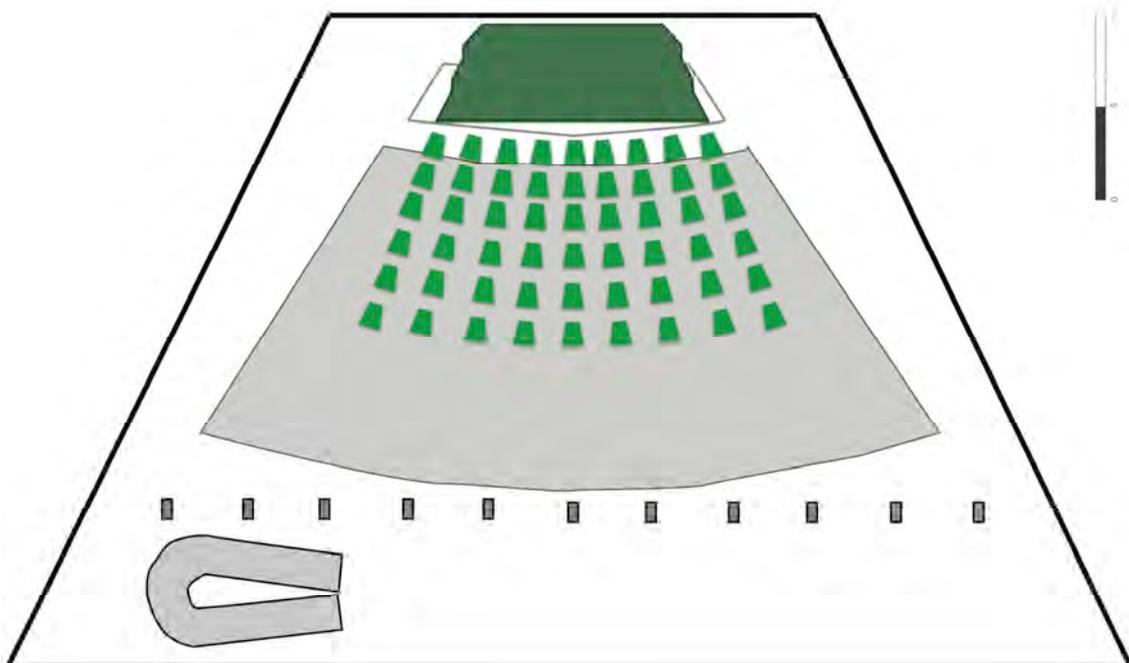


Figura 42. Planta da SV-L. Esquema da disposição de uma bateria de refletores/difusores sobre a platéia.

No ANFI-9, as soluções são mais simples:

- a) Vedar totalmente as aberturas para o estacionamento e para a circulação interna do Minhocão, o que, sem dúvida vá exigir a instalação de um sistema de renovação de ar — ou de refrigeração — convenientemente silencioso;
- b) retiro imediato dos ventiladores barulhentos;
- c) instalação de um rebatedor próximo ao palco para contribuir com uma reflexão da fonte para as quatro ou cinco últimas fileiras.

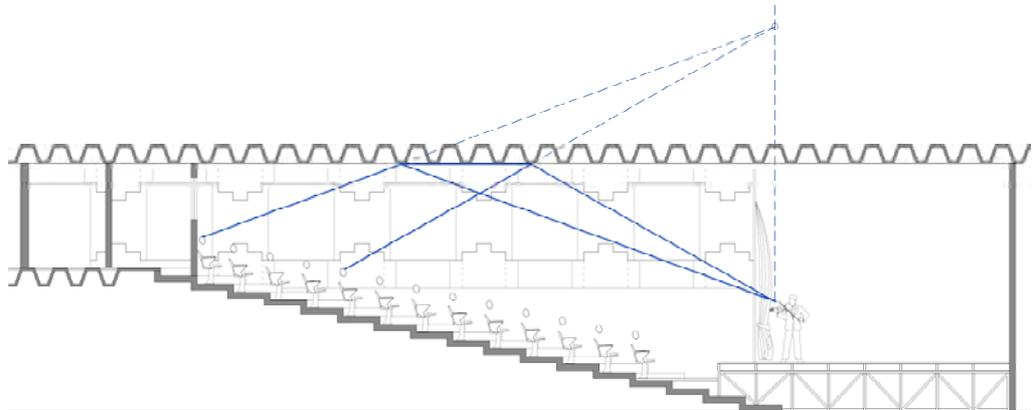


Figura 43 – ANFI - 9. Corte com esquema de refletor.

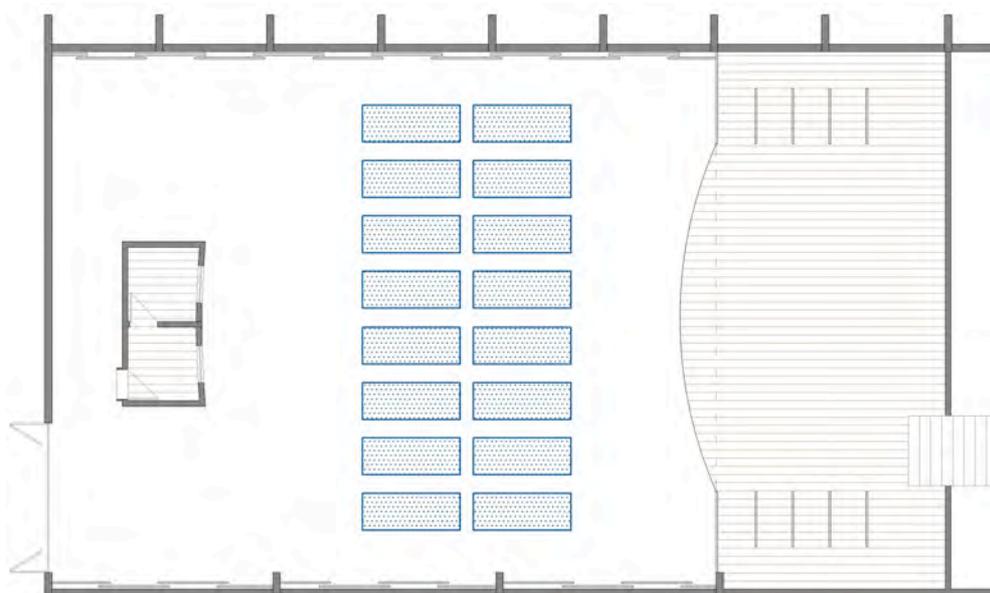


Figura 44 – ANFI - 9. Planta com localização de painéis refletores.

Conforme observado no item anterior, a STJ não precisa de nenhuma reforma de fundo. Os sérios problemas de ruídos externos se resolvem facilmente instalando juntas vedantes nas frestas das portas (seria suficiente seguir o indicado no projeto acústico original). O ruído do ar condicionado se resolve instalando um silencioso entre a casa de máquinas e a tubulação ou revestindo o interior das tubulações de injeção e de exaustão com material convenientemente absorvente nas faixas de frequências do ruído.

Dos procedimentos vistos nos capítulos anteriores e mesmo neste, se descobre em forma quase automática o procedimento a seguir para a análise e a correção acústica de auditórios construídos.

O primeiro ponto é uma visita criteriosa ao auditório. Um acústico — um arquiteto, um músico — pode tirar experiências acústicas importantes de uma visita se ele consegue se colocar como apreciador do que Blesser (2007) chama “arquitetura auditiva”. Aprender a ouvir é muito útil, de preferência durante um concerto e com a lista de critérios na mão (ou na memória). A experiência de escutar música é fundamental para atender ao comportamento musical da sala. Sempre é conveniente se acompanhar por um músico experiente. E se ele não conhecer o local, melhor ainda: público e até músicos acostumados com um contexto acústico determinado, perdem consciência da possibilidade de uma resposta acústica correta de um auditório e aceitam situações de consequências nocivas para a música. Aplicar os critérios de qualidade que foram desenvolvidos pelos acústicos ajuda a definir os quesitos de projeto ou de reforma. Além da audição de música na sala é relevante ficar atento aos ruídos e vibrações no local, a sua proveniência e características.

O segundo ponto é um levantamento histórico e do projeto acústico, se existente. A análise dos documentos, que podem ou não confirmar os dados encontrados na visita, prepara para determinar o que está errado no resultado acústico do auditório e se foi previsto no projeto.

O terceiro ponto é a medição do tempo de reverberação da sala, cuidadosamente realizado a partir da norma. A resposta relativa às frequências traz dados inestimáveis para entender o comportamento do som no auditório.

O quarto ponto é o cálculo do tempo de reverberação do local. Esse cálculo deve se basear em dados fidedignos da absorção dos materiais, em função da frequência dos sons.

Com esses dados o arquiteto acústico estará em condições de estabelecer um diagnóstico apropriado e lançar uma proposta para a correção do local.

O diagnóstico inclui a certeza com o silêncio na sala. Tudo aquilo que tolhe uma audição tranquila deve ser resolvido em primeiro lugar.

A seguir, devem ser resolvidos os defeitos ligados à forma do auditório. Ecos, ecos palpitantes, ressonâncias, focalizações não podem ser tolerados num auditório. Com correções de forma também podem ser resolvidos desequilíbrios entre o que escutam os ouvintes que sentam mais próximos ou mais afastados dos músicos. Uma série de critérios ajudam a entender o que deve ser levado em conta num projeto acústico.

Considerando como prioridade os problemas de forma, deve-se ocupar com a reverberação e seu tempo em segundo lugar. Um novo cálculo da previsão desse tempo, com a escolha dos materiais de revestimento definirá as quantidades e disposição desses materiais.

Poucas vezes uma reforma vai se reduzir a uma simples troca de materiais de revestimento das paredes. A reforma pode ser bem mais contundente: neste caso o responsável deverá decidir sobre a envergadura da reforma. Os acústicos costumam repetir um refrão: “Sempre é possível realizar a acústica correta. Mas às vezes fica tão caro que é preferível fazer uma nova construção”.

4 CONCLUSÕES

Esta tese descreveu os elementos que compõem a revisão da acústica de auditórios e forneceu sugestões para que arquitetos e estudantes de arquitetura possam proceder às correções de projeto e de construção desses auditórios.

Para organizar essas sugestões, as seguintes questões foram consideradas:

1. Qual foi o processo de desenvolvimento da acústica do auditório ao longo da história?

Foi mostrado como o conceito de acústica nos auditórios foi sendo formado lentamente no tempo. Na medida em que o conhecimento científico avançava, também a acústica tomava novos impulsos e novas perspectivas. O conhecimento da resposta dos materiais perante as ondas sonoras permitiu o uso destes com conhecimento tecnológico. O saber progressivo da acústica estatística permitiu desenvolver princípios que sustentam os critérios de qualidade musical. Aos poucos foi se entendendo que os diferentes usos dos auditórios exigiam diferentes tipos de acústica. Auditório para música sinfônica, para ópera e para teatro de palavra tem características diferentes para poder oferecer melhor sonoridade, melhor equilíbrio palco-fosso de orquestra, ou melhor inteligibilidade. Maior quantidade de público exigiu maior tamanho do auditório, até que ficou claro que não era possível fazer auditórios para 3.000 pessoas sem perder a qualidade da música sinfônica.

2. Quais os elementos de acústica relevantes para entender o funcionamento acústico dos auditórios?

É imperioso entender como o som se propaga no interior dos locais, como se comporta quando enfrenta um obstáculo, refletindo ou sendo absorvido; esse fenômeno da absorção é diretamente dependente das características de frequências do som incidente e das características do material do obstáculo. É necessário entender como se produz a reflexão, de forma similar aos raios de luz, o que acontece quando o som se encontra com superfícies côncavas ou convexas, respectivamente concentrando ou dispersando o som incidente. Também é importante entender como funcionam as ressonâncias, reforçando a energia sonora em algumas frequências, quando as ondas sonoras se superpõem, coincidindo, em fase no espaço. Ainda deve se conhecer a acústica estatística, que estuda a

reverberação — fenômeno produzido pelas infinitas reflexões da energia sonora em todos os fechamentos e objetos presentes no local.

3. Que critérios costumam ser seguidos para obter uma boa resposta musical de um auditório?

Os critérios são muitos e foram criados a partir de características da música que querem ser preservadas na sua difusão no interior de um auditório. Boa parte depende do tempo que o som permanecer reverberando no interior dos locais, da chegada sem atraso das primeiras reflexões, do equilíbrio dos graves e dos agudos no timbre da resposta. Ainda se deve cuidar para que o auditório não tenha defeitos — ecos, ecos palpitantes, concentração de reflexões em alguns pontos da plateia em detrimento de outros pontos próximos. Importante é que o som seja distribuído em forma homogênea em toda a sala, sem permitir pontos com mais ou menos som.

4. Qual é a forma de proceder frente a um auditório construído para avaliar a sua resposta acústica?

O arquiteto acústico inicia seu trabalho aprendendo a escutar o auditório, a sentir como ele age com o som emitido pelos músicos; como ele se comporta relativamente aos critérios de qualidade. É conveniente comparar sua percepção com a de outros ouvintes, especialmente maestros — responsáveis pela música criada num auditório — pelas características que ele quer realçar em cada obra; por críticos costumados a escutar música e comparar diferentes versões; por melômanos que conhecem diferentes versões e conseguem detectar, auditivamente, como o auditório interfere com a produção da música. Medições de reverberação contribuem a entender a resposta acústica.

5. Qual é a importância de escutar adequadamente a resposta acústica de um auditório?

O entendimento da resposta acústica de um auditório é o primeiro passo para conseguir realizar uma acústica adequada. Um auditório para música deve dar condições para que a música seja perfeitamente apreciada. Sempre, todo e qualquer ambiente fechado vai interferir de alguma forma no resultado musical do que se escuta — e não serve fomentar a escuta ao ar livre: com poucas exceções os compositores nunca pensaram sua música para ser realizada ao ar livre. Mas essa interferência deve manter a qualidade da atividade musical. Não pode diminuir seu nível de intensidade (como acontece na Sala Villa-Lobos) ou alterar seu timbre, se tem excesso de sons agudos ou de graves. Não pode

reforçar alguma frequência, caso das ressonâncias. Todas as particularidades musicais podem ser escutadas por um ouvido atento.

Essas questões foram desenvolvidas nesta tese analisando situações em diversos casos de auditórios que sofreram diferentes tipos de intervenção depois de construídos.

Essas intervenções podem ser de certa forma classificadas em alguns tipos:

Reforma arquitetônica sem mudar as características acústicas originais (como o caso do Teatro Colón de Buenos Aires, reconhecido por sua excelência acústica);

Reforma arquitetônica com correção acústica por ser uma obra antiga que pode ser hoje analisada com recursos mais avançados de medição e projeto acústico (caso do Teatro Solís, de Montevideú);

Correção acústica por mau desempenho atual, sem fazer mudanças importantes no projeto arquitetônico (caso da Sala Villa-Lobos, do Teatro Nacional Cláudio Santoro de Brasília, projeto arquitetônico de Oscar Niemeyer);

Correção acústica por mau desempenho, com mudanças importantes no projeto arquitetônico interno (caso da Sala Pleyel, da Avery Fisher Hall, as duas objeto de repetidas reformas, complexas e dispendiosas).

Análise mais aprofundada foi realizada em três auditórios em situações totalmente diferentes, em Brasília, com medições de tempos de reverberação, cálculos e análise de desenhos de arquitetura. Os dados obtidos foram cruzados para confirmar sua validade.

As recomendações indicadas no capítulo anterior foram detalhadas englobando todos esses estudos, apresentando sugestões sobre os procedimentos a seguir para analisar e corrigir a acústica de auditórios para música. Essas recomendações representam o ponto de partida para um processo de correção acústica, que deve ser completado com um aprofundamento na teoria da acústica, nos procedimentos de projeto arquitetônico e de construção.

Muitas questões levantadas neste estudo foram necessariamente apresentadas de forma básica, por necessidade de uma maior abrangência. Elas indicam caminhos para continuar a pesquisa. Mas também outros pontos foram indicados em forma ainda mais somera. e que abrem novos caminhos para o arquiteto — acústico dentro de su comunidade.

O acústico deve se manter alerta com os processos que a sociedade está vivendo, suas transformações, a globalização dos seus problemas. Suas ações, como as dos outros membros da comunidade, devem tender à sustentabilidade. Já estão sendo testadas com bons resultados absorventes acústicos alternativos, feitos com PET's, pneus descartados, fibras vegetais jogadas no lixo.

Bem devagar, mas de forma consistente, a comunidade avança na defesa dos seus direitos: Uma nova Norma para construção, a 15.575 ficará obrigatória no próximo ano: Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos. Ela impõe que a construção seja feita de forma a se defender do ruído crescente nas cidades. Paredes, coberturas, portas e janelas deverão ser construídas isolando o necessário para preservar a saúde, física e mental dos habitantes, que pouco sabem como o ruído as prejudica.

A acústica pode ser estudada não só como uma técnica aplicada na construção, mas como parte de um processo social, que leva em conta que a relação arquiteto – acústico – receptor (público ouvinte, crítico, jornalista, etc.). Essa relação está eivada de bagagem ideológica extra-tecnologia.

A expectativa do ouvinte inclui suas experiências sonoras anteriores e suas preferências. A acústica, já foi dito, vira um bode expiatório entre os participantes do projeto e isso interfere na apreciação que será feita de um novo auditório.

Essas coisas merecem mais estudos e comportam um marco de atividades nas quais será não só importante, mas bem benéfico para se dedicar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ARAÚJO, Celso (Ed.). **Teatro Nacional Cláudio Santoro: forma e performance**. Brasília: its-instituto terceiro setor. 2004.
- ARNS, Robert G.; CRAWFORD, Bret E. Resonant Cavities in the History of Architectural Acoustics. **Technology and Culture**, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, Vol. 36, No. 1. p. 104-135. 1995.
- ARTEC. **La renovation de la Salle Pleyel**. Dossier complete. Paris: ARTEC, 2006
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1987.
- BARRON, Michael. **Auditorium acoustics and architectural design**. Londres: Taylor & Francis, 1993.
- BERANEK, Leo. **Riding the waves**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2008
- . Acoustical and musical qualities. **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. Vol 99: p. 2647 ss., 1996
- . **Noise and vibration control**. New York: McGraw-Hill, 1971. Capítulo 18.
- . **Music, Acoustics and Architecture**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1962.
- BERTOLI, Stellamaris Rola. Anotações de aula. **XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**. Belo Horizonte. 2008.
- BLESSER, Barry; SALTER, Linda-Ruth. **Spaces speak, are you listening?** Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- CIDDAE. Centro de Investigación, Documentación y Difusión de las Artes Escénicas. Montevideu, 2006. Disponível em: <http://www.teatroSolis.org.uy>. Acesso em: 11 de outubro de 2009
- CRUNELLE, Marc. **Acoustic history revisited**. Banff, Canada: Banff Center for the Arts Texts, 1993.
- DUTRA, Igor. **Máscara de teatro grega**. Disponível em: <http://picasaweb.google.com/igordutra>. Acesado em: 7 ago 2008

FORSYTH, Michael. **Buildings for music: The architect, the musician, and the listener from the 17th century to the present day**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1985

HAEDO, A. M., SANCHEZ QUINTANA, R., BASSO, G. J., Preservación de la calidad acústica del Teatro Colón de Buenos Aires. In: **VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2008**, Buenos Aires. Actas FIA. Buenos Aires: FIA, 2008, A-155.

HELMHOLTZ, Herman von. **Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik**. Braunschweig: F. Vieweg. (On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music. New York: Longmans & Co, 1885). Reprint with an introduction by Henry Margenau, New York: Dover Publications, 1954.

HUDELSON, Joshua. **A Musical Miscarriage: Philharmonic Hall and the Soundscape of Midtown Manhattan. (2008)** Disponível em:
<http://www.joshuahudelson.com/writing/AcousticsPaper.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2009.

KLASSEN, Mikhail. **Avery Fisher Hall**, 2007 Disponível em:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Avery_fisher_hall.jpg Acesso em: 15 jul. 2009.

LAURO, Gustavo. **Teoria delle oscillazioni ed acustica tecnica**. Milano: G.G. Görlich [ca.1920]

MARTINI, F. di Giorgio. **Trattati di architettura ingegneria e arte militare: Secundo trattato**. Milan: Edizione il Polifilo, 1966.

MIGUEL, J. M. M. C. **A casa**. Londrina: EDUEL, São Paulo & Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2003.

PASSERI Jr., L.; BISTAFA, S.R. **Análise, diagnóstico e propostas de intervenção nas características acústicas de três teatros multifuncionais na cidade de São Paulo**. In: XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA. Anais. Belo Horizonte. 2008. p. 1-8.

PATTE, Pierre. Ensaio sobre a arquitetura teatral. Paris, 1782. Indicado em: FORSYTH, Michael. **Building for music. The Architect, the Musician, and the Listener from the Seventeenth Century to the Present Day**. Melbourne: Cambridge University Press, 1985.

SABINE, Wallace Clement. **Collected papers on acoustics**. Cambridge: Harvard University Press, 1922. Disponível em:

http://books.google.com.br/books?id=G25LAAAAMAAJ&source=gbs_navlinks_s. Acesso em: 22 mar de 2009.

SAUNDERS, Georges. **Treatise on theaters**. Reprint of the 1790 London edition. New York: Benjamin Bloom, Inc. 1968. Disponível em:

http://books.google.com.br/books?id=SWEWlrAZTkkC&printsec=frontcover&source=gbs_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false. Acesso em: 16 fev 2009

SCHROEDER, M.; ATAL, B.S.; SESSEL, G. M.; WEST J. E. (1966). Acoustical measurements in Philharmonic Hall (New York). **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. Volume 40, Issue 2, pp. 434-440. August 1966.

SILVA DE MARCO, Conrado. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel. 1982.

———. **Acústica del Teatro Solís**. Montevideú, 2003 (Trabalho apresentado à Direção de Obra do Teatro Solís como justificativa para a imprensa das reformas acústicas realizadas).

———. O século mais instigante de toda a história da música. In: **Um século de conhecimento**. Ed. Samuel Simon. Brasília: EDUnB, 2008. (no prelo).

———. Texto encaminhado à Reitoria da Universidade Federal de São João Del-Rei. 2009

TAMANINI, C. A. M., BISTAFA, S. R. A importância da acústica arquitetônica na arquitetura do Arquiteto Rino Levi. Separata de: **ACÚSTICA 2008**. Coimbra, Portugal. 2008.

THOMPSON, Emily. **The soundscape of modernity: architectural acoustics and the culture of listening in America, 1900 – 1933**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2002.

VIRGINIA TECH, VIBRATION & ACOUSTIC LABORATORIES. **Report Active Noise Control**. Blacksburg, Virginia, USA: 2008. (Disponível em: <http://www.val.me.vt.edu/>). Acesso em: 01 nov, 2009

VITRÚVIO. M. P. **Tratado de arquitetura**. São Paulo: Martins, 2007.

ZIELONCA, Willian Polam. **Processamento de áudio - cancelamento de ruído**. Curitiba, 2008. (Trabalho da disciplina de Processamento Digital de Sinais do Curso de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná)

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- BARRON, Michael. Subjective study of British symphony concert halls. In: **Acustica** **66**:1-14, 1988.
- BENADE, Arthur. **Fundamentals of musical acoustics**. New York: Oxford University Press, 1976.
- . KNUDSEN, Vern & others. The physics of music. In: **Scientific American**, Freemann, SL., 1978.
- BERANEK, Leo. Comments on ‘intimacy’ and ITDG concepts in musical performing spaces. In: **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. Vol 115, 2403 ss., 2004^a.
- . GRIESINGER, David. Listening to the acoustics in concert halls. In: **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. Vol 115, p. 2434 ss, 2004b.
- BROOKS, Christopher. **Architectural Acoustics**. Jefferson, NC. USA: McFarland & Company, 2003.
- EVEREST, Federic Alton. **The master handbook of acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1994.
- HIDAKA, Takayuki; NISHIHARA, Noriko, BERANEK, Leo. Relations of acoustical parameters with and without audiences in concert halls and a simple method for simulating the occupied state. In: **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. 2001. Vol 109, p. 1028.
- LEIPP, Emil. **Acoustique et musique**. Paris: Masson. 1967.
- OKANO, Toshiuki; BERANEK, Leo. Subjective evaluation of a concert hall’s acoustics using a free-format-type questionnaire and comparison with objective measurement. In: **Journal of the Acoustical Society of America**. USA. 2002. Volume 112, p. 2313
- SABINE, Wallace Clement. **Arquitectural acoustics**. Cambridge: Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, vol. xlii, no. 2, June, 1906.
- SCHAEFFER, Pierre. **Traité des objets musicaux**. Paris: Editions du Seuil. 1966.

ANEXO 1. Normas brasileiras de acústica.

A norma NBR 10.152 foi emitida em 1987 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), após um demorado processo de discussão, em uma comissão — presidida pelo autor desta Tese — que integrava profissionais da acústica, membros de firmas fabricantes de equipamento sonoro, professores universitários e membros de instituições que velavam pela qualidade de vida da população. A norma recomenda, entre outros critérios, “níveis máximos de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos” (ABNT Norma 10152, 1987 p.1). Esses valores máximos de ruído deverão ser observados nos projetos arquitetônicos e na construção. Depois de sua emissão pela ABNT, ela foi assimilada pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) como Norma Regulamentadora e virou documento obrigatório para todo território nacional. Ela obrigava, pela primeira vez no Brasil, que as construções levassem em conta isolamentos e procedimentos especiais para evitar que o ruído externo ao local fosse responsável pela má qualidade da vida no seu interior.

A norma, no momento que foi estudada, levou em conta que era um procedimento novo e foi bastante tolerante para fixar os valores, entendendo que a sociedade e os responsáveis por obtê-la precisavam de um tempo para se adequar aos novos valores. Por isso ela indica esses valores máximos toleráveis de uma forma relativamente restrita. Por um lado, oferece dois tipos de valores na tabela: dBA e NC. O dBA é uma unidade de nível de intensidade sonora ponderada nas frequências, para levar em conta que nossa percepção diferenciada com a frequência do nível sonoro de intensidade:

Para definir a perturbação causada por um ruído determinado, será necessário então medi-lo em várias frequências e corrigir a curva resultante conforme as curvas fisiológicas. Os especialistas de acústica têm inventado uma série de unidades e formas de cálculo para corrigir os valores da leitura física [...] Baseia-se esta na possibilidade de inserir filtros corretores no interior do próprio aparelho de medida do som (decibelímetro), de forma a obter valores únicos para ruídos complexos, em vez de uma série de valores dependendo das frequências.

O filtros funcionam como atenuadores, usando curvas pré-fixadas. As curvas A, B e C foram criadas para reproduzir a resposta do ouvido perante os sons de aproximadamente 40, 70 e 100 fones, respectivamente. Atualmente se usa quase com exclusividade a curva A, independente do tipo de ruído ao qual é aplicado o instrumento medido e independente do seu nível sonoro (SILVA DE MARCO, 1982, p. 51)

As curvas NC (*Noise Criterion*), índice de critério de ruído, definidas por Beranek (1971) foram indicadas como alternativa na norma brasileira por ser, naquele momento, tão usadas quanto o critério de dBA, hoje mais usado.

Os valores máximos indicados pela NBR 10.152 para Auditórios são os seguintes

	dBA	NC
Salas de concertos, teatros	30-40	25-30

Por ser uma realidade nova no Brasil, admitiu-se no momento de editar a norma, usar dois valores para cada caso e em cada escala. Os dois números não indicam valores alternativos, mas devem ser compreendidos da seguinte forma: O valor menor é o realmente recomendável e implica num custo maior na construção; o valor maior indica menor qualidade, é mais econômico e só deveria ser aplicado por um período de transição. A norma NBR 10.152 está no momento em processo de reforma e é provável que os valores a ser indicados sejam ligeiramente modificados e definidos valores únicos.

ANEXO 2 – Cancelamento Ativo de Ruídos — CAR (ANC).

Nos últimos anos vem se falando em forma crescente do cancelamento ativo de ruídos, como uma panacéia que logo mais substituirá as complexas e caras janelas acústicas, através da simples instalação de uma caixinha preta na sala, e com ela a sala ficará magicamente em silêncio.

Só acreditando mesmo em magia, já que se tal caixinha fosse possível alguns fabricantes estariam cheios de ouro e os fabricantes de janelas acústicas morrendo de fome.

A novidade tem tomado tal envergadura que corresponde esclarecer aqui alguns pontos:

O cancelamento ativo de ruídos vem rondando a vida dos acústicos desde que, em 1936, o físico alemão Paul Lueg patenteou a ideia nos Estados Unidos. A ideia era genial, ainda que pra realizá-la em forma eficiente, numerosos acústicos aficionados, que não entenderam os quiproquós do conceito tem se lançado com pouco resultado atrás de uma solução prática para o artefato (VIRGINIA TECH, 2008)

O controle ativo segue o princípio da interferência destrutiva de ondas, que consiste em eliminar um ruído indesejado, gerado por uma fonte primária através de um anti-ruído gerado por uma fonte secundária. Escutados os dois sons ao mesmo tempo, eles tendem a se cancelar.

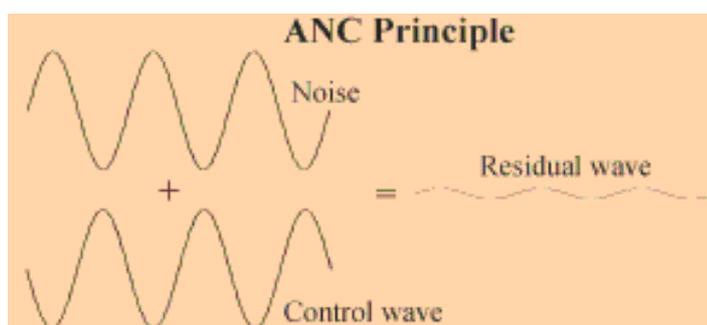


Figura 45 – Esquema do CAR (ANC).

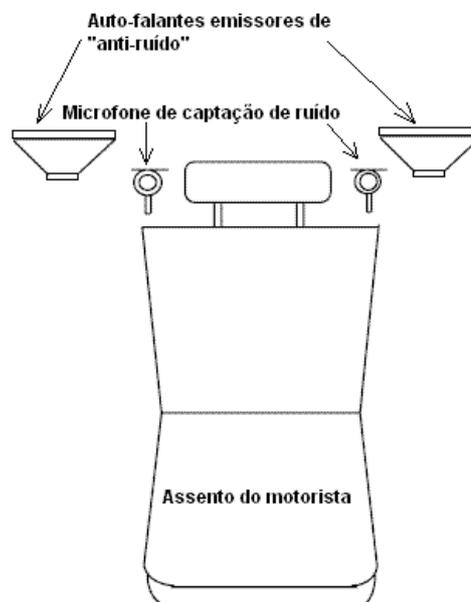
Zielonca (2008) explica como funciona basicamente, o sistema de cancelamento hoje, já de uma forma mais detalhada

As técnicas mais recentes de cancelamento de ruído têm por base filtragem adaptativa, juntamente com a modelagem e estudo dos vários percursos que o sinal/ruído percorre, quer até à entrada, quer dentro do sistema de cancelamento acústico. A capacidade de determinar e inverter as funções de transferência destes percursos influi determinantemente no desempenho do sistema de cancelamento ruído.

Em um sistema de controle acústico ativo, os filtros adaptativos podem ser aplicados de um modo simples usando um microfone de detecção para se obter o sinal de entrada, o filtro adaptativo gerando o sinal de saída para o alto-falante e um segundo microfone para captar o sinal resultante (sinal de erro). Durante a operação do sistema, o filtro é continuamente ajustado para fazer a saída do alto-falante cancelar o ruído acústico, de forma a minimizar o sinal do microfone de erro. Se as características acústicas do sistema mudarem, os parâmetros do filtro vão se alterar para manter o sinal de erro o mais baixo possível, ou seja, há uma adaptação de modo a maximizar o desempenho de acordo com o sinal de erro recebido.

Para isso, todas as ferramentas usadas no controle precisam ser capazes de executar muitas operações numéricas como convolução, correlação, filtragem e modulação em períodos muito curtos de tempo. (ZIELONCA, 2008, p. 5)

O sistema de cancelamento ativo pode ser aplicado, com certa eficiência, em casos que reúnam duas condições: a) que o ruído tenha características homogêneas no tempo, como, por exemplo, ruídos de motores de aeronaves; e b) que o procedimento seja aplicado em situações onde o beneficiado esteja permanentemente num mesmo lugar como, por exemplo o piloto da aeronave, de forma que o receptor do ruído agressor — microfones próximos aos ouvidos— e os alto-falantes emissores de “anti-ruído” também seja instalados próximos aos ouvidos, ou ainda, preferentemente sendo usados fones de ouvido. Nestes casos pode se prever uma abafamento do ruído intruso com, aproximadamente, 30 % de eficiência.



5

Figura 46: Zona livre de ruído por sistema ANC multi-canal.

ANEXO 3 – Textos originais que foram traduzidos ao longo do texto.

Página 17

“But I don’t want to hear a pin drop” exclaimed Eugene Ormany, throwing his arms upward for emphasis, “I want to hear the orchestra!” (Regente Eugene Ormandy, apud Beranek, 1962, p.1).

Página 19

First, the large front wall of the skene, positioned behind the performers, would have reflected sound to the audience in much the same way that the front wall of the stagehouse in many sixteenth-century theaters did (and does in some modern theaters as well). Second, increasing the angle of rise in the seating area would have placed the audience closer to the performers. (Amphitheaters with sharper angles of rise do indeed have better acoustics). Third, the mouth openings of theatrical masks may have functioned as miniature megaphone. Fourth, through special training, performers learned to project their voices for maximum intelligibility. Finally, by singing, performer could project their voices still farther than by simply speaking - much farther, perhaps reaching the most distant seats. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 96)

Página 21

It is possible to make an instrument with which the lord may easily hear all that is said in the house, 'in his absence', let us say, and in this way: a concavity is formed which is like a window carved in the wall (a niche), and which is hollowed out into a little tube; in the upper part a nook is formed which opens onto a place in which the lord, by applying his ear to the tube, hears all despite efforts to speak quietly. This is because the remainders of sound and of the voice in this angular room fortify themselves; in a certain way the dispersed fragments unite and become stronger as experience has shown. (Martini, 1490:7, apud Crunelle, 1993, p. 12)

Página 21

[This belief in the harmony of the universe,] a belief that integrated music, architecture, astronomy, and mathematics, was gradually transformed as modern science took shape during the sixteenth and seventeenth century. [...] As science and architecture parted ways, the subject of architectural acoustics fell into the gap that opened between them. (THOMPSON, 2002, p. 18-19)

Página 22

[...] the proliferation of dedicated musical spaces in the eighteenth and nineteenth centuries. Examples of such grand spaces, whose designs were mostly derived from tradition, crude

experiments, visual aesthetics, and dogmatic beliefs in imaginary science, and whose acoustic ranged from magnificent to disastrous. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 78)

Página 23

L'ingegnere e l'architetto lascino libero corso alla genialità creatrice dell'opera d'arte: la scienza poi [...] offrirà le risorse per una buona audizione quando, stabilita e concretata l'opera architettonica, sarà possibile esaminare punto per punto le condizioni acustiche della sala e, con opportuni mezzi adattare alle esigenze di una buona audizione. (LAURO, ca.1920, p. 189)

Página 24

The way in which a particular technology is practiced is intrinsically linked to the social setting in which it is found. Technologies, along with other phenomena such as social structure, values and beliefs, and language and symbolism, are part of the cultural matrix. Culture, in turn, both reflects and shapes technology. (ARNS E CRAWFORD, 1995, pg 104)

Página 24

Vitruvius stated that the vases provided a fuller, richer sweeter sounds and greater clarity. Although the open-air character all but eliminated problems of echo, many of these theaters were also very large. As a result, it would have been difficult for those in the upper rows to understand what was going on against a background of crowd noise. here are about one hundred sites in sufficiently good condition to bear examination on this question, the archaeological evidence indicates that no more than six or seven Greek and Roman theaters had sounding vessels or niches that may have held them. It seems plausible (1) that hollow vessels in some form had been tried as a means of enhancing the sound in some Greek theaters or were being tried in Roman theaters and (2) that Vitruvius was providing a theoretical prescription, appropriate to his time and culture, as a basis for future applications. The fact that so little remains of these sounding vessels in ancient theaters may indicate that the scheme was not sufficiently effective to warrant continuation once the motivating idealism was weighed fully against Roman Republican practicality. (Arns & Crawford, 1995 p. 110)

Página 25

The (acoustic vases) reappeared in the Middle Ages, in churches this time, but again in a curious manner. They are found both in basilicas and in chapels, and although distributed throughout Europe, are not systematically employed. For example, in Vans, acoustic vases can be found in the chapel of the Conservatoire des Arts et Metiers (today the library) but not in the large churches: neither at St Sulpice nor at Notre-Dame or St Eustache. (Crunelle, 1993, p. 107)

Página 25

To take justly into account these varied conditions, the solution of the problem should be quantitative, not merely qualitative; and to reach its highest usefulness it should be such that its application can precede, not follow, the construction of the building. In order that hearing may be good in any auditorium, it is necessary that the sound should be sufficiently loud; that the simultaneous components of a complex sound should maintain their proper relative intensities; and that the successive sounds in rapidly moving articulation, either of speech or music, should be clear and distinct, free from each other and from extraneous noises. (SABINE, 1922, p.4).

Página 26

In the preceding paper it was shown that the duration of the residual sound in a particular room was proportional inversely to the absorbing power of the bounding walls and the contained material, the law being expressed closely by the formula $(a + x)t = k$, the formula of a displaced rectangular hyperbola. (SABINE, 1922, p. 25).

Página 26

Two thoughts emerge from the descriptions of the 54 halls. First, the halls can be assigned to several ordered categories; and second, except for the best and the worst halls there is a range of opinion on every one. No hall studied was entirely free of criticism, and no hall failed to win some praise. (BERANEK, 1962, p. 393).

Página 27

If the Boston Symphony Orchestra were to place itself along one side of its long, rectangular hall, and the audience were to stretch from the stage to the rear of the hall, turned 90 degrees so as to face the newly placed orchestra, would the music please the listeners as well as the present arrangement does? If the roof were to be rolled back, leaving the hall open to the sky, or if the balconies were to be eliminated and a new ceiling hung a few feet above the audience's heads, would the acoustics change? Clearly, great differences would result from any one of these radical changes, and one of the tasks of modern acoustics is to try to find formulas that can predict the effect of different proportions on the acoustics of the hall. (BERANEK, 1962, p. 10).

Página 27

From the inception of the project, it was anticipated that certain features of this vast undertaking would benefit from an opportunity for fine-scale adjustment or revisions prior to the finishing. In the present state of the acoustical craft, it is possible to predict accurately the required cubic volume, the area to be allowed for the seating, the general shape and basic proportions of the hall, the dimensions of the stage, the allowable amounts of carpet and other absorptive materials, and the basic acoustical design for a reflecting canopy above the stage and front part of the hall. Acoustics has not yet developed a way to determine, accurately and

in advance the specifications for the fine details — the orientation of the reflecting panels around the stage, the exact height and proportion of open area of the canopy, the angles of the individual panels in the canopy or around the stage.(BERANEK, 1962, p. 526).

Página 27

Tuning week [...] was made with the help of the Philharmonic Orchestra and a group of highly qualified listeners, working together with the acoustical consultant, the architect, and the building contractor. As far as I know, in no major American Hall, from [...]1857, to [the present], have the acoustics been adjusted experimentally prior to its opening. . (BERANEK, 1962, p. 527).

Página 27

Musicians' appreciation of spatial reverberation, especially when performing nineteenth-century music in nineteenth-century concert halls, is abundantly clear in the many quotations collected by Beranek (1996a). The renowned violinist Isaac Stern said that "as the [violinist] goes from one note to another the previous note perseveres and he has the feeling that each note is surrounded by strength. When that happens, the violinist does not feel that his playing is bare or 'naked' - there is a friendly aura surrounding each note ... The effect is very flattering. It is like walking with jet-assisted "take-off" (BERANEK, 1962, p. 102).

Página 28

Para realizar esta tarea, contamos con diversas fuentes de información:

- Planos de arquitectura actualizados.
- Archivos históricos del teatro.
- Estudios acústicos previos.
- Mediciones acústicas de la sala (modelo 1:1).
- Simulaciones digitales de la sala.
- Análisis auditivos realizados por músicos y especialistas.

(HAEDO et a. 2008 p. 5)

Página 29

- 1 Diagnóstico del estado acústico previo al comienzo de las tareas de restauración.
- 2 Realización de mediciones del campo acústico en base a la norma ISO 3382.
- 3 Mediciones acústicas de la sala durante su desarme secuenciado, antes y después del retiro de todos los materiales interiores de la misma.
- 4 Medición en laboratorio de las características acústicas de los componentes y materiales retirados de la sala.
- 5 Medición en laboratorio de las características acústicas de los componentes y materiales a incorporar en reemplazo de los retirados de la sala.
- 6 Elaboración de un modelo acústico digital para control del proceso de desarme-armado de la sala.
- 7 Mediciones acústicas de la sala durante su rearmado secuenciado.
- 8 Medición final con la sala completamente equipada y puesta en valor.
- 9 Comparación de las mediciones mencionadas en la etapa 1 (condición inicial) y en la etapa 7 (condición final)

(HAEDO et a. 2008 p. 5)

Página 32

A real environment, such as an urban street, a concert hall, or a dense jungle, is sonically far more complex than a single wall. The composite of numerous surfaces, objects, and geometries in a complicated environment creates an *aural architecture*. As we hear how sounds from multiple sources interact with the various spatial elements, we assign an identifiable personality to the aural architecture, in much the same way we interpret an echo as the aural personality of a wall. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 2)

Página 33

Although we usually think of a soundscape as a collection of sonic events, it also includes the aural architecture of the environment. The experience of listening to a sermon in a cathedral is a combination of the minister's passionate articulation and spatial reverberation. A performance of a violin concerto combines the sounds of musical instruments with the acoustics of the concert hall. The soundscape of a forest combines the singing of birds with the acoustic properties of hills, dales, trees, and turbulent air. To use a food metaphor, sonic events are the raw ingredients, aural architecture is the cooking style, and, as an inseparable blend, a soundscape is the resulting dish. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 15)

Página 33

When a space has curved surfaces, its acoustics can readily change the aurally perceived geometry of that space. Like the side mirror of an automobile warning that (visual) objects are closer (larger) than they appear, curved surfaces also change the apparent location of aural objects. Particular curved surfaces can focus sound such that the source appears aurally closer or farther, larger or smaller. We can think of these curved surfaces as distortions of a circular acoustic arena. Curved surfaces can also produce acoustic dead zones such that a source is inaudible, as if it were in an acoustically isolated arena. Aural privacy does not require walls. In contrast, some curved surfaces can give you the aural impression that a speaker is sitting on your right or left shoulder. Science museums often demonstrate how a parabolic sound reflector displaces a speaker 30 meters (100 feet) away to an aurally perceived distance of 3 cm (1 inch)-a thousandfold shift in location. (BLESSER e SALTER, 2007, p. 54)

Página 40

Because subjective experience is frequently dominated by culture, it is distinctly possible that every subculture shows major differences when making perceptual and preferential judgments. For example, Barron (1988) showed that listeners divided into one of two groups, preferring either "intimacy" or "reverberance." In every time period, musicians, acoustic architects, and ordinary listeners are simply different auditory subcultures, each with a unique vocabulary, experience, and perceptions. The problem may lie with an imperfect language or with crude research paradigms, rather than with variations in perception. Even in a relatively uniform culture, language differences result in perceptual differences. It is simply not obvious

that there should be consistency in auditory perceptual and preferential judgments. And if there are, in fact, wide variations, any attempt to find consistent results must fail. (BLESSER e SALTER, 2007 p. 223).

Página 50

From the inception of the project, it was anticipated that certain features of this vast undertaking would benefit from an opportunity for fine-scale adjustment or revisions prior to the finishing. In the present state of the acoustical craft, it is possible to predict accurately the required cubic volume, the area to be allowed for the seating, the general shape and basic proportions of the hall, the dimensions of the stage, the allowable amounts of carpet and other absorptive materials, and the basic acoustical design for a reflecting canopy above the stage and front part of the hall. Acoustics has not yet developed a way to determine, accurately and in advance, the specifications for the fine details -- the orientation of the reflecting panels around the stage, the exact height and proportion of open area of the canopy, the angles of the individual panels in the canopy or around the stage. ' (BERANEK, 1962, p. 526)

Página 51

Thus, Saturday, June 2, 1962, ended a unique chapter in the annals of acoustical design — five years of sympathetic cooperation between artists and scientists. Whether history will award Philharmonic Hall a position among the world's finest environments for concert music is still too early for us to judge. But the understanding already engendered among musicians, architects, and acousticians should enrich the acoustical designs of the future and avoid many pitfalls of the past. (Beranek, 1962, p. 534).

Página 52

The performance demanded an extra-large orchestra, along with three-large choruses and a host of soloists. To accommodate, the stage had to be extended to double its design size this assemblage. The performance pieces, under Leonard Bernstein's baton, came across as overwhelmingly loud and aggressive, particularly with sound bouncing off the acoustic panels everywhere [...] Performance by the Boston, Philadelphia, and Cleveland orchestras later in the week sounded better, partly because the regular stage size was used, but the damage had already been done, most of the music critics had already formed an opinion. (Beranek, 2008, p. 159).

Página 52

One had no intimation of the storms which were to rage after the opening... Philharmonic Hall rates as the greatest acoustic disaster so far this century. (Barron 1993, p. 91).

Página 53

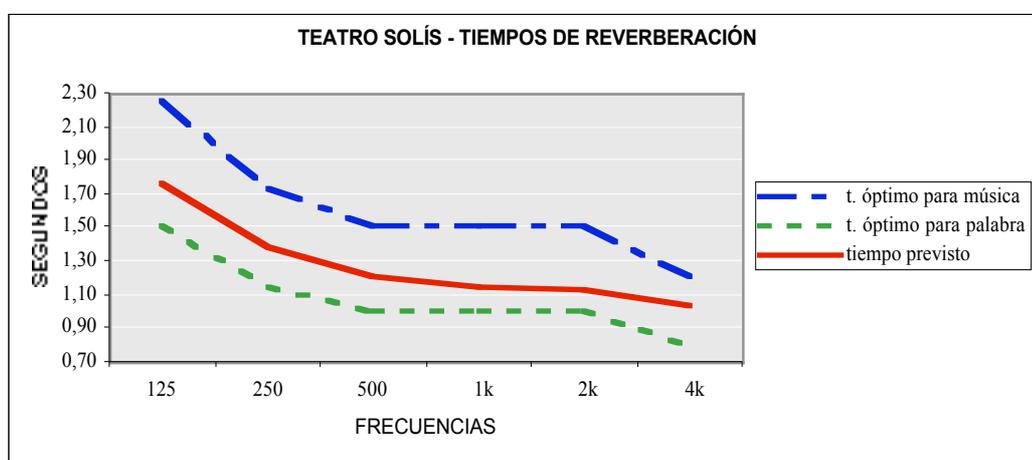
What had gone wrong? When a problem proves to be so intractable, it is perhaps predictable that there is no simple answer and that no one involved had attempted to provide a full assessment. The puzzle is especially perplexing since the reverberation time was close to 2 seconds, often considered an optimum value, and the gross form was not outrageous by acoustical standards. (Barron, 1993, p. 91. T. A.).

Página 54

Avery Fisher Hall was the locus of major ideological differences between two central forces influencing the midtown Manhattan music scene in the twentieth century. While the science of acoustics may be quite real, its deployment is always political. Arguments in favor of one type of sound over another carry ideological baggage. Implicit in the proper way to hear music is a proper type of person to hear it and the propriety of certain styles of music and performance. Thus, acoustics becomes a scapegoat and the battle is fought quietly behind soundproof walls. (Hudelson, 2008, p. 2)

Página 57

Para tener un óptimo teatro para música es necesario un volumen grande (como el del Teatro Colón de Buenos Aires). Para el TS sería necesario contar con 9.800 m^3 frente a los 5.300 m^3 del volumen original de la sala. Casi el doble. Como no era posible duplicar el teatro, fue necesario bajar nuestras pretensiones. Durante el proceso de reforma, conseguimos crear un



aumento de 945 m^3 . Se introdujo en el volumen operacional del TS un volumen extra por encima del plafón histórico y bajo la nueva losa de hormigón, espacio creado en la reforma para aumentar el aislamiento acústico de la sala con el exterior. Eso corresponde a un aumento de 18% sobre el volumen histórico del TS. No es mucho, pero nos permite aproximarnos un poco a las condiciones ideales.

El Teatro Solís debe ser tan bueno para la palabra como para la música. Esta consigna definió la reverberación final. El gráfico muestra una curva intermedia entre los tiempos de reverberación ideales para la palabra y para la música. Ésa fue la curva tomada como objetivo para el TS, obtenida con cuidados especiales.

Difusores con relieves de madera, calculados especialmente para las características de la sala, fueron instalados en los primeros palcos avant-scène, para aportar una cierta "ambigüedad" a la dirección del sonido musical.

Las cortinas que separan los palcos de los antepalcos fueron aprovechadas: permanecerán cerradas cuando el teatro sea utilizado para palabra (la Comedia Nacional, por ejemplo), cumpliendo función de absorción de sonido y eliminando la participación acústica del volumen de los ante-palcos. Esas cortinas serán abiertas durante los conciertos, aprovechando el volumen de los antepalcos para aumentar un poco (unas importantes dos décimas de segundo) la reverberación. Es fundamental que esta medida sea mantenida durante el uso del teatro: cortinas cerradas para la Comedia; abiertas para los conciertos.

Durante los conciertos será fundamental usar la caja acústica de la orquesta, que permite que la energía sonora emitida por los grupos instrumentales y/o vocales sea aprovechada al máximo, reflejando hacia la sala los sonidos que sin ella se perderían hacia los lados, hacia arriba y atrás de los músicos. Esa caja acústica, fácilmente desmontable, fue construida especialmente e, importada, está en camino. No será usada en la re-inauguración, pero cuando haya llegado, está prevista su utilización toda vez que se realice un espectáculo musical. Un reflector acústico adicional, complementario de la caja acústica y también desmontable, será colgado debajo de la boca del escenario, con el cometido de proporcionar un incremento de las primeras reflexiones del sonido que llegan al oyente. Ese reflector deberá ser colocado para cada concierto o ciclo de conciertos y podrá ser retirado cuando el teatro sea usado por la Comedia o por otras actividades con palabra hablada. La caja acústica y el reflector extra son indispensables para obtener la primera cualidad indicada arriba: la intimidad acústica del teatro. (SILVA DE MARCO, 2003, p. 3)