

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

RENATA KINTSCHNER LOPES

RELAÇÕES E INFLUÊNCIAS DA APLICAÇÃO DA
ACÚSTICA NO PROCESSO DE PROJETO DE
ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA.

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Stelamaris Rolla Bertoli

Campinas, SP

2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

L881r Lopes, Renata Kintschner
 Relações e influências da aplicação da acústica no
 processo de projeto de arquitetura contemporânea /
 Renata Kintschner Lopes. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

 Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.
 Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo.

 1. Arquitetura. 2. Acústica arquitetônica. 3. Projeto
 arquitetônico - Técnica. 4. Projeto arquitetônico -
 Metodologia. I. Bertoli, Stelamaris Rolla. II.
 Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Relations and influences of the application of acoustics in
the design process of contemporary architecture

Palavras-chave em Inglês: Architecture, Architectural acoustics,
Architectural design - Technique, Architectural
design - Methodology

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Leandro Silva Medrano, Milton Vilhena Granado
Junior

Data da defesa: 01/07/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**RELAÇÕES E INFLUÊNCIAS DA APLICAÇÃO DA ACÚSTICA NO
PROCESSO DE PROJETO DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA.**

RENATA KINTSCHNER LOPES

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Drª. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e Orientador(a)/ Unicamp**



**Prof. Dr. Leandro Silva Medrano
Unicamp**



**Prof. Dr. Milton Vilhena Granado Junior
Mackenzie**

Campinas, 01 de julho de 2010.

Dedico essa dissertação à minha mãe, modelo em quem sempre me inspirei.

AGRADECIMENTOS

A Deus, luz e conforto, pela capacitação concedida.

À Professora Doutora Stelamaris Rolla Bertoli, minha orientadora, pela orientação competente e dedicada, a quem devoto a mais sincera admiração.

Ao Professor Doutor Leandro Silva Medrano, por sua especial contribuição no desenvolvimento dessa dissertação.

À Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e ao Departamento de Arquitetura e Construção, aos seus funcionários e professores que auxiliaram direta e indiretamente na concretização desse mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

Ao Professor Doutor Gogliardo Vieira Maragno, principal incentivador do tema dessa pesquisa.

Ao Professor Doutor Evandro Ziggiani Monteiro, pelas contribuições no exame de qualificação.

Ao Professor Doutor Milton Vilhena Granado Junior, pelas contribuições na banca final.

À contribuição dos profissionais: Zackery Belanger, consultor acústico da empresa Kirkegaard Associates; Johannes Goebel, diretor do *Experimental Media and Performing Arts Center* (EMPAC); Kurt Pragman, da empresa Pragman Associates; Yasuhisa Toyota, consultor acústico; e Teresa Aguiar, da Casa da Música, pelo fornecimento de informações e imagens.

Ao apoio da amiga Vera Rubbioli e dos meus tios, Fernando, Adriana, Ricardo e Miriam.

Aos meus pais, Renato e Kátia, que dedicaram suas vidas ao sucesso de seus filhos e que por isso são os verdadeiros responsáveis pelas minhas vitórias. Aos meus irmãos, Fernanda e Vinícius, pela força e carinho.

Ao meu esposo, Rafael, pelo incentivo, ajuda e presença indispensável.

E ainda, um agradecimento especial aos meus avós Suely e Idê (*in memoriam*) que contribuíram diretamente para a realização desse mestrado.

“A acústica, como acontece com o concreto armado, é um elemento determinante da forma arquitetônica e influi até mesmo na plástica dos edifícios.” (Pérides Silva, 1971)

RESUMO

No processo de projeto, é necessário que o arquiteto busque soluções integradas para uma série de exigências projetuais. Os fatores acústicos devem ser claramente compreendidos e incorporados no início da conceitualização do projeto arquitetônico, para que a qualidade sonora seja alcançada. O objetivo dessa pesquisa é investigar como os conceitos da acústica arquitetônica interferem na composição arquitetônica durante a fase projetual. Algumas tipologias de edifícios possuem propostas arquitetônicas mais complexas e exigem a participação de muitos especialistas, compondo equipes multidisciplinares. Esses fatores tornam indispensável a aplicação de uma metodologia de projeto, para tornar o processo projetual compreensível e transparente. O método de projeto baseado no desempenho foi identificado como um método adequado para a concepção de edifícios que envolvem vários requisitos de desempenho acústico. A presente pesquisa não pretende impor regras ou diretrizes projetuais, mas busca investigar como o projeto arquitetônico de edifícios pode ser enriquecido a partir do atendimento dos requisitos de conforto acústico e qualidade sonora. A partir da revisão bibliográfica, os aspectos arquitetônicos considerados mais relevantes e abrangentes aos edifícios contemporâneos foram: implantação e meio urbano, forma, dimensões e volume, materiais, mecanismos de variabilidade acústica e metodologia projetual. Para os estudos de caso foram analisadas as seguintes obras: a Sala São Paulo, projetada pelo arquiteto Nelson Dupré e equipe; Casa da Música, do arquiteto Rem Koolhaas; o Centro de Mídia Experimental e Artes Performáticas (EMPAC), do escritório Grimshaw Architects; e a Walt Disney Concert Hall, do arquiteto Frank Gehry. A análise dos resultados obtidos por meio dos estudos de caso foi feita a partir dos mesmos aspectos levantados na revisão bibliográfica, além da análise das metodologias projetuais aplicadas, com o intuito de se fazer uma verificação de como acústica e projeto arquitetônico dialogam em situações reais. Para uma visualização sintetizada, uma tabela foi elaborada relacionando parâmetros acústicos objetivos com os parâmetros subjetivos e as respectivas estratégias arquitetônicas para atendê-los. Espera-se que os requisitos acústicos não sejam somente uma fração da técnica de qualidade sonora, mas também um elemento que enriqueça o partido arquitetônico e a composição da arquitetura contemporânea.

Palavras-chave: arquitetura, acústica arquitetônica, projeto arquitetônico – técnica, projeto arquitetônico – metodologia.

ABSTRACT

During the design process, it is necessary for the architect to seek integrated solutions for a number of design requirements. Acoustic factors must be clearly understood and incorporated at the beginning of the design for the sound quality is achieved. The objective of this research is to investigate how the concepts of architectural acoustics affect the architectural composition during the design process. Some types of buildings have architectural proposals more complex and require the participation of many experts, forming multidisciplinary teams. These factors make it essential to apply a design methodology to make the design process understandable and clear. The performance based design method was identified suitable for designing buildings that involve a number of acoustic requirements. This research does not intend to impose rules or design guidelines, but seeks to investigate how the architectural design of buildings can be enhanced by compliance with the requirements of acoustic comfort and sound quality. From the literature review, the architectural aspects deemed most relevant and embracing to contemporary buildings were implantation and urban environment, shape, size and volume, materials, devices of acoustic variability and architectural design methodology. For the case studies the following projects were analyzed: the Sala Sao Paulo, by architect Nelson Dupré and team, Casa da Musica, designed by architect Rem Koolhaas, the Experimental Media and Performing Arts Center (Empac), by Grimshaw Architects, and the Walt Disney Concert Hall, by architect Frank Gehry. The analysis of the results obtained through the case studies was made from the same issues raised in the literature review, and also the analysis of design methods applied in order to make an investigation of how acoustic and architectural design dialogue in real cases. For a synthesized view, a table relates objective acoustic parameters with subjective acoustic parameters and the architectural strategies to meet them. It is expected that the acoustic requirements are not only a fraction of the technique for sound quality, but also an element that enriches the architectural party and the composition of contemporary architecture.

Keywords: architecture, architectural acoustic, architectural design - technique, architectural design - methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Linha do Tempo: do Classicismo à Arquitetura Contemporânea.	8
Figura 2.2: Primeira casa modernista no Brasil, Gregori Warchavchik.	14
Figura 2.3: Estrutura do edifício compondo a forma.	17
Figura 4.1: Curvas Isofônicas.	43
Figura 4.2: Tempo de reverberação ótimo em função do volume e do uso.	49
Figura 5.1 a, b, c: Implantação e ruídos externos.	62
Figura 5.2 a, b, c, d, e, f: Forma e área de platéia.	64
Figura 5.3: Reflexões laterais em função da forma.	65
Figura 5.4. Palco com paredes laterais inclinadas para fora.	65
Figura 5.5: Efeito de galeria do cochicho.	66
Figura 5.6: Forma da fachada como proteção a ruídos.	67
Figuras 5.7 (a), (b): A configuração em planta contribui para a proteção de áreas sensíveis a ruídos, como a biblioteca e as salas de aula, nos exemplos das figuras.	68
Figura 5.8: Média da Força (G) em função do volume (V) das igrejas estudadas por Cirillo e Martellotta (2006)	69
Figura 5.9. Recomendação para o dimensionamento de balcões, segundo Mehta <i>et al.</i> (1999). Fonte: Mehta <i>et al.</i> (1999).	70
Figura 5.10: Materiais Absorventes Sonoros	73
Figura 5.11: Acabamentos dos parapeitos de balcões.	76
Figura 5.12: Absorvedores suspensos – diversos formatos e cores.	77
Figuras 5.13 (a): Ressonador em bloco. (b) Vista do bloco e vista frontal de uma parede.	78
Figuras 5.14 (a), (b), (c), (d), (e), (f): Painéis refletores em auditórios e salas de concerto.	80
Figura 5.15: Difusores acústicos.	83
Figura 5.16: Pannel duplo de gesso acartonado.	85
Figura 5.17 (a): Flanking entre parede e teto. (b): Septo entre parede e teto, impedindo o flanking.	85
Figura 5.18 (a): Sistemas de laje/ piso flutuante. (b): Rolo de borracha tipo neoprene.	87
Figura 5.19: Posicionar as fontes de ruído mais ao centro do ambiente, longe das superfícies refletoras.	88
Figuras 5.20 (a) e (b): Poltronas especiais.	89
Figura 5.21: Sistemas flexíveis de controle de reverberação sonora.	91
Figuras 5.22 (a) e (b): Sistemas flexíveis de controle de reverberação sonora através da variação do volume.	92
Figura 5.23: Sistema de controle de reverberação por acoplamento de volumes.	92
Figura 5.24: Sistemas de forro móvel do Thomas Hall, Ohio, EUA.	93
Figura 5.25: Concha acústica refletora para orquestra.	94
Figura 5.26: Flexibilidade de layout do Orbis Hall, Kobe, Japão.	95
Figura 5.27: Palco para teatros.	96
Figura 6.1. Sala São Paulo.	102
Figura 6.2. Projeto da Estação Júlio Prestes de Christiano Stockler das Neves.	103
Figura 6.3. Estação Júlio Prestes após revitalização.	104
Figura 6.4. Grande hall inacabado, local onde foi implantada a sala de concertos.	106
Figuras 6.5. (a) e (b): Hall entre a sala de concertos e a estação de trem.	107
Figura 6.6. Antecâmara de acesso do publico.	109

Figura 6.7. Perspectiva da proposta da Artec para a Sala São Paulo.....	111
Figura 6.8. Perspectiva da proposta de Dupré para a Sala São Paulo.....	111
Figuras 6.9. (a) e (b): Revestimento em placas de pau-marfim.....	113
Figuras 6.10. (a) e (b). Placas do teto móvel da Sala São Paulo.	115
Figuras 6.11. (a) e (b) Piso técnico da Sala São Paulo	116
Figura 6.12. Configuração “E” do teto móvel da Sala São Paulo para as medições.	118
Figura 6.13. Pontos de medição da Sala São Paulo.	119
Figura 6.14. Esquema de medições da Sala São Paulo.....	120
Figura 6.15. Casa da Música, Porto – Portugal.	123
Figuras 6.16. Rotunda da Boa Vista.	124
Figura 6.17. Auditório.....	126
Figura 6.18. Terraço voltado para a Rotunda da Boa Vista.	126
Figura 6.19. Digitópia, laboratório musical para o público.....	126
Figuras 6.20 (a) (b) (c) (d) Interior da Casa da Música.	127
Figuras 6.21. (a), (b): Praça da Casa da Música.	130
Figura 6.22. Maquete do bloco da Casa da Música.	131
Figuras 6.23. (a), (b) Planta e Corte da Casa da Música.	131
Figura 6.24. Sala Suggia.	132
Figura 6.25. Espaço entre os vidros duplos nas extremidades da Sala Suggia.	134
Figura 6.26. Vidro ondulado da Casa da Música.....	134
Figura 6.27. Níveis de ruído na Casa da Música com a aplicação do vidro laminado.	135
Figura 6.28. Materiais de acabamento da Sala Suggia.	136
Figura 6.29. Sala Suggia – Casa da Música.	137
Figura 6.30. Concha inflável da Casa da Música.	138
Figura 6.31. Gráfico comparativo da reflexão sonora da concha inflável da Casa da Música.	139
Figura 6.32. Modelo virtual da Casa da Música.	140
Figura 6.33. Medição do TR para as diferentes posições das cortinas.	143
Figura 6.34. Medição do EDT para as diferentes posições das cortinas.	144
Figura 6.35. EMPAC.	148
Figura 6.36. Planta do EMPAC.	151
Figuras 6.37. (a) e (b): Maquete do edifício do EMPAC.....	152
Figuras 6.38. (a) e (b): Casca de Cedro da sala de concertos.....	152
Figura 6.39. Interior das placas de cedro da sala de concertos, durante a construção.	153
Figura 6.40. Fachada sul do EMPAC.	155
Figuras 6.41. (a), (b) e (c): Construção do EMPAC.	156
Figura 6.42. Teatro do EMPAC.....	157
Figuras 6.43. de (a) a (f): Estúdios do EMPAC.....	159
Figura 6.44. EMPAC, vista para o rio Hudson.....	160
Figura 6.45. Elevação esquemática do EMPAC.....	161
Figuras 6.46. (a) e (b): Sala de Concertos do EMPAC.	163
Figura 6.47. Planta da sala de concertos do EMPAC.	164
Figuras 6.48 (a), (b) e (c). Revestimento da sala do EMPAC.	165
Figura 6.49. Planta do forro de Nomex do EMPAC.....	167
Figuras 6.50. (a), (b) e (c). Sistema de variabilidade acústica do EMPAC, através de painéis absorventes.	168
Figuras 6.51. (a) e (b). Modelos em 3D do EMPAC.	171

Figura 6.52. Walt Disney Concert Hall.....	174
Figura 6.53. Entrada da Walt Disney Concert Hall.	176
Figura 6.54. Vista aérea da WDCH.	177
Figura 6.55. (a): Jardim da Walt Disney Concert Hall.	177
Figura 6.56. Anfiteatro ao ar livre.	178
Figura 6.57. Sala para Música de Câmara.....	178
Figura 6.58. Órgão da sala de concertos.	178
Figura 6.59. Walt Disney Concert Hall em Los Angeles, EUA.	180
Figura 6.60. Vista interna da Walt Disney Concert Hall.	182
Figura 6.61. Planta da sala de concertos da Walt Disney Concert Hall.	182
Figura 6.62. Iluminação natural no interior da WDCH.	184
Figura 6.63. Alguns modelos em escala produzidos pelo escritório de Gehry para a WDCH.	186
Figura 7.1. Tempo de Reverberação (TR) em função de frequência.	201
Figura 7.2. Tempo de Decaimento Inicial (EDT) em função de frequência.	201
Figura 7.3. Clareza (C80) em função de frequência.	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros Acústicos Objetivos da Sala São Paulo	120
Tabela 2. Ficha-síntese Sala São Paulo.....	121
Tabela 3. Configurações das cortinas durante as medições.	143
Tabela 4. Tempo de Reverberação (TR) para as diferentes posições das cortinas, em função de frequência.....	144
Tabela 5. Média da Clareza (C_{80}) nas frequências 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, para as diferentes posições das cortinas.....	145
Tabela 6. Parâmetros Acústicos Objetivos da Casa da Música.....	145
Tabela 7. Ficha-síntese Casa da Música	146
Tabela 8. Dados acústicos do EMPAC.....	173
Tabela 9. Ficha-síntese EMPAC.....	173
Tabela 10. Parâmetros Acústicos Objetivos da Walt Disney Concert Hall.	189
Tabela 11. Ficha-síntese Walt Disney Concert Hall.....	189
Tabela 12. Comparação de volume e TR das salas estudadas com salas de concertos consagradas.....	194
Tabela 13. Parâmetros acústicos objetivos das salas estudadas.	199
Tabela 14. Tempo de Reverberação (TR), em função de frequência.	201
Tabela 15. Tempo de Decaimento Inicial (EDT), em função de frequência.....	201
Tabela 16. Clareza (C_{80}), em função de frequência.	202
Tabela 17. Parâmetros acústicos e estratégias arquitetônicas.	203

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

α	Coeficiente de absorção sonora
α_w	Coeficiente de absorção sonora ponderado
BR	Bass Ratio (Razão dos Graves)
dB	Decibel
cm	Centímetros
EDT	Early Decay Time (Tempo de Decaimento Inicial)
ELt	Early-to-late sound index (Índice sonoro de relação entre decaimento inicial e posterior)
EMPAC	Experimental Media and Performing Arts Center
EUA	Estados Unidos da América
F	Fonte sonora
G	Strenght (Força sonora)
g	Grama
Hz	Hertz
IACC	Interaural Cross Correlation Coeficient (Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural)
ITDG	Initial Time Delay Gap (Atraso Temporal Inicial)
Kg	Kilograma
L	Loudness (Audibilidade relativa)
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LFC	Early Lateral Energy Fraction (Fração inicial de energia lateral)
Lp	Nível de pressão sonora
m	Metro
ms	Milisegundo
OMA	Office for Metropolitan Architecture
TR	Tempo de Reverberação
s	Segundo
SP	São Paulo
RT	Treble Ratio (Razão dos Agudos)
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
WDCH	Walt Disney Concert Hall

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo geral	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Organização da Dissertação	5
2. ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA E PROCESSO DE PROJETO	7
2.1. Fundamentos Conceituais e Contexto Histórico	7
2.2. Modernidade e Arquitetura	9
2.2.1. Modernismo no Brasil.....	14
2.3. Pós-Modernidade.....	19
2.3.1. Reação Crítica ao Modernismo	21
2.4. Arquitetura Contemporânea	23
2.4.1. Processo de Projeto e Arquitetura Contemporânea	26
3. METODOLOGIA PROJETUAL	29
3.1. Desenvolvimento de Ferramentas Metodológicas	31
3.2. Método de Projeto Baseado no desempenho	38
4. FUNDAMENTAÇÃO ACÚSTICA	41
4.1. Conceitos.....	42
4.1.1. Absorção, Reflexão e Difração.....	44
4.1.2. Ruídos e Isolamento Acústico	46
4.2. Parâmetros Objetivos.....	48
4.2.1. Tempo de Reverberação.....	49
4.2.2. Tempo de Decaimento Inicial	50
4.2.3. Índice Sonoro de Relação entre Decaimento Inicial e Posterior	50
4.2.4. Atraso Temporal Inicial	50
4.2.5. Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural	51
4.2.6. Fração Inicial de Energia Lateral.....	51
4.2.7. Razão dos Graves e Razão dos Agudos	51
4.2.8. Força Sonora.....	52
4.3. Parâmetros Subjetivos	52
4.3.1. Vivacidade.....	53
4.3.2. Razão de som direto e reverberante	53
4.3.3. Clareza ou Definição.....	53
4.3.4. Intimidade.....	54
4.3.5. Impressão Espacial	54
4.3.6. Calor.....	54
4.3.7. Brilho	55
4.3.8. Audibilidade	55

5. ACÚSTICA E PROJETO	57
5.1. Implantação e Meio Urbano	60
5.2. Forma	62
5.3. Dimensões e Volume	69
5.4. Materiais	71
5.4.1. Materiais Absorvedores	71
5.4.2. Materiais Refletores	78
5.4.3. Materiais Difusores	81
5.4.4. Materiais para Isolamento Acústico	83
5.4.5. Mobiliário e Layout	87
5.5. Mecanismos de Variabilidade Acústica	89
6. ESTUDO DE CASOS	97
6.1. Protocolo para os Estudos de Caso	98
6.2. Sala São Paulo	102
6.2.1. Apresentação geral do projeto	102
6.2.2. Implantação e Meio Urbano	108
6.2.3. Forma	110
6.2.4. Dimensões e Volume	112
6.2.5. Materiais	112
6.2.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica	114
6.2.7. Metodologia Projetual	116
6.2.8. Dados Acústicos	117
6.2.9. Ficha-síntese	121
6.3. Casa da Música	122
6.3.1. Apresentação geral do projeto	123
6.3.2. Implantação e Meio Urbano	128
6.3.3. Forma	130
6.3.4. Dimensões e Volume	132
6.3.5. Materiais	133
6.3.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica	137
6.3.7. Metodologia Projetual	139
6.3.8. Dados Acústicos	142
6.3.9. Ficha-síntese	146
6.4. EMPAC	147
6.4.1. Apresentação geral do projeto	148
6.4.2. Implantação e Meio Urbano	160
6.4.3. Forma	162
6.4.4. Dimensões e Volume	164
6.4.5. Materiais	165
6.4.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica	168
6.4.7. Metodologia Projetual	169
6.4.8. Dados Acústicos	172
6.4.9. Ficha-síntese	173
6.5. Walt Disney Concert Hall	174
6.5.1. Apresentação geral do projeto	174
6.5.2. Implantação e Meio Urbano	180

6.5.3.	Forma	181
6.5.4.	Dimensões e Volume	183
6.5.5.	Materiais.....	183
6.5.6.	Mecanismos de Variabilidade Acústica	185
6.5.7.	Metodologia Projetual.....	185
6.5.8.	Dados Acústicos	188
6.5.9.	Ficha-síntese	189
7.	ANÁLISE.....	191
7.1.	Implantação e Meio Urbano.....	191
7.2.	Forma.....	192
7.3.	Dimensões e Volume	193
7.4.	Materiais	195
7.5.	Mecanismos de Variabilidade Acústica.....	196
7.6.	Metodologia Projetual	197
7.7.	Dados Acústicos das salas estudadas.....	198
8.	CONCLUSÕES	205
	REFERÊNCIAS.....	209
	APÊNDICE	221

1. INTRODUÇÃO

O bem estar do homem é influenciado pelo conforto ambiental dos espaços arquitetônicos onde vive, através de suas formas, seus aspectos construtivos e estéticos. Para que se atinja esse bem estar, ciência e tecnologia tornaram-se inerentes à produção de arquitetura e urbanismo contemporâneos, o que os torna multidisciplinares. Através do desenho e da criação de espaços, o projeto deve proporcionar o conforto ambiental nos seus aspectos térmicos, acústicos, visuais e funcionais, que são os principais responsáveis pelo bem estar do usuário.

Mitchell (2008) afirma que os meios da arquitetura são determinados pela capacidade humana de criar e sentir diferenciações físicas do espaço e que, não somente deve ser classificada como uma arte visual, mas a distinção entre o calor e o frio, o ar parado e a brisa, os odores, os sons, o toque das superfícies e a sensação de movimento podem ser componentes igualmente importantes à experimentação do edifício. A aplicação de outras áreas do conhecimento à arquitetura, o que às vezes é entendido como restrigente da criatividade, pode oferecer inúmeras possibilidades de aprimoramento estético à concepção de edifícios. Todos os aspectos considerados na elaboração do projeto em sua fase inicial permitem que o arquiteto administre as vantagens e integre soluções, tendendo a diminuir a subjetividade das decisões projetuais.

Quando as informações concernentes à técnica são obtidas tardiamente no projeto arquitetônico, implicam em um retorno para a harmonização de nova informação às demais restrições já resolvidas no início do processo. Jones (1970) alertava para os altos custos dos erros de projeto, principalmente em edifícios complexos, como incentivo para tornar o processo de projeto transparente, seja através de formulas matemáticas, esquemas, algoritmos. Somente assim o projeto poderia ser sujeito a críticas, testes e simulações.

A qualidade acústica é um dos requisitos que deve ser considerado desde os traços iniciais do projeto arquitetônico. Acústica, de acordo com Beranek (1993), é uma das ciências mais ampla das categorias de fenômenos, mecanismos, quantidades ou unidades

relacionadas ao estudo do som. Na Acústica, estuda-se o comportamento das ondas sonoras e os fenômenos físicos relacionados ao som, conhecimento que, aplicado ao projeto arquitetônico, pode garantir o controle de ruídos e a qualidade sonora nos espaços construídos. As questões acústicas interferem no projeto arquitetônico através da estética proporcionada pela geometria, dimensões, materiais e funcionalidade associados ao conforto em sua vivência.

O estudo da propagação, reflexão e absorção do som fornece diretrizes ao projeto arquitetônico, influenciando o resultado plástico final do edifício. Teatros, auditórios, salas de concertos, salas de aula, igrejas, e tantas outras tipologias dependem dos requisitos acústicos para a qualidade de seu funcionamento e, portanto, tem sua concepção arquitetônica influenciada pelo atendimento dos requisitos acústicos no projeto.

Dado, de um lado, a importância da estética e dos valores artísticos na arquitetura e, de outro, a necessidade da aplicação dos conceitos acústicos para o melhor aproveitamento dos espaços, essa pesquisa investiga a relação entre esses dois elementos no processo de elaboração do projeto arquitetônico, visando analisar a influência dos requisitos acústicos na concepção da arquitetura contemporânea. O enfoque desta pesquisa está nos quesitos acústicos, não descartando, porém, a importância da realização de outros estudos voltados para o conforto térmico, lumínico, o aspecto estrutural, entre outros. Cabe ressaltar que esse trabalho não pretende impor regras ou diretrizes projetuais, mas busca investigar a influência da aplicação dos elementos do tratamento acústico na composição arquitetônica contemporânea, durante a fase projetual.

Após o entendimento e análise dos parâmetros acústicos, relacionados à forma e composição estética dos edifícios precedentes e, conhecendo quais são os fatores inerentes ao tratamento acústico que interferem no processo projetual dos espaços, identificam-se algumas estratégias e potencialidades de projetos arquitetônicos pela aplicação da acústica. Potencialidades estas que podem fornecer caminhos para a concepção da forma arquitetônica, garantindo o conforto acústico dos ambientes.

1.1. Justificativa

Atualmente, existem diversos estudos publicados tanto sobre metodologia projetual em arquitetura como sobre qualidade acústica. Porém, são poucos os trabalhos que analisam esses dois assuntos juntos, sob o ponto de vista da concepção arquitetônica dos edifícios. A relação entre acústica e arquitetura está na possibilidade do melhor aproveitamento do espaço quando se busca a qualidade em sua ocupação. Mesmo que ambas possam acontecer de forma independente, esse estudo procura observar e analisar as influências da acústica durante processo de projeto da arquitetura contemporânea.

Na acústica arquitetônica, dois problemas fundamentais são estudados: a qualidade do som nos recintos e a proteção contra ruídos. A acústica é fator de primordial importância em edifícios onde acontecem atividades teatrais, musicais, palestras, conferências, entre outros, e a aplicação de seus conceitos pode trazer conseqüências estético-formais à arquitetura de tais espaços. O projeto acústico desses edifícios é feito com o intuito de corrigir ou controlar ecos, garantir o tempo de reverberação adequado, a inteligibilidade da palavra, a musicalidade e a percepção dos sons. A qualidade acústica de uma sala de concertos, por exemplo, contribui para a performance dos músicos e a percepção do ouvinte, embelezando a música. Ao contrário, uma sala com qualidade acústica pobre prejudica a apreciação da apresentação. Uma sala de espetáculos funciona como um instrumento musical presente em todas as performances e deve ser estudado com atenção e cuidado (CARVALHO, 1999).

Os espaços que envolvem acústica exigem um aprimoramento na qualidade, com programas de necessidades muitas vezes inéditos, o que demanda a participação de diversos profissionais especializados nas equipes de projetistas. Isso mostra a forte necessidade do uso de métodos de projeto, a fim de coordenar, integrar e comunicar, tendo o completo controle sobre o processo projetual. Para tanto, este estudo traz uma visão geral sobre as pesquisas em metodologia do projeto, após um breve histórico sobre a evolução do pensamento arquitetônico do fim do modernismo, passando pelo pós-modernismo até a formação da arquitetura contemporânea no Brasil e no mundo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral é identificar e analisar os principais parâmetros acústicos que se relacionam com a forma e a composição dos espaços arquitetônicos contemporâneos, ao longo do processo de projeto. Trata-se de investigar como os conceitos da acústica arquitetônica interferem na composição arquitetônica durante a fase projetual.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar e conhecer metodologias projetuais arquitetônicas que possam ser aplicadas aos projetos acústicos, utilizando parâmetros da acústica como requisitos de criação arquitetônica;
- Identificar os conceitos acústicos que, aplicados ao projeto arquitetônico, exercem influência na arquitetura do edifício, seja na forma, volume, ou acabamento interno;
- Demonstrar como a busca por valores ideais para os parâmetros acústicos, subjetivos e objetivos, influencia o projeto arquitetônico;
- Relacionar parâmetros acústicos objetivos com os parâmetros subjetivos e as respectivas estratégias arquitetônicas para atendê-los, com o auxílio da análise do estudo de caso;
- Mostrar aos arquitetos e urbanistas as inúmeras possibilidades de concepção de projetos arquitetônicos atendendo aos parâmetros de qualidade acústica

1.3. Organização da Dissertação

De caráter exploratório, a pesquisa apresenta os fenômenos acústicos identificando suas relações com os elementos do projeto arquitetônico e as maneiras como eles interferem no homem e no edifício. O desenvolvimento do trabalho consistiu em revisão bibliográfica e estudos de caso. A revisão bibliográfica, que fomenta o embasamento teórico e auxilia as etapas seguintes, aborda arquitetura contemporânea, metodologia projetual e os principais parâmetros da acústica arquitetônica. Nos estudos de caso, buscou-se verificar a relação entre os aspectos acústicos e o processo de projeto em obras contemporâneas consagradas.

A introdução (Capítulo 1) dessa dissertação apresenta as considerações a respeito do tema, a justificativa, os objetivos e a estrutura da pesquisa. O Capítulo 2 intitulado “Arquitetura Contemporânea e Processo de Projeto” traz alguns fundamentos conceituais e o contexto da história da arquitetura, desde o Movimento Moderno até a Arquitetura Contemporânea. Considerou-se válida uma breve discussão sobre o modernismo por sua proposta racionalista e valorização da técnica no processo de projeto arquitetônico. Uma discussão quanto às metodologias de projeto em arquitetura é apresentada no Capítulo 3, onde o método de projeto baseado no desempenho foi identificado como uma metodologia adequada à criação de edifícios em que a qualidade acústica é indispensável.

Em seguida, o Capítulo 4 apresenta a fundamentação acústica, destacando conceitos gerais do comportamento do som, definições de parâmetros objetivos e subjetivos, com ênfase na acústica arquitetônica. O Capítulo 5 “Acústica e Projeto” procurou relacionar os dois principais assuntos explorados na dissertação, arquitetura contemporânea e acústica, descrevendo situações e elementos de projeto em que a acústica interfere, ou pode interferir, na composição arquitetônica dos edifícios. A relação entre acústica e arquitetura é explorada a partir de alguns aspectos que foram considerados relevantes ao processo de projeto de edifícios contemporâneos. Esses aspectos são: implantação; forma, dimensões e volume, materiais, mecanismos de variabilidade acústica e metodologia projetual. Muitos outros aspectos concernentes à acústica e à arquitetura poderiam ser analisados em uma

pesquisa como essa. Porém, optou-se pela abordagem dos aspectos mais marcantes e abrangentes nos edifícios para atividades musicais.

O Capítulo 6 apresenta os estudos de caso, que exemplificarão as proposições apresentadas ao longo da dissertação. A metodologia utilizada para os estudos de caso é apresentada no item 6.1. “Protocolo para os Estudos de Caso”. As obras escolhidas para os estudos de caso são: a Sala São Paulo, pelo arquiteto Nelson Dupré e equipe; Casa da Música, do arquiteto Rem Koolhaas; o Centro de Mídia Experimental e Artes Performáticas (EMPAC), do escritório Grimshaw Architects; e a Walt Disney Concert Hall, do arquiteto Frank Gehry. O Capítulo 7 traz a análise dos resultados e as conclusões são apresentadas no Capítulo 8, seguido das referências bibliográficas.

2. ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA E PROCESSO DE PROJETO

A categorização dos movimentos, temporais ou espaciais, é polêmica entre os críticos de arquitetura. No entanto, essa terminologia foi utilizada nesse trabalho para situar a arquitetura contemporânea no contexto histórico.

Para entender a arquitetura contemporânea, recorreu-se a um breve relato da história recente da arquitetura. A importância de uma discussão sobre o período que antecedeu a arquitetura contemporânea, além de uma contextualização histórica, está na evolução do pensamento arquitetônico com uma maior valorização da técnica e racionalização do processo de projeto, que ocorreu a partir do século XX.

A arquitetura racionalista parte da introdução do método, onde toda improvisação e intuição devem ser substituídas pela sistemática, cálculos precisos e materiais produzidos em série. A arquitetura passa a ser interpretada como um recipiente de atividades, um somatório de instalações, como definição de padrões e problemas de medida.

2.1.Fundamentos Conceituais e Contexto Histórico

Movimento Moderno e, em seguida, o Pós-modernismo, predominantes no século XX, antecederam a Arquitetura Contemporânea, como é ilustrado na Figura 2.1. Após o Classicismo, o Art Nouveau foi a primeira mudança na arquitetura européia, buscando a organicidade nas formas da natureza e rejeitando o historicismo. No século seguinte, o Cubismo rejeitava a perspectiva, procurando representar a realidade por diferentes vistas de cada objeto ao mesmo tempo. Novas vanguardas então surgiram como o Futurismo, Construtivismo, a escola Bauhaus, entre outros.

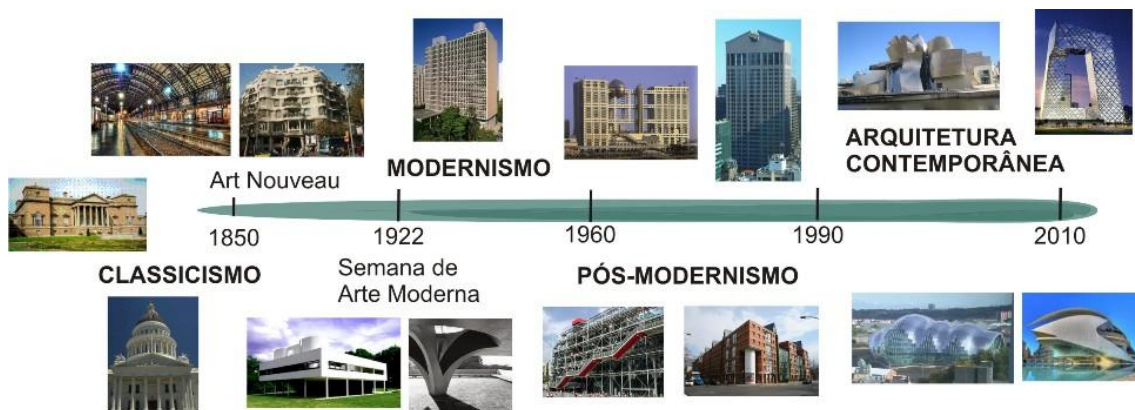


Figura 2.1. Linha do Tempo: do Classicismo à Arquitetura Contemporânea.

Fonte: Ilustração da autora.

A partir da década de 1910, o Movimento Moderno surge promovendo a criação de edifícios sem nenhum ornamento, com uma composição geométrica racional, formada de volumes e linhas puras. Le Corbusier, arquiteto expoente do Modernismo, defendeu a criação da forma a partir das necessidades funcionais, rejeitando a idéia da aplicação de cores, imagens ou relevos nas paredes com fins decorativos (SORIANO, 2008).

A arquitetura moderna constitui o cume do pensamento racionalista, através dos artigos e manifestos de Adolph Loos, Le Corbusier e Mies van der Rohe, fundamentais para a interpretação do funcionalismo e o racionalismo na evolução da estética e dos ideais no início do século XX (MONTANER, 1999). A arquitetura moderna abrange uma admiração pelos procedimentos racionais utilizados pelos engenheiros e a confiança de que esses mesmos procedimentos técnicos vão dar suporte à expressão artística (MONTANER, 1999). Para Collins (1998), o racionalismo é a base para qualquer teoria arquitetônica válida, pois ainda quando se fala de aliança entre arquitetura e o sentimento, a relação entre arquitetura e ciência sempre haverá de ser o fundamento de sua existência.

2.2. Modernidade e Arquitetura

Com base em Mies van der Rohe, Le Corbusier e Walter Gropius, Charles Jencks (1992) define arquitetura moderna como um estilo internacional universal, que decorre da existência de novos meios de construção, da adequação a uma nova sociedade industrial e que tem por objetivo a transformação da cidade. A partir de 1890, os novos sistemas estruturais já permitiam que as paredes dos pavimentos superiores não precisassem ir direto até o solo. Segundo Collins (1998), o desenvolvimento de novos métodos construtivos e a necessidade de novos tipos de edifícios podem ter motivado a exigência por uma nova arquitetura, que surgiu em meados do século XIX.

Segundo Collins (1998), a separação das profissões de arquiteto e engenheiro foi o acontecimento que provocou maior mudança nas teorias arquitetônicas. Rodolphe Perronet, primeiro diretor da École des Ponts et Chaussées de 1764 a 1794, em Paris, não só organizou a escola de engenharia civil a partir do que antes eram ateliers de desenho, mas também se mostrou um dos primeiros a perceber que, ao projetar pontes, não era suficiente estimar as dimensões pela experiência, mas que eram necessários cálculos baseados nos princípios de mecânica e resistência dos materiais (COLLINS, 1998).

Collins (1998) aponta Bernard Forest de Belidor como o primeiro autor a aplicar princípios matemáticos a problemas de construção civil, um tratado sistemático sobre construção de edifícios, que se baseava em métodos algébricos ao invés de regras tradicionais, o que colocou mais ênfase na tecnologia do que naquilo que então se chamavam “partes decorativas de engenharia civil”. Ao chamar a atenção dos arquitetos para aproveitarem a ajuda proporcionada pela matemática, influenciou grandemente a criação da arquitetura moderna.

Em 1729, já havia estudos sobre a resistência precisa de diferentes materiais à compressão, tração e flexão, como madeira, vidro e metal. Segundo Collins (1998), somente os engenheiros se interessavam por essas informações científicas, enquanto que os arquitetos demorariam séculos para dar valor às possibilidades desses tipos de estudos.

Viollet-le-Duc, segundo Pevsner (2001), reconheceu as qualidades decorativas e estruturais do ferro, propondo sua utilização com ambas as funções nos mesmos edifícios. Mais tarde, o ferro e o vidro tornaram-se os materiais mais adequados para armazéns, fábricas e escritórios. Pevsner (2001) atribui ao Art Nouveau o mérito da descoberta das possibilidades estéticas do ferro com o vidro. A leveza, a sutileza, a transparência e a sinuosidade eram características que podiam ser satisfeitas pelo uso desses materiais.

O Art Nouveau surgiu por volta da década de 1880, caracterizado pelas formas orgânicas derivadas da natureza e pela recusa ao historicismo. Pevsner (2001) afirma que o Art Nouveau foi muito mais uma questão de decoração das superfícies. Popularizou-se pela Europa nos anos finais do século XIX e primeiros anos do século XX. O estilo expressava-se também através de grafismos, estampas, encadernações, jóias, objetos de decoração, gradis, esculturas, vidro, cerâmica e ferro. O arquiteto Antonio Gaudí se destaca por sua originalidade, seu senso de massas em movimento, mostrando através de obras, como a Casa Milá, que os princípios do Art Nouveau podiam ser aplicados tanto ao espaço, como à linha e ao volume.

Em 1895, François Hennebique construiu um dos primeiros edifícios a utilizar concreto armado, permitindo grandes vãos de janelas. Na época da 2ª Guerra Mundial, surge o “Estilo Internacional” tendo como características principais a captação de luz natural, uso de materiais sintéticos, partes modulares padrão – a fim de facilitar a fabricação e montagem, e a flexibilidade da planta livre (FRAMPTON, 2000).

A idéia de progresso e liberdade estimulou as especulações arquitetônicas nessa época. Os artistas estavam dominados por duas escolas opostas: os historicistas e os anti-historicistas, por seu conhecimento do caráter evolutivo da história (Collins, 1998). Viollet-le-Duc (apud Collins, 1998) afirmava que a falta de estilo dos edifícios públicos era devido ao fato de que os arquitetos tentavam aplicar formas tradicionais a exigências que já não correspondiam a tais tradições.

A arquitetura moderna surgiu com a rejeição tanto o Historicismo quanto o Ecletismo desenvolvidos no século XIX, apostando na tecnologia industrial e seus novos

produtos (aço, vidro e concreto) (CIRILLO e MARTELOTTO, 2006). As vanguardas propõem formas puras e abstratas, negando a tradição, com coberturas planas e conformadas por novos materiais e tecnologias e a vontade de romper com as convenções.

Na metade do século XIX, a admiração pelas máquinas tomou lugar com a intenção de resolver os problemas da teoria arquitetônica, proposta também por Le Corbusier em *Vers une Architecture* (Collins, 1998). O texto afirmava explicitamente que um objeto é belo quando responde a uma necessidade específica. Le Corbusier afirmava que um problema bem definido encontra uma solução natural e que, se todos os homens possuem a mesma formação biológica, então todos possuem as mesmas necessidades básicas. A partir desses conceitos, Le Corbusier propunha que a arquitetura, assim como a máquina, deve ser um produto produzido em série, com padrões determinados por uma análise lógica de experimentação.

Em *Vers une Architecture* (1923), Le Corbusier defendia princípios como o controle de traçados geométricos reguladores, a construção de casas em série, o reconhecimento da arquitetura em produtos industriais como o carro, o avião e o navio. Em 1926, publica um manifesto descrevendo os cinco pontos da arquitetura, provocando inúmeras reações entre os modernistas e os tradicionalistas. O valor revolucionário desse discurso é notável, pois nega totalmente as referências históricas e culturalistas que eram rigor até então em todo o programa artístico. Benevolo (1998) afirma que hoje é possível visualizar o caráter restrito e elementar desse texto, quando comparado à problemática atual.

Segundo Le Corbusier, quanto mais precisa for a finalidade de uma máquina, mais bela será. Porém, na opinião de Collins (1998), este argumento não é válido para a arquitetura. Collins (1998) afirma que a diferença entre uma máquina e um edifício é que este último não tem um fim preciso como as máquinas. Dessa maneira, os edifícios estavam sendo criados como um objeto isolado no espaço, ao passo que as máquinas não são projetadas para um local específico. Pevsner (2001) afirma que a apreciação da máquina e de suas possibilidades não era nova, pois já havia certa adoração da estética da máquina no século XIX.

Duas características inerentes ao Movimento Moderno são o funcionalismo e o racionalismo, com a premissa de que a forma é resultado da função, fundamentado no mito de uma sociedade cientificamente e racionalmente organizada. Montaner (1999) considera que a evolução que acontece desde o renascimento até o neoclassicismo consiste na introdução de maiores graus de racionalismo em detrimento das tradições mitológicas e religiosas.

Os racionalistas eram os arquitetos que acreditavam que a forma arquitetônica era essencialmente a forma estrutural, por mais que se adornassem ou refinassem tais formas básicas. Os racionalistas queriam conciliar a arquitetura moderna com a ciência e a indústria, o que seria impossível para aqueles copiavam cegamente os templos, catedrais e castelos. Para o funcionalismo, o planejamento e a organização interna são as causas da aparência externa de um edifício.

Arquitetos e consultores acústicos ainda buscam inspiração nos antigos e consagrados espaços existentes para performances musicais, cuja qualidade acústica é admirada. A inclusão da ciência no pensamento arquitetônico permitiu que aspectos como acústica, conforto térmico, cálculos estruturais, resistência dos materiais, entre outros, fossem contemplados na fase projetual.

O filósofo francês René Descartes (1596-1650) foi uma das maiores referências do racionalismo, com a aproximação ao mundo da ciência, da matemática e da geometria. Propunha quatro medidas para a racionalização: nunca aceitar nenhum *a priori*, ir subdividindo os problemas, ir do raciocínio mais simples ao mais complexo e realizar exaustivas enumerações de todo o processo lógico.

J. B. Rondelet, segundo Collins (1998), exerceu uma das maiores influências racionalistas da época, defendendo, assim como os engenheiros da época, que o objetivo essencial da arquitetura era constituir edifícios empregando quantidades exatas de materiais selecionados, e distribuindo-os com destreza e economia. A arquitetura era uma ciência e seu fim essencial era construir sólida e comodamente edifícios que combinariam, da forma mais bela, as partes necessárias para seu fim.

Comparando com os projetos acústicos, os materiais para absorção, reflexão e difusão sonora devem ser distribuídos adequadamente no espaço construído para obter a acústica adequada. Sob uma análise racionalista e funcionalista, um auditório seria mais belo quanto mais específica fosse a atividade nele desenvolvida. A necessidade de prover multifuncionalidade aos edifícios faz com que os ambientes tenham que responder a diferentes atividades com a mesma qualidade acústica. O crescente avanço tecnológico passa a atender a essas demandas da arquitetura contemporânea.

Segundo Banham (1979), os teóricos e os projetistas do fim da década de 1920 separaram-se, não apenas de suas raízes históricas, mas também de seu ponto de apoio no mundo da tecnologia, ao se separarem de aspectos filosóficos do futurismo, embora esperando manter o prestígio deste como uma arte da era da máquina. Banham (1979) afirma que o Movimento Moderno começou a perder de vista o aspecto constantemente mutável da tecnologia, primeiro pelas escolhas feitas de formas simbólicas e de processos mentais simbólicos e em segundo, pelo uso que fez da teoria dos tipos. Ao escolher a matemática como apoio tecnológico para suas operações mentais, fizeram com que se acolhesse a única parte importante da metodologia científica e tecnológica que não era nova, mas que tinha sido igualmente corrente na época anterior à da máquina.

Como todas as vanguardas históricas, a modernidade acreditava pressagiar dias melhores para a humanidade, atrelada ao progresso técnico. Arantes (2000) escreve que uma consequência natural do esvaziamento do Estilo Internacional é o caráter fragmentário, aleatório e passadista das tendências arquitetônicas que sucederam o modernismo. Ainda nas palavras de Arantes (2000), a arquitetura moderna não pretendia representar nada, além de sua própria autonomia formal.

2.2.1. Modernismo no Brasil

A rapidez com que os ideais do movimento moderno amadureceram entre os anos 1930 e 1940 fez com que a arquitetura brasileira fosse sinônimo de arquitetura internacional (MINDLIN, 1956). A reação neocolonial em busca de uma construção mais próxima da realidade brasileira, refletida no trabalho de Lúcio Costa, procurava responder às exigências do clima e dos materiais disponíveis. Essa interpretação construtiva das necessidades do Brasil pós-guerra deu um caráter próprio à arquitetura moderna brasileira, que a distingue dos movimentos similares na Europa e na América do Norte (MINDLIN, 1956).

Gregori Warchavchik, um imigrante russo influenciado pelo futurismo, publica “Manifesto da Arquitetura Funcional”, inspirado na doutrina de Le Corbusier e projeta a primeira casa modernista no Brasil, em 1928, em São Paulo (Figura 2.2) (BENEVOLO, 1998).



Figura 2.2: Primeira casa modernista no Brasil, Gregori Warchavchik.
Fonte: Benevolo, 1998.

A Semana de Arte Moderna, que aconteceu em São Paulo em 1922, trouxe os ideais das vanguardas modernistas ao Brasil, principalmente no campo das artes plásticas. Inicialmente, surgiram movimentos radicais, ansiosos por encontrar uma expressão nacional, livre das influências européias (MINDLIN, 1956).

Lúcio Costa foi nomeado diretor da Escola de Belas Artes do Rio de Janeiro, elaborando uma grande reforma no currículo do curso, porém foi obrigado a deixar o cargo menos de um ano depois por projetar uma completa renovação do ensino tradicional, junto com Warchavchik e Budeus, a qual não saiu do papel. Seguiu-se uma greve, apoiada inclusive pelo arquiteto Frank Lloyd Wright, que rapidamente se transformou em um movimento estudantil em defesa dos novos ideais artísticos e da criação de uma escola independente (MINDLIN, 1956).

O marco do surgimento da arquitetura moderna no Brasil foi a construção do edifício do Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro (1936-1945), com a equipe composta por Afonso Reidy, Oscar Niemeyer, Carlos Leão, Jorge Moreira, Ernani Vasconcellos, liderada por Lúcio Costa e com a consultoria de Le Corbusier. Mindlin (1956) considera esse edifício como uma contribuição definitiva à herança artística daquele período, mostrando o grande talento dos arquitetos brasileiros e sua capacidade de assimilação inteligente dos ideais de Le Corbusier.

Frampton (2000) afirma que os jovens arquitetos brasileiros seguidores de Le Corbusier transformaram seus elementos puristas (planta livre, janela em fita, teto jardim, pilotis, fachada livre) em uma expressão plástica exuberante. Lúcio Costa defendeu a permanência de certos critérios compositivos como o conceito de caráter, tentando manter vivos os conceitos da tradição acadêmica, dentro da nova tradição moderna. Segundo Lúcio Costa (*apud* MONTANER, 1999), a plástica deveria desenvolver-se a partir da interpretação da arquitetura colonial, aprendendo suas boas lições como simplicidade, adaptação ao meio e à função, tendo a beleza como consequência.

Segundo Bruand (1981), um aspecto que contribuiu para enriquecer a originalidade da arquitetura brasileira foi a tentativa de conciliar a arquitetura moderna com as características locais. A arquitetura moderna brasileira deveria refletir o espírito da época da máquina, sem esquecer sua relação com a natureza e o entorno, legitimando a arquitetura moderna no contexto brasileiro.

Mindlin (1956) considera dois fatores principais que contribuíram para a formação da arquitetura brasileira: o estudo da insolação, com o uso criativo de brises-soleil, cobogós, muxarabis, pergolados; e o desenvolvimento da técnica construtiva com o concreto armado, que possibilitou a criação de estruturas leves e elegantes e com economia na construção. O desempenho de ambos os fatores atuava a favor do clima, tanto pela proteção da insolação como pela ventilação sob os edifícios, proporcionada pelos pilotis. Ao contrário, M. Bill (*apud* BENEVOLO, 1998) argumenta que os elementos do repertório internacional, tais como os pilotis e o brise-soleil, tornaram-se fórmulas convencionais para obedecer a uma poética pré-concebida, não para resolver os problemas reais do país.

A arquitetura moderna brasileira teve grande destaque internacional, sendo referência para arquitetos do mundo inteiro. Oscar Niemeyer foi um dos maiores expoentes do modernismo no Brasil, trazendo conceitos de planta-livre de Le Corbusier a um novo nível de fluidez e interpenetração (FRAMPTON, 2000). Os jardins de Roberto Burle-Marx e Attilio Corrêa Lima tornaram-se a força do movimento moderno brasileiro, evocando a tropicalidade, com a busca pela integração às condições do terreno e do clima. O Pedregulho (1948-1954), de Affonso Eduardo Reidy, constituía um protótipo das unidades de vizinhança, com apartamentos, ginásio, piscina e escola primária.

O diálogo entre tradição e modernidade também estava sendo praticado em outros locais, como o Japão, na figura do arquiteto por Kenzo Tange. Com a corrente do Novo Empirismo nórdico, iniciado nos anos quarenta, é colocado o respeito ao lugar: clima, topografia, materiais, paisagens, arborização, com a insistência nos valores psicológicos da percepção do entorno, ao contrário da autonomia que os edifícios modernos queriam assumir (MONTANER, 1999).

Bruand (1981) relaciona as características da especificidade da arquitetura moderna brasileira: monumentalidade, plasticidade, simplicidade de formas, leveza e riqueza decorativa, uma arquitetura de concreto armado, artesanal, racionalista e simbólica. Uma forte característica dos edifícios modernos brasileiros era a definição da forma pela própria estrutura de concreto. Os edifícios modernos brasileiros eram marcados por terem sua forma definida pela própria estrutura em concreto (Figura 2.3).



Figura 2.3: Estrutura do edifício compondo a forma.
(a) Museu de Arte Moderna (MAM), Rio de Janeiro-RJ. Arq. Affonso Eduardo Reidy.
 Fonte: Beatriz Brasil, 2004.
(b) Catedral de Brasília, Brasília-DF. Arq. Oscar Niemeyer.
 Fonte: <http://www.arquidiocesedebrasilia.org.br>

A origem do ensino de arquitetura no Brasil, de tradição francesa, baseada na escola de Belas Artes e na engenharia militar (CELANI, 2003) e o pensamento de um grupo no qual o arquiteto era visto como um gênio criador individual, através de figuras como, por exemplo, o arquiteto Oscar Niemeyer, fez com que os estudos de metodologia projetual fossem mantidos afastados das escolas de arquitetura. Segundo Benevolo (1998), a carência mais evidente da produção brasileira é a falta de um adequado enquadramento urbanístico, com uma posição defensiva em relação ao ambiente urbano.

Em 1955, J. Kubitschek, protetor do modernismo, é eleito presidente do Brasil, dando novo impulso ao planejamento urbano. O Estado teve papel importante no processo de afirmação do Movimento Moderno brasileiro enquanto patrocinador de obras que buscaram o modernismo como símbolo de progresso. A transferência da sede política para

o centro do país é considerada indispensável para dar início ao processo de deslocamento populacional e iniciativas econômicas para o interior do Brasil. A construção de Brasília trouxe o progresso do desenvolvimento da arquitetura brasileira (FRAMPTON, 2000). Os conceitos modernistas permearam todo o projeto, não só nos edifícios isolados, mas no plano urbanístico em si. Brasília foi dividida em zonas que separam seções de acordo com a função e a estrutura de classe.

Benevolo (1998) aponta como a principal deficiência do plano diretor de Lúcio Costa o fato de que o eixo monumental induz o arquiteto a manter a simetria bilateral, uma metáfora que perturba sua adequação à realidade. Porém afirma que, com um aspecto elementar legível que permite perceber o esquema geral de qualquer ponto, o que impressiona é exatamente o novo relacionamento entre a invenção formal e o espaço em que é aplicada. Apesar do uso de brises vinte anos antes na fachada do Ministério da Educação, as fachadas envidraçadas de Brasília foram deixadas desprotegidas do Sol, numa indiferença ao clima (FRAMPTON, 2000).

A convicção de que era possível intervir diretamente sobre as condições materiais de vida do homem moderno é vista por Arantes (2000) como uma utopia, na qual o funcionalismo resultaria na organização da cidade. A proposta de redenção social através da ordenação do espaço habitado, defendida pela arquitetura moderna, resultaria no seu contrário.

Mindlin (1956) nota que o futuro do ensino da arquitetura no Brasil é uma questão imprescindível. O curso de arquitetura foi criado no Brasil em 1945, em que o principal meio de treinamento do estudante era o contato direto com os problemas da prática profissional, em escritórios de arquitetura. Benevolo (1998) observa que o início do regime militar dispersou e impediu a continuidade dos conceitos e projetos iniciados no Brasil. Dessa forma, afirma que a experiência de vanguarda iniciada em 1960 poderia ser considerada um capítulo encerrado, resultado interrompido por uma situação política e social.

Os concursos nacionais de arquitetura para edifícios públicos tornaram-se uma prática corrente, o que contribuía para dar visibilidade aos escritórios de arquitetura. Fazendo referência ao funcionalismo do Movimento Moderno, Nobre *et al.* (2006) pontuam que “as carências generalizadas que se vivem no país continuam a justificar a arquitetura como uma expressão do útil”.

2.3. Pós-Modernidade

Após os anos 1960, o Modernismo passou a perder sua imagem revolucionária com a absorção da estética modernista relacionada ao poder corporativo e ao imperialismo cultural. Movimentos anti-modernistas, contrários às suas características opressivas, começam a surgir (HARVEY, 1992).

Jencks (1992) afirma que pós-modernistas são os arquitetos que evoluíram a partir dos movimentos anteriores, pois se deram conta do caráter inadequado do modernismo como ideologia e também como linguagem. O pós-modernismo, segundo Jencks (1992), inclui uma diversidade de abordagens que abandonam o paternalismo e o utopismo de seu movimento predecessor. Robert Venturi, Charles Moore, Robert Stern e Michael Graves foram os principais protagonistas do pós-modernismo.

O pós-modernismo aconteceu em um leque amplo de práticas artísticas e disciplinas de ciências sociais e humanas, dirigindo a atenção para as mudanças que vinham ocorrendo na cultura contemporânea. Segundo Featherstone (1995), essas mudanças estavam acontecendo no campo artístico, intelectual e acadêmico, modificando os modos de teorização, apresentação e divulgação do trabalho, no campo cultural, envolvendo os modos de produção e consumo de bens, e na esfera prática e de experiências do cotidiano.

Novas formas de cultura pop, a publicidade, a televisão e novos movimentos na arte começam a emergir, inspirando tentativas de libertação do Modernismo (GLANCEY, 1998). O período denominado pós-modernismo iniciou-se nos EUA, difundindo-se

posteriormente por todo o mundo industrializado. É um conceito diversificado e instável, também abordado na arte, literatura, no cinema, no teatro, remetendo inclusive à economia política da situação do final do século XX. Sua definição varia entre os campos e entre os autores.

O pós-modernismo é visto por Höcker (2000) como um estilo de valores antigos, com ornamentos, cores, simetria, referências históricas e uso eclético de formas. Höcker (2000) mostra a oposição entre modernismo e pós-modernismo, através de duas citações: “*Less is more*” do modernista Mies van der Rohe e “*Less is a bore*” de Robert Venturi, pós-modernista, que propôs uma arquitetura complexa e contraditória. Harvey (1992) considera que as características mais marcantes do pós-modernismo são a fragmentação, a descontinuidade e a efemeridade. Segundo o autor, o pós-modernismo não tenta definir elementos “imutáveis e eternos”.

O pós-modernismo rejeita os grandes sistemas de explicação com uma visão unitária do mundo e, ao contrário do modernismo, dá atenção às diferenças locais, regionais e étnicas. De acordo com Harvey (1992), as torres de vidro, os blocos e lajes de concreto do “Estilo Internacional” foram progressivamente sendo substituídos por edifícios ornamentados, praças com referências históricas, renovação de armazéns e fábricas, em nome de um ambiente urbano mais satisfatório. Glancey (2001) refere-se ao pós-modernismo como uma profusão de edifícios convencionais de aço e concreto ornamentados com estilos históricos e hollywoodianos, nas décadas de 1970 e 1980. As estruturas de aço e as paredes de vidro começaram a se mostrar pouco exigentes em termos de criatividade. Desse modo, alguns grupos já buscavam variantes do modernismo, como exemplos mais importantes: os metabolistas japoneses, o Superstudio na Itália, Buckminster Fuller nos EUA e o grupo Archigram na Inglaterra (GHIRARDO, 2002).

A arquitetura pós-moderna designa uma série de novas propostas arquitetônicas cujo objetivo foi o de estabelecer a crítica à arquitetura moderna, a partir dos anos 60 até o início dos anos 90. A arte passa a se mesclar e enriquecer a arquitetura através da pintura, escultura, música, na defesa de uma liberdade de expressão e de uma nova abstração

formal. “... se trata de una arquitectura experimentalista e inovadora, que considera que las ideas constituyen la razón de la arquitectura.” (MONTANER, 1999, p. 245).

A partir da metade dos anos 1970, alguns cientistas e filósofos passaram a entender o universo como sendo fundamentalmente dinâmico, não-linear (JENCKS, 1992). Uma revolução no pensamento estava a caminho, o que pode ser mais bem entendido observando-se o contraste entre as ciências de complexidade pós-modernas com as ciências modernas de simplicidade. Venturi (1995) afirma que os melhores arquitetos do século XX buscaram promover a complexidade do todo, rejeitando a simplificação.

2.3.1. Reação Crítica ao Modernismo

Montaner (1999) aponta a escola Bauhaus como a síntese dos métodos mais sistemáticos de criação. Os ateliers de arquitetura, mobiliário, escultura, vitrais, fotografia, desenho gráfico, e outros, buscavam uma obra de arte global, de coordenadas abstratas e sistemáticas. No entanto, estes métodos vão se transformando quando os arquitetos da chamada 3ª geração moderna rechaçam o formalismo e a monotonia do estilo internacional, e pedem um olhar para a história, a realidade do usuário, e à arquitetura vernacular.

Montaner (1999) aponta duas razões para esse olhar voltado à arquitetura vernacular. Primeiro, melhorar a fragilidade das fachadas lisas e das coberturas planas dos edifícios modernos e, segundo, reforçar a capacidade expressiva e de integração com o meio cultural, utilizando materiais, objetos e detalhes da arquitetura convencional primitiva. O conceito de espaço como essência da arquitetura vai dando lugar ao conceito “espaço-tempo”, com a introdução da variável do movimento (MONTANER, 1999).

Após os anos 1940, as mesmas convicções da arquitetura moderna se converteram nos maiores obstáculos para alcançar a expressividade. Nesse sentido, Montaner (1999) afirma que a arquitetura moderna se distinguiu por sua vontade de negar a expressão como qualidade autônoma da forma. No modernismo, o tratamento homogêneo da forma

padronizado pelo funcionalismo racionalista vai diminuindo a diferenciação de cada tipo de edifício. Com sua ausência de caráter, o edifício moderno não representa nada do passado, a não ser sua própria condição de modernidade.

Segundo Montaner (1999), da confiança moderna na elaboração de uma arquitetura racional, preparada artificialmente em laboratórios como a Bauhaus, sem conexões com a realidade e a história, se passou à demonstração por parte de arquitetos destacados, que a arquitetura se aprende a partir da interpretação direta, através de desenhos realizados em viagens, analisando monumentos da história. Da mesma maneira, o pensamento pós-modernista se baseia em críticas anti-funcionalistas e anti-racionalistas.

O projeto da Sydney Opera House (1959-1973), de Jorn Utzon, é visto por Jencks (1992) como uma oposição à abstração do modernismo, uma tentativa de comunicar com imagens poéticas. Trata-se de um complexo arquitetônico que assume os maiores valores simbólicos (MONTANER, 1999). Utzon se inspirou nos grandes exemplos da história, desde a arquitetura Maya até os monumentos orientais, mostrando o início da retomada da tradição e história na arquitetura pós-moderna.

Em 1966, Aldo Rossi em seu livro *La arquitetura de La ciudad* interpreta a cidade como um fenômeno humano, cultural, complexo, criticando o funcionalismo. Ao contrário do conceito de que a forma segue a função, a definição formal é predominante na arquitetura e potencializa a mudança de usos. Em “Prisioneiros voluntários da arquitetura”, Rem Koolhaas e Zenghelis (1972) fazem uma crítica à cidade racional, zoneada e autônoma de seu entorno. Esta crise dos critérios racionalistas, segundo Montaner (1999), é expressa na realidade das cidades e também se manifesta em todo tipo de arquitetura, desde escritórios, museus e até espaços domésticos.

O neo-modernismo foi uma fase exagerada, distorcida e extrema do final do modernismo, com a criação de alguns edifícios High-tech, como o Centro Pompidou (Rogers e Piano, 1977) e o Hong-Kong & Shanghai Bank (Foster, 1985) (JENCKS, 1992). Conforme Jencks (1992), o estilo não resolve os problemas sociais, mas pode articulá-los e celebrar os valores sociais. Não é um substituto para o conteúdo, mas pode torná-lo

manifesto. As fachadas passam a ser tratadas com maior diversidade formal do que o modernismo, evitando a monotonia e a repetição e com a utilização de tratamentos mais expressivos nas coberturas, mostrando a superação da discussão das coberturas planas e do ângulo reto, que já limitava as possibilidades de criação do arquiteto (MONTANER, 1999).

A trama geométrica e abstrata, formada pela sobreposição de linhas, pontos e superfícies do *Parc de La Villette*, de Bernard Tschumi, construído em 1987 em Paris, se converte em instrumento de argumentação contra as teorias funcionalistas, mostrando que não há uma relação de causa e efeito entre programa e arquitetura (MONTANER, 1999). As follies (espaços de exposição do *Parc de La Villette*) mostram que as funções são aleatórias.

2.4. Arquitetura Contemporânea

A necessidade de conceitualização culminou na cultura contemporânea com o pensamento estruturalista. Seguido à crise dos princípios do movimento moderno, surge uma nova metodologia arquitetônica que se baseava na reinterpretação da história da arquitetura e na defesa da estrutura da cidade tradicional, com o objetivo de recuperar a dimensão cultural e coletiva da arquitetura (MONTANER, 1999).

As ciências da complexidade pós-modernistas, da física quântica à ciência do caos, buscavam explicar um mundo criativo, preenchido por várias ciências emergentes, procurando redescobrir significados estéticos e espirituais da natureza que foram negados pelo modernismo. Segundo Jencks (1992), essa criatividade ligava o passado, o presente e o futuro.

A Bienal de Veneza, de 1980, com o tema “A Presença do Passado”, foi um dos acontecimentos importantes que ajudaram na notoriedade do pós-modernismo. Jencks (1992) afirma que a participação da comunidade na arquitetura, mesmo que pareça mais um

ato de paternalismo do que uma realidade, é uma necessidade na sociedade, pois sem ela o arquiteto cai no formalismo vazio.

Segundo Ghirardo (2002), todas as mudanças do mundo pós-fordista e pós-industrial levaram a novos padrões de trabalho, e a novos padrões sociais. Do modernismo ao desconstrutivismo há grandes diferenças estéticas, mas nenhuma no que se refere ao papel do arquiteto nas questões sociais. O seu papel foi sendo cada vez mais marginalizado num mundo dominado por engenheiros, incorporadores e construtores desde o século XIX.

De acordo com Broadbent (1973), em meados dos anos 60, poucos eram os edifícios que resultavam satisfatórios para seus usuários e a profissão de arquiteto era vista com desconfiança pela sociedade. O modelo individualista de arquiteto liberal, como artista criador, com uma linguagem que vai além das condicionantes construtivas e das políticas de gestão, idealizado pelos líderes do movimento moderno, teve que mudar a partir da segunda metade do século XX. No contexto pós-industrial, o arquiteto deveria ser mais sensível às solicitações do meio. O contexto urbano adquire maior importância e os edifícios passam a ser tratados não de forma isolada, mas integrados às pré-existências ambientais (MONTANER, 1999).

Jencks (1992) defende que, a partir do pós-modernismo, o planejamento urbano se tornou uma preocupação primária, a partir do entendimento de que as soluções arquitetônicas por si só, por mais brilhantes que sejam, não podem vencer as limitações do tecido urbano em que se integram. As linguagens contextuais locais são um ponto da pós-modernidade que ainda é válido no século XXI. Segundo Jencks (1992), a arquitetura moderna estava errada ao tentar impor uma linguagem única em todos os locais, pois a moralidade do arquiteto está em parte no conhecimento da linguagem local, ao construir.

Cada projeto arquitetônico é feito para um lugar, incorporando suas características locais e devolvendo novas, modificando assim o contexto. Benevolo (2007) afirma que “cada artefato colocado em um lugar tem uma vida que ultrapassa as circunstâncias de seu emprego inicial, e deve ser equipado para sobreviver, tornando-se o cenário para transformações futuras”.

A procura por novos métodos vão desde a tentativa de restabelecer a identidade urbana ao sofisticado modelo de construção dos sistemas de engenharia. A arquitetura passa a ser produzida como um objeto industrializado, dispondo de novos materiais e novas tecnologias tanto no processo construtivo, quanto na fase de projeto, em que equipamentos de simulação e experimentação começavam a ser utilizados. Até mesmo as fachadas envidraçadas, como as de Mies van der Rohe do final dos anos vinte, de manifesto puramente formal, passam a resistir ao vento, funcionar estruturalmente e potencializar o ambiente climático do interior, aumentando sua espessura e complexidade (MONTANER, 1999).

Além das novas tecnologias, surge a exigência de prover uma multifuncionalidade ao edifício. As grandes estruturas metálicas e de concreto armado permitem a criação de espaços complexos, com a possibilidade de ampliação e multiplicidade de funções e usos. As formas arquitetônicas estão condicionadas pelo uso que se faz dessas possibilidades quase infinitas.

Montaner (1999) escreve que um anti-discurso do método cartesiano fez surgir uma geração de arquitetos como Peter Eisenman, Bernard Tschumi ou Rem Koolhaas, que utilizam a combinação de fragmentos, dobras e descontinuidades no conceito de seus projetos, com a criação de formas autônomas e espaços dinâmicos totalmente novos, na desconstrução da realidade convencional. *“Una arquitectura que también celebra en sus formas la primacía de la estructura y el sistema por encima del sujeto y la historia”* (MONTANER, 1999, P. 246).

2.4.1. Processo de Projeto e Arquitetura Contemporânea

A concepção moderna de autoria individualista começa a dar espaço à valorização de trabalhos em equipes, onde a ênfase recai mais sobre o processo como um todo do que sobre o objeto arquitetônico em si (NOBRE *et al.*, 2006). Para Benevolo (2007) o novo ponto de partida da arquitetura contemporânea não deve ser mais um balanço das experiências passadas, mas um julgamento objetivo de seu resultado total, ou seja, a paisagem resultante de todas as intervenções ocorridas.

Segundo Benevolo (2007), a organização dos escritórios de arquitetura, o crescimento dos corpos técnicos especializados e as circunstâncias de suas relações colocam novos problemas, não instrumentais, mas ligados à criação arquitetônica. Ainda segundo o autor, isso torna inadequados os escritórios individualizados que caracterizaram a primeira fase do modernismo.

Para Montaner (1999), outra característica fundamental da arquitetura contemporânea é a forte capacidade de representação através de perspectivas sobrepostas com cortes, plantas, maquetes, além das múltiplas possibilidades de combinações. Cada obra de arquitetura deve sempre resolver um problema técnico delimitando espaços adequados ao homem, seja o sistema de vedação ou cobertura, a integração com o entorno, sabendo aproveitar todas as possibilidades tecnológicas atuais.

O progresso tecnológico distribui as competências entre um grande número de grupos especializados que funcionam como consultores estáveis ou ocasionais (Benevolo, 2007). Atualmente, com equipes maiores, há uma hierarquia de grupos de arquitetos nos escritórios, que recorrem a mais coordenadores de projeto. Os maiores escritórios de arquitetura no mundo concentram entre 400 e 650 arquitetos. Como consequência, é crescente a necessidade de habilidades agregadoras de relações humanas para o trabalho coletivo e participativo. O controle na orientação se torna instrumental.

Banham (1979) sugere que o arquiteto que se propõe a caminhar com a tecnologia terá ao seu lado uma companheira rápida e que, se decidir não fazer isto, pode descobrir

que uma cultura tecnológica decidiu ir à frente sem ele. Szalapaj (2005) afirma que a tecnologia acompanha a demanda de projeto muito mais do que o projeto se adéqua às novas tecnologias. Ainda segundo o autor, o desenvolvimento da forma arquitetônica contemporânea ainda está muito preocupado com a resolução de quesitos funcionais, também levando em conta os problemas construtivos e estruturais e as limitações dos materiais. Todas as etapas de desenvolvimento de projeto e a interação dos critérios analíticos mudam constantemente. A atividade projetual incorpora análises intuitivas e racionais de maneira transparente ao projetista.

Montaner (1999) considera o espaço virtual, utilizado por arquitetos, desenhistas, músicos para projetar, como a mais alta criação da ambição humana, considerando um mundo totalmente fora das leis da natureza. Segundo Szalapaj (2005) a tecnologia é a habilidade do computador de colaborar com as idéias e croquis dos projetistas, com o desenvolvimento de temáticas, facilitar a produção de desenhos, racionalizar o controle ambiental e aumentar a velocidade do processo. Porém, tudo isso não usurpa o ato de criação.

Szalapaj (2005) pontua três aspectos de aplicação de tecnologia da informação na prática do projeto: expressão digital da forma do edifício, em que a modelagem facilita a análise ou apresentação do projeto; integração digital de informação especializada, para análise do edifício com relação ao meio ambiente, estrutura, etc.; e organização digital da prática do escritório, na qual acontece a apresentação e comunicação da informação em diferentes etapas do projeto entre a equipe e entre projetista e cliente.

No século XXI, o quadro da pesquisa arquitetônica está novamente articulado em escala mundial. Nas obras dos mais destacados arquitetos da arquitetura contemporânea, uma reflexão metodológica e científica é prioridade, sobre a qual se desenvolve um trabalho em equipe que está acima da exuberância criativa e da busca pela originalidade. As obras são resultado de uma rigorosa disciplina compositiva, desenvolvida em etapas e baseada nas leis da geometria e em um repertório de formas e tipos (MONTANER, 1999).

3. METODOLOGIA PROJETUAL

Pode-se percorrer um longo caminho na busca pelos determinantes do projeto dos edifícios, estabelecendo que tipo de atividades irão abrigar, as dimensões dos espaços, as condições ambientais que essas atividades requerem, levando em conta os recursos disponíveis para construí-los, assim como as condições físicas do seu local de implantação (BROADBENT, 1973). A grande complexidade e exigências cada vez maiores, como normas técnicas, conforto ambiental, sustentabilidade, lei do uso e ocupação do solo, certificações, entre outros, já impõem um recorte sobre o projeto. Por isso, a grande equipe multidisciplinar de projetistas deve dialogar num processo projetual transparente e integrado. Um projeto integrado requer colaboração estreita entre arquitetos, engenheiros, proprietário e construtora, desde a contratação do projeto até a entrega.

Colquhoun (1981) afirma que os modelos tradicionais de projeto são incapazes de lidar com a complexidade dos problemas arquitetônicos contemporâneos e, sem ferramentas de análise e classificação, o projetista tende a voltar às tipologias conhecidas previamente. No campo da engenharia acústica, essa complexidade se mostra ainda mais evidente, onde acústica e arquitetura devem dialogar desde a fase inicial do projeto, o que torna ainda mais importante o uso de metodologias projetuais. É proposto então que o processo de projeto tenha um ou vários métodos como suporte à solução criativa, de maneira que a técnica seja a base das decisões projetuais, eliminando a subjetividade. Jones (1970) aponta para a necessidade do desenvolvimento de métodos confiáveis para a geração e controle de estratégias de equipes de projetistas.

Na Europa e EUA, surge também nesse período o “movimento dos métodos de projeto”, desenvolvido por uma série de conferências e publicações sobre o assunto, além da criação de entidades internacionais tais como “Design Methods Group”, “International Society for Design Science” e “Design Research Society”. Segundo Broadbent (1973), as pesquisas em metodologia de projeto procuram estruturar a introdução do conhecimento científico e do comportamento humano no processo criativo em arquitetura. Cross (1993)

aponta os primeiros autores a publicarem livros sobre metodologia do projeto nos anos sessenta e setenta: Hall (1962), Asimow (1962), Alexander (1964), Archer (1965), Jones (1970) e Broadbent (1973); e sobre criatividade: Gordon (1961) e Osborn (1963). O movimento teria sido o resultado de uma tentativa de se cientificizar o projeto, tornando-o mais “academicamente respeitável” (CELANI, 2003).

A arquitetura brasileira ficou à margem dessas pesquisas nos anos 60 e 70, conforme observado no Capítulo 2, e o tema agora está gradativamente voltando às escolas de arquitetura e urbanismo. O movimento dos métodos não chegou às escolas brasileiras de arquitetura e teve pouca repercussão dentre os escritórios de projeto. Celani (2003) relaciona alguns prováveis motivos. Primeiro, o fato de que as primeiras instituições de ensino de arquitetura basearam-se no modelo francês da *École de Beaux Arts*, com incentivo à formação artística do arquiteto, em que a cópia de modelos era tomada como método pedagógico. Segundo, devido à tardia organização dos primeiros escritórios de arquitetura no Brasil, firmados no talento individual do profissional responsável. Já as escolas de engenharia eram influenciadas pela arquitetura racionalista de Durand.

Durand¹ e Palladio² influenciaram a evolução do pensamento arquitetônico na tentativa de externalizar o raciocínio do projetista, racionalizando-o e procurando tornar o processo projetual compreensível. Jones (1970) observa que a característica comum a todos os métodos de projeto é a tentativa de exteriorizar o pensamento dos projetistas no processo de projeto, seja através de palavras, diagramas ou símbolos matemáticos. O grande desafio, ainda segundo o autor, seria a concepção de linguagens de projeto em que a complexidade do pensamento artístico dos projetistas fosse combinada com uma explicação científica e racional.

¹ Arquiteto francês, um dos mais importantes teóricos do início do século XX, Jean Nicolas Louis Durand foi professor da École Polytechnique. Propunha uma metodologia universal da edificação, contrapartida arquitetônica na expansão Napoleônica, mediante a qual edifícios poderiam ser criados pela permutação modular de tipos fixos de plantas e elevações alternativas, a partir de um vocabulário de elementos arquitetônicos. Para Durand, estavam em pauta a tipologia normativa, a econômica da edificação, e a funcionalidade.

² Andrea Palladio foi um importante arquiteto italiano. Propôs um método projetual linear, com regras de organização de espaços reguladas por leis matemáticas e harmônicas, buscando a proporção das partes e do todo. O método é rígido, porém simples e replicável, com a possibilidade da criação de gramáticas formais e de programas computacionais para sua aplicação.

O modernismo propunha um método racional de projeto baseado na funcionalidade do edifício. Hearn (2003) critica a vaga noção de que o desenvolvimento do projeto é um mero processo de solução de problemas que inicia com uma lista de funções. As críticas pós-modernas ao modernismo expuseram lacunas ou deficiências no método racional de projeto. O modernismo passou a ser considerado como mera manifestação estilística do funcionalismo, reduzindo-se a ele. Escreve Eisenman (1996) que, a partir do momento em que as funções e o programa se tornam complexos, desaparece a habilidade em manifestar uma forma tipológica pura.

Montaner (1999) afirma que tanto um pensamento estritamente cartesiano e racional, como uma doutrina oposta baseada na intuição essencial são falsos. O autor escreve que todo o pensamento deve induzir à razão e à intuição como processos básicos e complementares.

Rossi (1997) insere no método de projeto de edifícios a consideração da perspectiva histórica e social. Conforme Hearn (2003), não se deve iniciar a partir do programa de necessidades e sim a partir de uma discussão da natureza do projeto para então definir seu papel cultural, após examinar diferentes pontos de vista.

3.1. Desenvolvimento de Ferramentas Metodológicas

Nesse período, o projeto era considerado como uma série de etapas tais como análise, síntese, avaliação (ROWE, 1997). Friedman (2003) descreve o projetista como um analista, que formula os problemas a serem resolvidos; um sintetizador, que ajuda a resolver os problemas; além de um líder, que organiza as equipes; e um crítico, que analisa a solução dada ao problema. Seguindo este método, os requisitos acústicos são analisados, uma solução é proposta e então são feitas avaliações para certificar a qualidade da solução. Se necessário, volta-se à síntese novamente e, em seguida, uma nova avaliação.

Para Brawne (1992), muitas idéias que tentaram dar uma base científica à arquitetura começaram na crença do comportamentalismo, em que as atividades humanas são explicadas como sendo unicamente reações mecânicas aos estímulos do meio ambiente. Dessa forma, a arquitetura também determinaria a atividade humana e, através do projeto, os arquitetos poderiam moldar as ações dos usuários dos edifícios.

Segundo Munari (1983), o método projetual consiste em uma série de operações realizadas em uma ordem lógica, tendo como objetivo conseguir o máximo de resultado com um mínimo de esforço. Para projetar é necessário fazer antes um estudo sobre aquilo que se vai projetar, que materiais serão utilizados, se já foi feito antes e como foi feito, entre outras informações que devem ser levantadas.

O primeiro passo do arquiteto, antes de qualquer traço, é o levantamento de dados do projeto. O local onde um projeto será implantado é a informação inicial para o levantamento de dados. A partir desse conhecimento, são exploradas as potencialidades, o contexto e as alternativas para o projeto. Não importa o que será construído, o edifício irá complementar ou confrontar o contexto existente (HEARN, 2003). A inserção de uma edificação no meio interfere e sofre interferências das características acústicas do local, além das condicionantes térmicas, visuais, e outras, que devem também participar das decisões projetuais.

Lawson (1997) afirma que o projeto em seu processo não é claro e lógico como um método científico, mas sim um conjunto de ações que envolve tomar julgamento de valores entre alternativas que podem oferecer algumas vantagens e desvantagens. O processo de projeto inicia-se a partir do reconhecimento de uma necessidade, que representa a visão de um problema. *“O problema não se resolve por si só, mas em troca contém todos os elementos para sua solução. Deve-se conhecê-los e utilizá-los no projeto de solução”* (MUNARI, 1983, p. 39).

Jones (1970) sugere que o tempo de projeto pode ser bastante diminuído e muito mais inteligência pode ser aplicada na solução, se for possível a decomposição do problema em subproblemas, para então resolvê-los um a um. O projetista estará mais seguro para

projetar se dispuser de uma série de informações sobre cada problema particular. A partir dessa minuciosa definição do problema, passa-se ao tipo de solução que se deseja dar. Segundo Lawson (1997), estes procedimentos geram uma série de informações que auxiliam no reconhecimento do problema e que são transformadas pelo projetista em requisitos funcionais que o objeto de projeto deve satisfazer.

A fase em que o projeto pode ser subdividido varia muito conforme o tipo de produto almejado. Os projetos complementares, seja de climatização, hidro-sanitário, de telefonia, são subproblemas que podem ser resolvidos em paralelo, pois cada função é localizada em um componente físico separado (JONES, 1970). No entanto, alguns problemas são difíceis ou impossíveis de serem tratados separadamente sem prejudicar o desempenho, custo, aparência e outros que requerem combinações com outros componentes (JONES, 1970). Esse é o caso da acústica. Os fatores que levarão à resposta formal da arquitetura dos auditórios, teatros e, em geral, das salas de espetáculos são requisitos que derivam do conjunto das combinações de materiais, volumes e formas para obter os valores ideais dos parâmetros acústicos do espaço como um todo.

Não existe um passo a passo no processo de projeto. Lawson (1997) afirma que nunca é possível ter certeza que todos os problemas relacionados ao projeto estão expostos. Conforme o projeto vai amadurecendo, objetivos e prioridades vão mudando e soluções vão surgindo. Por isso, não é possível obter uma fórmula estática para projetar, pois esse é um processo dinâmico.

Jones (1970) sugere que os métodos de projeto devem ser analisados sob os pontos de vista racional, criativo e de controle sobre todo o processo de projeto. O autor sugere que uma caixa preta representaria o projetista do qual emerge a criatividade misteriosamente. Do ponto de vista racional, o projetista seria uma caixa de vidro, representando total transparência no processo de projeto, podendo este ser inteiramente explicado. Um sistema de auto-organização seria necessário ao projetista para ter o controle de todo o processo projetual (JONES, 1970).

O procedimento de tentativa e erro é aquele em que a solução para um problema é buscada de maneira aleatória. De certa forma, esse tipo de procedimento envolve avaliação das possíveis soluções encontradas (ROWE, 1997). No procedimento *top-down* a atenção do projetista é direcionada hierarquicamente do geral para o particular, como por exemplo, quando a criação do projeto parte da implantação para o detalhe. Rowe (1997) afirma que tanto a abordagem *top-down* como *bottom-up* se aplicam a problemas bem definidos, ou que têm informações suficientes para as tomadas de decisões.

Em acústica, o sistema metodológico *top-down* é nítido quando o projeto parte da análise dos ruídos no entorno, buscando a melhor implantação do edifício para sua proteção contra os sons indesejáveis, verificando a necessidade de barreiras acústicas ou estruturas com isolamento especial, como lajes flutuantes, para somente após, analisar as necessidades acústicas de cada ambiente em particular. O método *bottom-up* também pode ser utilizado a favor da acústica sem, no entanto, deixar de lado o conjunto da edificação ao projetar do detalhe para o geral.

Já o método projetual conhecido como empirismo propõe que todo o conhecimento humano deriva da experiência sensorial (BROADBENT, 1973). No empirismo, para cada problema real, se busca inspiração nos dados locais, o clima, os usuários, os materiais, ao invés de padronizar e generalizar. O método do “novo empirismo” é contrário a um racionalismo radical e globalizador e procura humanizar e atender a psicologia do usuário, usar formas irrepetíveis, espontâneas e orgânicas (MONTANER, 1999).

O processo heurístico se refere ao processo de resolução de problemas no qual não se sabe de antemão se uma sequência de etapas irá levar a uma solução satisfatória ou não. Consequentemente isto envolve processos de tomada de decisões em que não se sabe se a solução foi encontrada até que a linha de raciocínio esteja completa e todas as etapas estejam realizadas (ROWE, 1997). A concatenação de diversos métodos representa lidar com uma grande variedade de combinações de composições, mas não necessariamente o uso de um menor número de procedimentos irá resultar na falta de variedade na composição (ROWE, 1997).

Rowe (1997) descreve problemas classificando-os (com base em Newell, Shaw e Simon, 1967 e Churchman, 1967) como problemas *bem definidos*, *mal definidos* e *problemas ímprobos*. Os problemas bem definidos são aqueles cujo objetivo já está prescrito ou aparente. Nos problemas mal definidos, nem os fins nem os meios são conhecidos e o processo de busca da solução consiste em definições e redefinições do problema. Os problemas ímprobos seriam os problemas sem uma formulação definitiva em que diferentes formulações levam a diferentes soluções plausíveis.

Na classificação dos problemas sugerida por Rowe (1997), a acústica pode ser considerada na arquitetura como um problema *bem definido*, uma vez que podem ser até mesmo convertidos em números os objetivos que se deseja atingir, como tempo de reverberação, nível sonoro, entre outros parâmetros que serão descritos no capítulo seguinte.

Projetistas trabalham no contexto de uma necessidade de uma ação. O projeto não é um fim em si mesmo, mas vai resultar em uma ação que mudará o meio de alguma forma. Na maioria das vezes os problemas são multidimensionais. Desse modo, no projeto é sempre necessário imaginar uma solução integrada para uma série de exigências projetuais. Para Rowe (1997), os projetistas raramente podem identificar todas as possíveis soluções para o problema em mãos e assim optam por aquelas que parecem satisfazer melhor naquele momento.

Já no ponto de vista de Mies van der Rohe, os arquitetos do século XX devem fazer a opção de quais problemas irão resolver, de modo que, se resolvessem todos os problemas, seus edifícios seriam muito menos eficazes (VENTURI, 1995). Muitos problemas de projeto envolvem constantes ajustes das partes com relação a outras e com relação ao todo. É comum que um problema de projeto esteja em conflito com outro. Por exemplo, a abertura de janelas para uma via movimentada é prejudicial acusticamente, mas pode ser fundamental para prover ventilação cruzada no ambiente em questão.

Esses conflitos atuam como elementos limitadores durante o processo de projeto, porém muitas vezes podem ser grandes oportunidades de aplicação de soluções inovadoras

que enriqueçam a composição arquitetônica. Brawne (1992) afirma que qualquer discussão do processo de concepção pressupõe também que se trata de um processo de resolução de problemas em que as decisões são possíveis e que estas não são totalmente pré-determinadas pela definição do problema. Além disso, projetar é muito mais do que resolver problemas. Quando uma série de requisitos acústicos é exigida, as soluções propostas para atender esses requisitos não devem contradizer as soluções dadas às demais exigências projetuais (como a função, dimensões, ventilação, iluminação) e sim, estarem integradas a elas.

Rowe (1997) levanta a questão de quando o projetista sabe que a melhor solução possível foi encontrada. O projetista deve cessar a busca pela solução quando já não é mais possível observar nenhuma melhora no todo, sob um número de combinações sucessivas. No entanto, não há garantia de que, com um pouco mais de perseverança, seria possível encontrar uma solução melhor. Rowe (1997) denomina essa busca por soluções cada vez melhores, uma após a outra, como a “escalada de uma montanha”, onde o topo da montanha seria a melhor solução encontrada.

Hearn (2003) sugere considerar de antemão quais valores devem ser comunicados. Não importa quão convenientemente as diversas funções práticas podem ser colocadas, o edifício nunca será satisfatório se não tiver sua finalidade cultural devidamente abordada. Para se obter ótimos resultados, nem arquiteto, nem cliente devem iniciar o projeto com uma imagem fixa em mente. Se o usuário do edifício não é o próprio cliente, então ele ou um representante de seus interesses deve também participar do processo de projeto (HEARN, 2003). Muitos projetistas não chegam a aprender com seus erros, pois seu envolvimento com o projeto se limita ao período antes de sua ocupação e os clientes geralmente não voltam ao mesmo arquiteto para corrigir as falhas (FRIEDMAN, 2003).

Hearn (2003) escreve que, antes da revolução industrial, os edifícios eram apenas estruturas que abrigavam atividades, porém, após grande desenvolvimento tecnológico - sistemas de iluminação, elevadores, climatização, sistemas de comunicação, segurança e automação - os edifícios passam a ser como máquinas. A modelagem digital abriu possibilidades de exploração da forma arquitetônica, passando a ser criada por processos

generativos, baseados em conceitos como algoritmos genéticos e projeto paramétrico. A parametrização é a manipulação de variáveis com funções matemáticas que levam à geração de um leque de possibilidades formais. É muito utilizada na criação de superfícies curvas complexas.

Nas duas últimas décadas do século XX, o computador assumiu importante papel no planejamento arquitetônico, seja como ferramenta de desenho, armazenamento de projetos, ou como meio de inovação nas formas, encorajando a complexidade de projeto (HEARN, 2003). Mitchell (2009) propõe estabelecer um modo de representação do conhecimento arquitetônico através de inferências lógicas, a fim de descrever o raciocínio do arquiteto.

O avanço dos computadores permite que muitos jovens arquitetos de todo mundo busquem criar novas formas de estruturas e espaço interno fluidos. A tecnologia de novos materiais (por exemplo, metais leves e policarbonatos) permite que os arquitetos se aproximem do sonho da estrutura e do espaço infinitamente maleáveis, tentando livrar-se das limitações impostas pelas formas de estrutura e espaço (GLANCEY, 2001).

Embora as tecnologias disponíveis possam limitar ou até mesmo excluir algumas categorias do imaginável, o desafio e o prazer de selecionar e decidir estão indissociavelmente presos ao processo projetual (BRAWNE, 1992). Com o avanço tecnológico atual da arquitetura contemporânea, os arquitetos já não estão mais preocupados com os limites das técnicas de construção tradicionais. Os projetos podem ser concebidos inteiramente em três dimensões, através de vários processos de produção digital, que estão abrindo novos campos para exploração conceitual e formal do edifício (KOLAREVIC, 2005). Kolarevic (2004) afirma que os processos de design digitalmente dirigidos fizeram com que as possibilidades da forma arquitetônicas ficassem infinitas.

Conectado com dispositivos e sensores apropriados, o computador pode ir além dele mesmo e responder a *feedbacks* de outras máquinas e situações, da mesma forma como um organismo responde às mudanças em seu ambiente, aprendendo a melhorar suas respostas conforme elas acontecem (ABEL, 2004). As maiores inovações atuais estão associadas ao desenvolvimento da internet e das redes especializadas de computadores, que estão tendo

impacto significativo nos padrões de trabalho corporativo e transformando o modo como arquitetura é concebida e produzida (ABEL, 2004).

3.2. Método de Projeto Baseado no desempenho

O processo de projeto também pode ser guiado pela exploração de soluções a favor do desempenho do edifício. No método de projeto baseado no desempenho³, a forma não é pré-determinada, mas criada tendo os requisitos de desempenho do edifício como guia. A ênfase no processo de geração da forma baseada no desempenho lida com aspectos quantificáveis e qualificáveis da performance do edifício como a estrutura, o custo, a acústica ou o meio ambiente, entre outros. O problema e as condições específicas são examinados e interpretados sistematicamente.

Dos métodos apresentados até então, pode-se considerar o método de projeto baseado no desempenho o que se mostra mais adequado para a aplicação dos requisitos acústicos no projeto de edifícios. Uma vez que os conceitos acústicos são apresentados pelos consultores acústicos para cada tipo de atividade, esses podem ser tomados como meta de projeto, em que os elementos arquitetônicos vão sendo combinados de maneira integrada, a fim de que o edifício atinja o desempenho desejado.

A performance desejada para um edifício é normalmente composta por uma extensa lista de requisitos de desempenho que vão desde a função até a qualidade acústica. A importância da utilização de pelo menos uma metodologia projetual fica evidente para que as soluções sejam integradas com o todo, chegando a um resultado satisfatório. Kolarevic (2005) propõe que a avaliação do desempenho deve ser generativa e não somente avaliativa. O autor defende que através da resposta à lógica funcional, seguindo as leis naturais e da física, é possível atingir uma qualidade excepcional.

³ Tradução da autora para o termo “*performance-based design*” em KOLAREVIC, 2005.

Na “arquitetura do desempenho”, a ênfase, ao invés da aparência do edifício, é o processo de criação baseado no desempenho, como os edifícios funcionam, o que fazem, e quais ações, eventos e efeitos devem prover ao longo do tempo. A combinação criativa dos objetivos de desempenho é a chave para a abordagem arquitetônica do método de projeto baseado no desempenho. Sobrepondo varias avaliações analíticas, as alternativas de projeto podem ser comparadas entre si para selecionar uma solução que ofereça o desempenho desejado (KOLAREVIC, 2005).

Utilizando modelos físicos e simulações computacionais, os efeitos na forma e posicionamento dos edifícios, além da possibilidade da utilização de energia solar, resfriamento, aquecimento, ventilação e conforto, são investigados (HERZOG *in* KOLAREVIC, 2005). Dessa forma, as ferramentas computacionais são críticas ao projeto, não só como ferramentas de otimização, mas como guias tecnológicos para a resolução de problemas complexos (SCHWITTER *in* KOLAREVIC, 2005). A maioria dos softwares de simulação do desempenho dos edifícios seja estrutural, de iluminação, acústica, térmica ou ventilação, requer um modelo detalhado, com alta resolução, o que significa que é raramente usado no desenvolvimento conceitual do projeto (KOLAREVIC, 2005). Além disso, o alto custo faz com que escritórios menores tenham pouco acesso a esses softwares.

Algumas tipologias de edifícios, como salas de concerto e hospitais, possuem propostas arquitetônicas mais complexas e exigem a participação de muitos especialistas e consultores diferentes. Alguns escritórios chegam a se especializar. Para Friedman (2003), na atual complexidade do meio, o projetista deve identificar os problemas, selecionar os objetivos apropriados e criar soluções, e ainda, como muitos dos trabalhos de projeto são feitos em equipe, o arquiteto sênior deve liderar a equipe para desenvolver e implementar as soluções. As soluções são encontradas gradualmente em workshops, junto com outros membros da equipe de projetistas. O cliente é também envolvido no projeto, tornando o processo de tomada de decisões mais transparente (HERZOG *in* KOLAREVIC, 2005).

Herzog (KOLAREVIC, 2005) afirma que os métodos e modelos de trabalho atualmente serão tema para fundamentais mudanças nas próximas décadas. Isso se aplica em particular a natureza de cooperação entre arquitetos e especialistas de outras áreas (HERZOG *in*

KOLAREVIC, 2005). Conforme o processo de projeto baseado no desempenho vai ganhando espaço, há uma necessidade de que haja um pensamento integrado de projeto para todos os membros da equipe, com boa comunicação de *feedbacks* entre os membros da equipe, para que o processo funcione satisfatoriamente (SCHWITTER *in* KOLAREVIC, 2005).

Encontra-se em Friedman (2003) que um dos problemas mais profundos da pesquisa em projeto é a dificuldade de desenvolver uma teoria fora da prática. Seria a hora de considerar os caminhos nos quais a teoria de projeto possa ser construída e reconhecer que, sem uma teoria baseada em conhecimento, a profissão de arquiteto não estará preparada para enfrentar os desafios que os norteiam no complexo mundo atual (FRIEDMAN, 2003).

A preocupação com a qualidade estética dos edifícios esteve sempre presente na arquitetura, no que se refere aos volumes, formas e cores. O sentido da audição, através da acústica dos ambientes, é também importante fator na percepção da arquitetura. Em acústica, a metodologia projetual envolve desde a correta locação do edifício no terreno ao estudo do posicionamento de superfícies refletoras através de simulações computacionais, aspectos que serão explorados no Capítulo 5.

4. FUNDAMENTAÇÃO ACÚSTICA

O ser humano interage com o ambiente construído através da visão, do tato, do calor, do olfato e da audição. Castelnou (2003) alerta para a importância dos estímulos aos cinco sentidos humanos no ambiente construído. Todos os sentidos participam da compreensão espacial. A visão percebe distâncias, tamanhos, formas, texturas, luzes e cores. A audição sentindo ecos e outros efeitos acústicos. Já o olfato é um sentido imediato, emotivo e primitivo, capaz de evocar épocas e situações do passado. “O ambiente arquitetônico afeta o comportamento humano, podendo provocar monotonia, fadiga, dor de cabeça, irritabilidade e até hostilidade, assim como favorecer a sensação de ânimo, vivacidade, alegria e relaxamento.” (CASTELNOU, 2003, p.148)

O conforto ambiental surge num esforço de se resgatar a arquitetura enquanto abrigo, cujo desempenho depende da temperatura, umidade, iluminação, nível de intensidade sonora, qualidade do ar, entre outros. Na arquitetura, o conforto ambiental é dividido em conforto térmico, conforto acústico e conforto lumínico, além da ergonomia. Broadbent (1973) escreve que os melhores arquitetos se interessam não tanto pelo efeito visual, mas pelas experiências sensoriais de maneira multimodal. Poucos arquitetos defendem a necessidade de projetar a favor do conforto visual, térmico e acústico. Alguns iriam além, convencendo-se que o arquiteto não só deve projetar para o conforto, mas também para o prazer. Resultaria incoerente, porém, que projetasse, por exemplo, para o prazer térmico e acústico, sem fazê-lo ao mesmo tempo para o prazer visual (BROADBENT, 1973).

Considerando a importância do conhecimento dos atributos físicos do som para o entendimento dos procedimentos para obtenção de qualidade acústica nos ambientes construídos, esta seção apresenta os principais conceitos de acústica e seus parâmetros relacionados à acústica arquitetônica.

4.1. Conceitos

O som é gerado quando há uma perturbação em um meio elástico (CAVANAUGH, 1998; MORFEY, 2001). Segundo MEHTA *et al.* (1999), o som pode ser entendido também como a resposta do sistema auditivo humano às flutuações de pressão no ar, causadas por objetos vibrantes. A onda sonora é a sucessão de ondas de compressão e rarefação, que se afastam de uma fonte, criada pela vibração das partículas do ar. Em Morfey (2001), o som é definido como uma sensação auditiva produzida por pressões transitórias ou oscilantes agindo no sistema auditivo, ou por vibrações mecânicas dos ossos cranianos nas frequências de áudio.

O intervalo completo entre uma rarefação e compressão das ondas sonoras é chamado de ciclo. O número de ciclos que ocorrem em um período de tempo de um segundo em uma onda sonora determina a frequência de onda, conhecido pelos músicos por tonalidade (MEHTA *et al.*, 1999). Frequência de uma onda sonora é o número de vibrações completas que ocorrem por unidade de tempo. O desempenho acústico dos materiais para o controle sonoro são dependentes da frequência, cuja unidade de medida é o Hertz (Hz) (CAVANAUGH, 1998).

A faixa frequência que é audível ao ser humano, vai de 20 Hz a 20.000 Hz. Abaixo de 20Hz estão as frequências dos chamados infra-sons e, acima de 20.000Hz, estão os ultra-sons. Os sons geralmente percebidos no dia-a-dia são compostos por diversas frequências. Costuma-se chamar de espectro sonoro a distribuição da pressão sonora em função de frequência presentes no som (BISTAFA, 2006). Nas medições, o espectro sonoro é geralmente obtido em faixas de frequências, denominadas de bandas. Dessa forma, a faixa de frequência audível pode ser dividida em subdivisões convenientes, como bandas de frequência de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava. Cada faixa recebe um nome dado por sua frequência central.

A pressão sonora é uma das grandezas mais importantes para caracterizar os efeitos do som sobre o ser humano, pois o ouvido humano reconhece os sons através da sensibilidade à pressão. Além disso, é mais fácil encontrar sensores de pressão (microfones)

que operam em grandes faixas de pressão e frequência, do que dispositivos que meçam intensidade ou velocidade. As medições são geralmente expressas em termos de nível de pressão sonora (BERANEK, 1993). O nível de pressão sonora (L_p) é uma representação logarítmica da pressão sonora, medida em decibel.

O ouvido humano possui sensibilidade diferente para diferentes frequências. Um som em baixa frequência não é percebido tão intenso quanto um som em alta frequência (MEHTA *et al.*, 1999). A Figura 4.1 mostra as curvas isofônicas, que representam os níveis sonoros necessários para produzir a mesma sensação auditiva em diferentes frequências. Havendo superposição de sons agudos e graves, os agudos são percebidos mais nitidamente (SCHIMID, 2005).

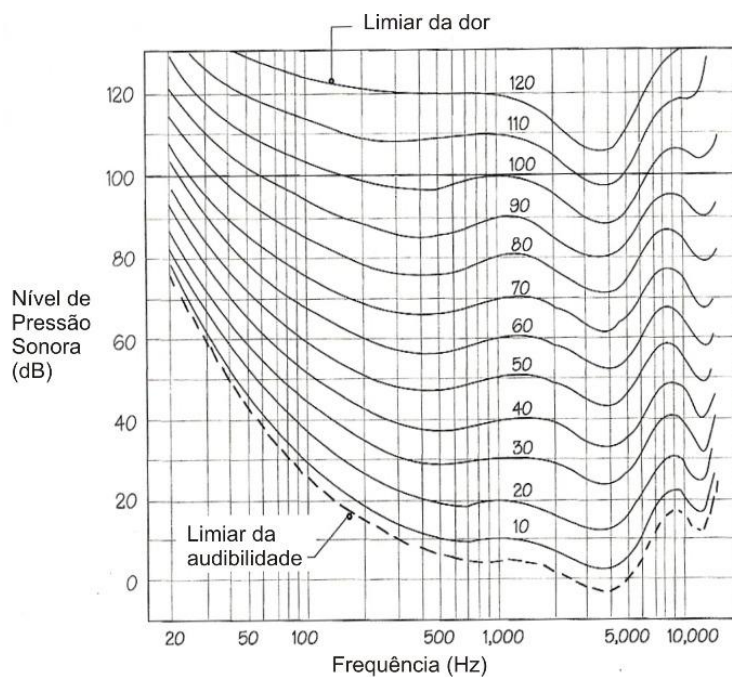


Figura 4.1: Curvas Isofônicas.

Fonte: Mehta *et al.*, 1999, p. 29

4.1.1. Absorção, Reflexão e Difração

O campo sonoro pode ser classificado como *campo próximo* e *campo distante*, de acordo com a posição do receptor em relação à fonte. No caso de um ambiente fechado, onde acontecem inúmeras reflexões sonoras, o campo distante é chamado de *campo reverberante*. Ao contrário, o *campo livre* é aquele onde só é percebido o som direto, sem reflexões.

Quando a energia sonora encontra uma superfície, seja teto, piso ou uma parede, uma parte da energia pode ser refletida de volta para o ambiente, outra parte pode ser absorvida pelo material da superfície e uma parte pode ser transmitida para o outro lado do ambiente. Dessa forma, a soma das parcelas de energia refletida, absorvida e transmitida deve ser igual à energia incidente (MEHTA *et al.*, 1999).

Reverberação é o resultado de ondas sonoras viajando dentro de um ambiente após o som direto e as primeiras reflexões. Tais reflexões sonoras continuam a ser refletidas no ambiente, até atingirem a inaudibilidade. O som reverberante inclui todas as reflexões que chegam ao ouvinte após 80ms (BERANEK, 2004).

A reflexão do som em superfícies não absorvedoras não só aumenta o nível do som reverberante, como também pode direcionar o som para outras superfícies. A difusão é um efeito no qual a complexidade de superfícies refletoras resulta em dispersão do som no recinto. Em um campo sonoro difuso, as ondas sonoras caminham em todas as direções, em qualquer ponto do ambiente (BERANEK, 1993).

Ecos são distintas reflexões atrasadas, com nível sonoro suficiente para serem claramente ouvidas como uma repetição do som original (EGAN, 1988). Ecos acontecem quando uma onda refletida chega ao ouvido de um ouvinte a mais de 67ms após a chegada do som direto (BERANEK, 1993). Os ecos interferem na inteligibilidade da fala e causa confusão na percepção de músicas, por isso deve ser evitado (MEHTA *et al.*, 1999).

A absorção sonora em um recinto pode ser feita com materiais de estrutura fibrosa ou porosa, na qual o som perde energia por atrito batendo nos espaços vazios do material. Esse mecanismo é denominado resistivo. Assim, a absorção pode ser obtida a partir de elementos decorativos arquitetônicos, como carpetes, cortinas, mobília e com os ocupantes da sala. A absorção sonora é utilizada principalmente para controle da reverberação e é mais efetiva quando espalhada pelo ambiente, ao invés de concentrada em uma única superfície (TEMPLETON, 1999).

Lã de vidro, lãs minerais, espumas, tecidos grossos são exemplos de materiais absorvedores acústicos. Quanto mais espessos, melhor o desempenho de absorção acústica do material. Em geral, esses materiais são leves e não possuem propriedades estruturais ou capacidade de isolamento sonora, logo, um bom absorvedor sonoro é, por suas próprias características físicas, um isolador ineficiente (BISTAFA, 2006).

A capacidade de absorção de um material é dada pelo coeficiente de absorção sonora (α) que é dado pela relação entre a energia absorvida e a energia incidente nele. Os valores desse coeficiente variam entre zero e 1. A absorção sonora existente em um ambiente é dada por: $A = \sum S \cdot \alpha$, onde S é a área de cada material e α é o coeficiente de absorção sonora do material em uma dada frequência (EGAN, 1988).

O coeficiente de absorção ponderado (α_w) é o indicador utilizado pelos fabricantes desses materiais para representar seu desempenho e é dado pela média dos coeficientes de absorção sonora das frequências de 1/1 banda de oitava, de 250 a 2000Hz (BERANEK, 1993). O α_w , porém, não representa com fidelidade o comportamento do material, que não é o mesmo para todas as frequências.

Outro mecanismo capaz de absorver as ondas sonoras se dá pelo mecanismo reativo, em que painéis vibrantes e ressonadores vibram para “roubar” energia do som. Também conhecido como painéis ressonantes, os painéis vibrantes consistem em uma chapa fina de madeira ou metal, montada sobre espaçadores fixados em uma parede ou teto, formando uma cavidade com ar no espaço interveniente. O painel é caracterizado por sua densidade superficial (kg/m^2) e possui desempenho em função de frequência. Com o painel excitado

pelo campo acústico, a energia sonora é então dissipada no movimento de flexão do painel (BISTAFA, 2006).

Os ressonadores de Helmholtz, ou ressonadores de cavidade, também representam o mecanismo resistivo de absorção, em que a frequência onde ocorre a absorção máxima coincide com a frequência de ressonância do elemento. O ar contido na cavidade se comporta como uma mola, sendo comprimida pela pressão sonora. O atrito do ar nas paredes internas é o responsável pela absorção sonora.

4.1.2. Ruídos e Isolamento Acústico

Os ruídos são definidos como “sons indesejáveis”, ou seja, sons que interferem no ambiente sonoro em questão. Os ambientes, do ponto de vista acústico, são formados pela superposição de ruídos de naturezas e origens diferentes, compondo o “ruído de fundo”, definido por Bistafa (2006, p. 105) como “o conjunto de sons e ruídos que ocorrem conjuntamente com o fato sonoro objeto de interesse, ou consideração específica.”.

O cotidiano em uma cidade é repleto de ruídos urbanos gerados por indústrias, pelo transporte, construção civil, vizinhos, lazer e recreação, aeroportos, que devem ter a atenção dos projetistas no projeto de um edifício. No projeto de escolas, hospitais, escritórios, residências e outros tipos de edifícios cujo conforto acústico é indispensável, busca-se o controle do ruído, principalmente no que se refere à saúde dos usuários.

Conforme o posicionamento da fonte sonora, os ruídos podem se propagar pelo ar ou por estruturas sólidas, caracterizados respectivamente como ruídos aéreos, ruídos transmitidos por vibrações de sólidos e ruídos de impacto. Os elementos de uma edificação mais sujeitos aos ruídos de impacto são tetos e pisos e, eventualmente, paredes. Nesse caso, a isolamento aos ruídos de impactos é resolvida através de detalhes construtivos como lajes flutuantes, descontinuidade das estruturas e juntas com materiais resilientes.

O isolamento acústico objetiva impedir que ruídos aéreos gerados em um ambiente sejam transmitidos para outro adjacente, seja este um espaço fechado ou a parte externa da edificação, assim como evitar que sons indesejáveis penetrem o ambiente. É possível quantificar essa perda de transmissão sonora através do Índice de Redução Sonora (R), que relaciona o ruído no ambiente adjacente com o ruído na sala da fonte.

Uma estrutura com características isoladoras é geralmente densa e reflexiva. No caso onde a massa é responsável pelo isolamento, quanto maior a densidade superficial (e/ou a frequência), maior o isolamento sonoro (lei da massa). A combinação de materiais absorvedores em superfícies isolantes compõe o mecanismo de isolamento sonoro, conhecido como sistema massa mola.

O isolamento, no caso de ruídos aéreos, visa reduzir a intensidade sonora transmitida para o interior dos ambientes. Os ruídos aéreos passam por portas, janelas, fendas, frestas, também pelos elementos construtivos como pisos, paredes teto. São aqueles originados e propagados pelo ar, ou aqueles que, gerados no ar, provocam a vibração de uma superfície e do ar na face oposta.

A energia gerada por fontes sonoras sofre atenuação ao se propagar no ar livre. Os fatores causadores de atenuação são: distância percorrida, barreiras, absorção atmosférica, vegetação, variação de temperatura e efeito do vento (GERGES, 1992). Em campo livre, o som é atenuado pela distância, de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância, em que, a uma potência sonora constante, ao dobrar-se a distância da fonte sonora, a intensidade sonora será quatro vezes menor e o valor eficaz da pressão sonora, nessa distância, será duas vezes menor (BISTAFA, 2006).

O controle de ruídos é o modo pelo qual se busca preservar a audição e garantir que haja inteligibilidade na comunicação em um ambiente, sem a interferência de sons externos. O processo de controle de ruídos engloba inúmeras estratégias projetuais que vão desde o distanciamento da fonte de ruído, pela adequada implantação dos edifícios, até a escolha dos materiais de fechamento e o tamanho e posicionamento das aberturas. Paredes, lajes, divisórias e materiais construtivos podem ser utilizados como elementos atenuadores da

transmissão de energia sonora de um ambiente para outro. Deve-se ter atenção também ao zoneamento urbano, quanto à separação de atividades ruidosas (indústrias, aeroportos, ferrovias, etc.) das áreas residenciais e de hospitais, por exemplo.

Barreiras acústicas são comumente projetadas para atenuar ruídos em locais críticos, como aeroportos e vias de tráfego muito movimentado. O som atinge a barreira e é refletido como uma imagem virtual da fonte (EVEREST, 2001). A atenuação promovida pela barreira depende da altura, da posição da barreira em relação ao receptor e à fonte e do comprimento da onda sonora. Embora a redução de ruído em um determinado local através do uso de barreiras pode ajudar a minimizar o problema ambiental, pode vir a criar outros. Elas podem afetar o microclima, acesso, campo visual e os pássaros, além das fachadas dos edifícios e, por isso, devem ser integradas o máximo possível ao entorno (KOTZEN e ENGLISH, 1999).

A vegetação pode ser usada de diferentes maneiras, inclusive junto a barreiras construídas para ajudar na absorção e diminuir o impacto visual. A vegetação também pode funcionar como elemento de atenuação sonora, porém, Bistafa (2006) afirma que somente a partir de 15 metros de largura, as barreiras vegetais começam a ter o efeito de atenuação sonora. GERGES (1992) apresenta que, para uma atenuação de 2 dB em 1kHz, é necessário uma área de árvores densas à 10 m de distância da fonte e com uma largura de 20m. Quando a grama for densa e houver folhagens no solo, essa atenuação pode aumentar para 4 dB.

4.2. Parâmetros Objetivos

Durante vários anos, o tempo de reverberação foi considerado como a principal meta na elaboração de teatros, auditórios, salas de concertos, entre outros, com algumas preocupações com a presença de ecos, focalização e ruídos externos. Hoje, após grande avanço na ciência acústica, o tempo de reverberação é um entre tantos outros parâmetros na avaliação dos espaços acústicos, porém mantendo sua importância por estar relacionado

direta ou indiretamente a vários destes parâmetros (MARSHALL e KLEPPER, 1999). Para avaliar acusticamente os ambientes, uma série de parâmetros quantitativos foi estudada e alguns dos mais utilizados terão seus conceitos apresentados a seguir.

4.2.1. Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação (TR_{60}) é definido como o tempo que a energia de um campo sonoro reverberante leva para decair 60dB depois de cessado o som direto (MORFEY, 2001). A reverberação é causada por reflexões múltiplas do som nas superfícies do ambiente (CAVANAUGH, 1998). Numa sala de aula, o tempo de reverberação deve ser o mais curto possível para favorecer a compreensão da palavra falada, em torno de 0,7 s. Já a audição de música requer tempos de reverberação maiores, a partir de 1,2 s, para ser realçada no ambiente. A Figura 4.2, retirada de Beranek (1993), mostra os valores ótimos de tempos de reverberação, de acordo com os volumes e usos.

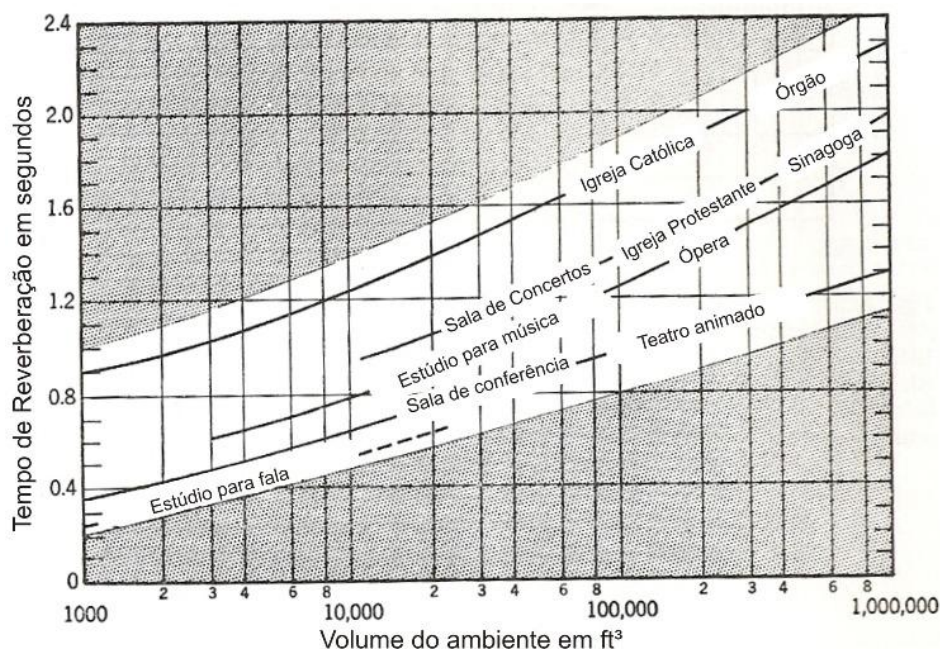


Figura 4.2: Tempo de reverberação ótimo em função do volume e do uso.

Fonte: Beranek, 1993.

4.2.2. Tempo de Decaimento Inicial

O Tempo de Decaimento Inicial (Early Decay Time - EDT₁₀) é a medida da taxa de decaimento da reverberação nos primeiros 10dB, obtida em segundos, multiplicada por 6 (MORFEY, 2001). Cirillo e Martellotta (2006) afirmam que em um espaço difuso ideal, onde o decaimento é linear, o EDT e o TR podem ser iguais, na prática, porém, a primeira parte do decaimento é fortemente influenciada pelas reflexões iniciais e, conseqüentemente, EDT é muito mais sensível às posições relativas entre fontes e ouvintes.

4.2.3. Índice Sonoro de Relação entre Decaimento Inicial e Posterior

Beraneck (2004) define o índice sonoro de relação entre decaimento inicial e posterior (Early-to-late sound index - EL_t) como a razão da energia do decaimento do sinal sonoro inicial pela energia do som posterior, expressa em decibels. O símbolo C₈₀ ou C₅₀ representa se o valor foi obtido a 80 ms (música) ou a 50 ms (fala). Na música, EL_t é chamado de índice de clareza (MORFEY, 2001).

4.2.4. Atraso Temporal Inicial

MEHTA *et al.* (1999) definem o Atraso Temporal Inicial (Initial Time Delay Gap - ITDG) como o intervalo de tempo entre a chegada do som direto e da primeira reflexão ao ouvinte, em milissegundos. Quanto menor este intervalo, maior a sensação de *intimidade* proporcionada pela sala, fazendo com que os ouvintes se sintam mais envolvidos com a performance. Beraneck (2004) indica como valor ótimo para este intervalo de tempo 25ms ou menos.

4.2.5. Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural

O Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural (Interaural Cross Correlation Coefficient - IACC) mede a diferença relativa entre os sons que chegam ao ouvido direito e esquerdo de um ouvinte (CAVANAUGH, 1998). Conforme Morfey (2001), para uma determinada posição de um ouvinte, IACC é a medição da similaridade entre os sinais recebidos pelos dois ouvidos. O valor do IACC é obtido pela correlação cruzada das funções de resposta impulsiva de um ambiente, medido em ambas as posições dos ouvidos, por um período definido normalmente como os primeiros 80 ms após a chegada do som direto (MORFEY, 2001).

4.2.6. Fração Inicial de Energia Lateral

Fração inicial de energia lateral (Early Lateral Energy Fraction - LFC) representa a impressão de espacialidade. São baseadas na razão entre as reflexões laterais que chegam entre 5 e 80 ms e o total das reflexões que chegam antes de 80 ms (EVEREST, 2001). Morfey (2001) define LFC como a proporção de energia acústica que chega lateralmente nos primeiros 80 ms, expressa como uma fração das reflexões que chegam de todas as direções no mesmo período. Marshall e Barron (2001) afirmam que a impressão especial causada pelas primeiras reflexões laterais caracteriza uma boa acústica. No entanto, a qualidade excelente depende da obtenção dos valores adequados de diversos parâmetros simultaneamente.

4.2.7. Razão dos Graves e Razão dos Agudos

Razão dos Graves (Bass Ratio – BR) é a razão entre os tempos de reverberação em baixas frequências e os tempos de reverberação em médias frequências (MORFEY, 2001). É utilizado para avaliar o “calor” de uma sala (BERANEK, 2004). A Razão dos Agudos

(Treble Ratio) é a razão dos tempos de reverberação em altas frequências pelos tempos de reverberação em médias frequências, utilizado para avaliar o “brilho” de uma sala (CAVANAUGH, 1998).

4.2.8. Força Sonora

Força sonora (Strenght - G) é definida como a razão da energia sonora em um ponto de uma sala, vinda de uma fonte não-direcional, e a energia sonora vinda da mesma fonte quando medida em campo livre, a distância de 10 metros. Essa relação é expressa em dB e calculada em função de frequência (CIRILLO e MARTELLOTTA, 2006). Beranek (2004) define G_{mid} como a média das medições de G nas bandas de oitava de 500 e 1000Hz.

4.3. Parâmetros Subjetivos

A preocupação com o condicionamento e o desempenho acústico dos espaços, que é o modo pelo qual se procura garantir a boa distribuição do som em um ambiente, buscando a uniformidade sonora, inteligibilidade, correção de problemas acústicos como, por exemplo, o eco.

Beranek (2004), nos anos 1960, conduziu uma pesquisa em mais de cinquenta salas de concerto e casas de ópera. Beranek correlacionou cada informação acústica objetiva ou física com as avaliações subjetivas de cada ambiente, por meio de consultas a usuários, obtendo os parâmetros subjetivos mais relevantes para avaliação de qualidade acústica de salas de música (MARSHALL e BARRON, 2001).

Esses parâmetros subjetivos continuaram a ser pesquisados e desenvolvidos, criando-se outros a partir deles. A seguir são apresentados os parâmetros subjetivos mais utilizados para a avaliação acústica dos ambientes.

4.3.1. Vivacidade

É a impressão subjetiva relacionada ao tempo de reverberação da sala. Quanto mais reverberante, mais “viva” é a sala (FIGUEIREDO, 2005). Um tempo de reverberação longo corresponde a uma sala viva, em que o som é em sua maior parte refletido pelas superfícies. Por outro lado, um ambiente com pouca reverberação corresponde a uma sala “morta”, em que as superfícies absorvem a maior parte da energia sonora e, conseqüentemente o som chega diretamente da fonte, como nos ambientes abertos (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006).

4.3.2. Razão de som direto e reverberante

É a relação entre a energia do som direto e do som reverberante, importante para a noção de intensidade e difusão sonora (IAZZETTA *et al.*, 2004). A intensidade do som direto que chega ao ouvinte deve ser suficiente para que haja um nível de audibilidade confortável (FIGUEIREDO, 2005).

4.3.3. Clareza ou Definição

O som ouvido é formado, dentre outros sons, por notas musicais e fonemas da fala. O grau em que esses componentes são separados uns dos outros é chamado *clareza*, que é um atributo importante para a percepção sonora. A clareza é influenciada principalmente pela distância entre fonte e receptor (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006). Quando há clareza, os sons são ouvidos bem definidos, com articulações sonoras límpidas e precisas (FIGUEIREDO, 2005).

4.3.4. Intimidade

Outro importante atributo é *intimidade*, que é relacionada com a impressão acústica de um som emitido em um ambiente de pequenas dimensões (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006). Essa impressão é determinada pelo intervalo de tempo entre o som que chega diretamente e sua primeira reflexão proveniente das superfícies refletoras (IAZZETTA *et al.*, 2004).

4.3.5. Impressão Espacial

Influenciada pela difusão e dissimilaridade biauricular⁴, a impressão espacial é o efeito psicoacústico causado pelas reflexões sonoras que atingem o ouvinte fazendo-o criar mentalmente uma sensação acústica espacial do ambiente (IAZZETTA *et al.*, 2004). Marshall e Barron (2001) afirmam que Keet foi o primeiro pesquisador a usar o termo “impressão espacial”, para conduzir experimentos em que se estimava a largura aparente da fonte, efeito associado às primeiras reflexões.

4.3.6. Calor

Um som rico em baixas frequências é dito *quente*, enquanto que sons ricos em altas frequências são chamados de *brilhantes* (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006). O *calor* é uma característica que representa a reverberação dos sons graves. Não atrapalha a clareza, mas dá consistência à música. Em uma residência, o calor existe devido à existência de superfícies estofadas ou acarpetadas que absorvem mais os sons agudos e menos os graves (SCHIMID, 2005). O parâmetro físico que descreve o calor acústico é a razão dos graves (BR) (FIGUEIREDO, 2005).

⁴ Medida da diferença entre o que é captado em cada um dos ouvidos ao longo do tempo de exposição (MORFEY, 2001).

4.3.7. Brilho

Segundo Beranek (2004), um som brilhante possui frequências agudas que decaem vagarosamente. Morfey (2001) define *brilho* como a sensação criada por um som rico em altas frequências em uma sala de concertos. O brilho está para as altas frequências, assim como o calor está para as baixas (FIGUEIREDO, 2005).

4.3.8. Audibilidade

A sensação mais próxima à intensidade sonora do estímulo é a audibilidade. O nível de audibilidade foi criado para caracterizar a sensação auditiva de um som. Segundo Beranek (2004), a audibilidade das primeiras reflexões sonoras compreende o som direto da fonte e das primeiras reflexões nos primeiros 80ms. A audibilidade do som reverberante é definida por Beranek (2004) como o total da energia sonora que chega ao ouvinte no período seguinte aos 80ms. A unidade é phon (ZWICKER e FASTL, 1999). Audibilidade relativa (L) é uma medida padronizada, utilizada para quantificar a sensação de força, baseada na razão entre a força de um som percebido e um som de referência (MORFEY, 2001).

5. ACÚSTICA E PROJETO

O ambiente acústico é influenciado por inúmeros fatores correlacionados e interdependentes, associados ao projeto do edifício. Desde o início do desenvolvimento do projeto de uma edificação, a escolha do terreno, a implantação, e até mesmo a organização dos espaços dentro do edifício podem influenciar o conjunto dos requisitos acústicos envolvidos. Os materiais e elementos construtivos que dão forma aos espaços também determinam como os sons serão percebidos nesses espaços, assim como serão também transmitidos aos espaços adjacentes (CAVANAUGH, 1998).

O homem passa o maior tempo de sua vida encerrado em ambientes construídos e, quando sai, é circundado por construções nas cidades, que tomam lugar do ambiente natural (EMERY e RHEINGANTZ, 1995). O espaço arquitetônico também é um espaço sonoro, condiciona o som tanto pelo seu volume confinado como pelo caráter de suas superfícies.

O som, emitido por uma fonte, que atinge o receptor viajando pelo menor caminho é chamado de som direto. Em ambiente aberto, no qual não existem superfícies que reflitam o som, somente o som direto é ouvido. Dessa forma, tão logo é cessada a fonte, o som extingue imediatamente. Já quando o som é emitido em um ambiente fechado é refletido pelas superfícies e o som direto é seguido de uma série de sons refletidos, que reforçam o som direto (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006).

Dois ambientes distintos fazem a mesma música soar de forma diferente. Um ambiente pequeno, com superfícies duras e lisas, amplifica demais o som e, quanto maior o volume do ambiente, sem nenhuma superfície absorvedora, mais propenso o ambiente será à reverberação e mais confuso e sem clareza será o som percebido (SCHIMID, 2005).

O ambiente sonoro deve ser adequado à atividade nele desenvolvida. Quando se trata de música, o ambiente deve ter características mais específicas, somando aspectos positivos à atuação dos músicos e seus instrumentos, a favor da expressão artística.

O projeto de edifícios, sob o aspecto acústico, leva em conta a compatibilização das condicionantes térmicas, lumínicas e acústicas; fenestração; acabamento das superfícies; análise do entorno; tamanho do lote e sua localização; distância entre áreas geradoras de áreas sensíveis ao ruído; e materiais de fechamento. Segundo Seep *et al.* (2002), o melhor modo de resolver problemas acústicos é evitá-los e não corrigi-los.

A reforma de salas de aula fica muito mais cara, mesmo assim é um pequeno custo quando comparado aos custos sociais provenientes de salas de aula com baixa qualidade acústica, que prejudicam o aprendizado de milhões de crianças (Seep *et al.*, 2002). Durante o processo de planejamento, problemas acústicos podem ser evitados com uma diferente disposição dos mesmos materiais de construção, distribuindo corretamente reflexão e absorção.

Já são conhecidos os efeitos negativos da poluição sonora nos seres humanos, como insônia, estresse, depressão, perda de audição, agressividade, falta de atenção e concentração, dores de cabeça, aumento da pressão arterial (GERGES, 1992). O trabalho do arquiteto não está somente focado na funcionalidade e estética, mas na criação de ambientes saudáveis, ressaltando a importância do conhecimento da acústica.

O elemento básico de trabalho do arquiteto é a superfície e, de acordo com as formas e materiais adotados, haverá influência no comportamento do som, determinando o desempenho acústico do ambiente. Portanto, é essencial para arquitetos, engenheiros e urbanistas o conhecimento das propriedades sonoras que influenciam a qualidade do espaço e as formas como atingem o homem, para que o ambiente projetado cumpra sua função acústica.

Toda essa análise acústica durante a elaboração do projeto muitas vezes interfere na forma do edifício. O tempo de reverberação, por exemplo, é um parâmetro acústico que varia em função do volume do recinto e da capacidade de absorção dos materiais. Cada elemento da construção tem alguma influência sobre as características acústicas dos edifícios e, a menos de que todos os fatores envolvidos sejam claramente compreendidos e incorporados durante o projeto, raramente a qualidade sonora será alcançada.

Detalhes construtivos, acabamento das superfícies, pequenas variações em uma dada tipologia, ou posteriores adições de partes podem influenciar na acústica dos ambientes. Cada opção feita quanto ao tipo de estrutura, cobertura, materiais de revestimento, sistema de climatização, entre tantos outros elementos, condicionam a forma do edifício, a flexibilidade do espaço e o comportamento do som em seu interior. É importante ressaltar a fundamental participação de um consultor acústico para dar suporte ao arquiteto durante o processo de projeto de espaços complexos acusticamente, como teatros, salas de concertos, auditórios, escolas de música e espaços multiuso.

Segundo Brawne (1992), independentemente da época ou local, inevitáveis ao projeto arquitetônico são as informações pré-estabelecidas, como os materiais, sistemas construtivos e recursos disponíveis. Regionalmente ou nacionalmente, as limitações legais podem afetar o posicionamento, tamanho e a forma de edifícios pela legislação urbana local. Dessa forma, as exigências locais, as tecnologias disponíveis e os requisitos de conforto, inclusive acústico, já se mostram como inevitáveis pontos de partida no projeto arquitetônico. Assim também os requisitos de isolamento, reflexões laterais, reforço sonoro e inteligibilidade compõem o início do projeto acusticamente. A tomada de decisões também é um aspecto crucial de qualquer problema arquitetônico. Envolve tanto o cliente na elaboração dos requisitos do edifício encomendado, quanto o arquiteto durante o processo projetual.

Brawne (1992) considera o edifício que resulta desse complexo conjunto de considerações como o aspecto mais importante do problema arquitetônico. É o objetivo a ser alcançado e a razão para o início de todo o processo. Isso demonstra um comprometimento com certas questões específicas por uma série de instruções e indivíduos e passa a influenciar o conjunto de decisões tomadas. Admitindo que arquitetura possui um conteúdo intelectual, capaz de alterar alguns estados psicológicos e fisiológicos, esses atributos devem iniciar pela percepção sensorial. É através dos efeitos visuais, tácteis e auditivos que o edifício causa uma impressão no usuário e a partir desses efeitos, todos os outros serão transmitidos (BRAWNE, 1992).

Qualificar acusticamente o espaço requer conhecimento do arquiteto das conseqüências projetuais decorrente das questões acústicas. Embora um resumo dos requisitos funcionais, tecnológicos e legais não determine uma forma, fornece orientações e estabelece metas que inevitavelmente restringem as escolhas abertas ao arquiteto (BRAWNE, 1992). A seguir são relacionados os principais aspectos arquitetônicos que podem sofrer influência dos requisitos acústicos, na fase projetual.

5.1. Implantação e Meio Urbano

Cada ambiente, com suas atividades específicas, tem exigências acústicas específicas. O projeto deve então ter suas áreas de atividades separadas em função de sua classificação quanto à geração de ruídos e quanto à sensibilidade ao ruído. Por isso, é preciso estudar possível afastamento e isolamento dos ruídos urbanos, as atividades de ocupação do solo, conformação das ruas, posicionamento das edificações vizinhas e identificar áreas sensíveis do projeto. Ou seja, analisar os dados e interpretá-los acusticamente. Essa análise influenciará as decisões do arquiteto ao implantar o edifício no terreno.

Muitas cidades já possuem leis de zoneamento e ocupação que auxiliam na separação de atividades geradoras de ruídos dos núcleos urbanos. Devem ser verificadas as condições de ruído do local onde o edifício será construído, a proximidade em relação a aeroportos, indústrias, linhas de trem e metrô. A legislação, em função da acústica urbana, acaba por interferir também na conformação dos edifícios na cidade, seu perfil urbano e densidade, tema esse para pesquisas futuras.

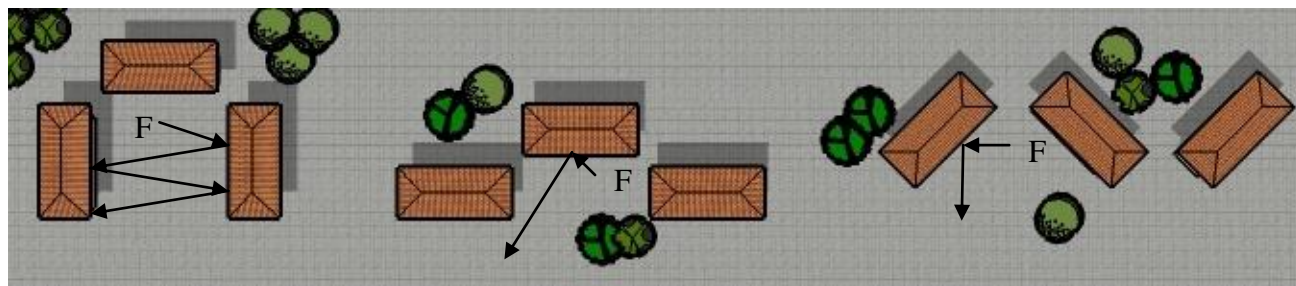
Ao considerar o posicionamento das edificações urbanas e a preocupação com os níveis sonoros, são consideradas algumas possibilidades de solução, como a eliminação de aberturas voltadas para os ruídos do tráfego, por exemplo. Pois então, as ruas serão compostas por fachadas cegas? O projetista, em vários momentos do processo de projeto,

se defronta com questões como essas, que demandam decisões capazes de definir todo o conceito estético de uma obra arquitetônica.

Identificadas as fontes de ruído e suas formas de propagação, podem ser estipuladas diretrizes acústicas para a implantação dos projetos, buscando a qualidade acústica. Nessa fase, é importante a utilização de “mapas de ruído” como ferramenta às decisões arquitetônicas.

Souza *et al.* (2003) recomendam analisar as edificações de entorno, procurando agrupar as áreas de classificação semelhante entre o projeto e as edificações já existentes. Por exemplo, optar por não posicionar um dormitório, que é um ambiente sensível a ruídos, em local do terreno próximo a um ambiente ruidoso da edificação vizinha. O posicionamento do edifício e seus elementos de fachada devem ser sempre muito bem estudados para que não se tornem elementos intensificadores do som (Figura 5.1 a).

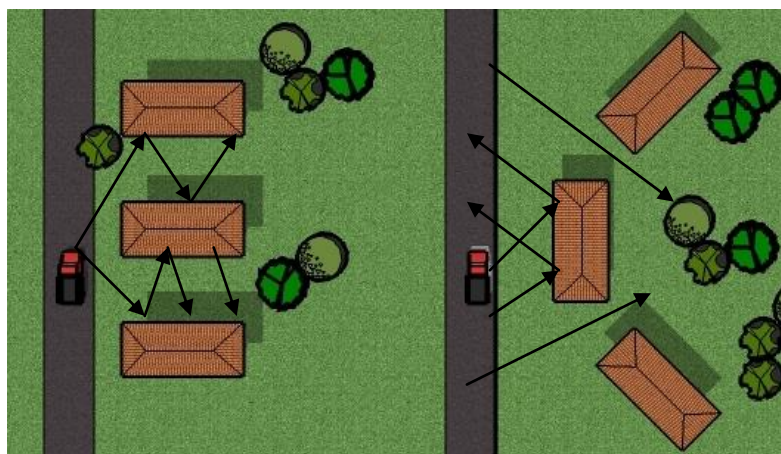
Quando o edifício é composto de vários blocos, a atenção deve ser voltada para que eles não aprisionem o ruído da rua, ou do pátio formado por eles, através do efeito de eco flutuante proporcionado por superfícies paralelas (Figura 5.1 b, c). Posicionados paralelamente, os edifícios ficam refletindo o ruído continuamente (EGAN, 1988). No meio urbano, esse efeito pode acontecer entre edifícios de um lado ao outro da rua, implicando no aumento do ruído causado pelo tráfego.



a) **X**

✓

✓



b) **X**

✓



c) **X**

✓

Figura 5.1 a, b, c: Implantação e ruídos externos
 Fonte: Desenhos da autora, segundo Egan, 1988.

5.2. Forma

Os anfiteatros gregos e romanos dependiam de um local silencioso e da acomodação da platéia o mais próximo possível do palco, pois contavam apenas com o som direto chegando aos ouvidos dos espectadores. Os romanos começaram então a colocar uma parede refletora atrás dos artistas para que o som fosse reforçado para a platéia. Dessa

maneira, a clareza e a audibilidade foram muito melhoradas. Essas paredes refletoras podem ser pensadas como o primeiro passo para a criação de ambientes acústicos, evoluindo para o projeto de tetos e paredes, a fim de que essas superfícies contribuíssem para as condições acústicas do espaço. Tais superfícies refletoras, no entanto, também podem atrapalhar a clareza quando criam efeitos como os ecos flutuantes e focalização sonora, capazes de interferir no bom entendimento, caso não sejam adequadamente projetadas (MARSHALL e KLEPPER, 1999).

Alguns formatos são consagrados para alguns tipos de uso. O tradicional formato “caixa de sapato” é largamente utilizado em salas de concerto com base nas características acústicas positivas de espaços como a Boston Symphony Hall e Salt Lake City’s Symphony Hall. Segundo Passeri Jr. (2008), em um ambiente multifuncional, o formato retangular é o mais adequado devido à importância das reflexões laterais para música sem amplificação, sem comprometer a acústica para a palavra falada. Marshall e Barron (2001) afirmam que, para uma ótima impressão espacial, as reflexões laterais são desejáveis, pois contêm as baixas frequências importantes para o efeito espacial. Assim, as paredes laterais paralelas seriam melhores do que paredes em leque (MARSHALL e BARRON, 2001).

O formato de “caixa de sapato”, porém, não é garantia do sucesso acústico de um ambiente. Esse formato pode ser um bom começo para o projeto, mas também devem ser considerados o volume, a linha de visão do espectador, o controle de ecos, o palco, além da difusão dos sons. Se a sala tiver que se manter estreita para favorecer as reflexões laterais, a platéia localizada ao fundo terá a visão prejudicada. Todos esses fatores, com a criatividade dos arquitetos, têm contribuído para a experimentação de novas formas (MARSHALL e KLEPPER, 1999).

Egan (1988) afirma que plantas semicirculares, com as paredes abrindo a partir do palco em direção a platéia, não promovem reflexões laterais fortes e, mesmo que painéis suspensos sejam utilizados, a música soará distante (Figura 5.2).

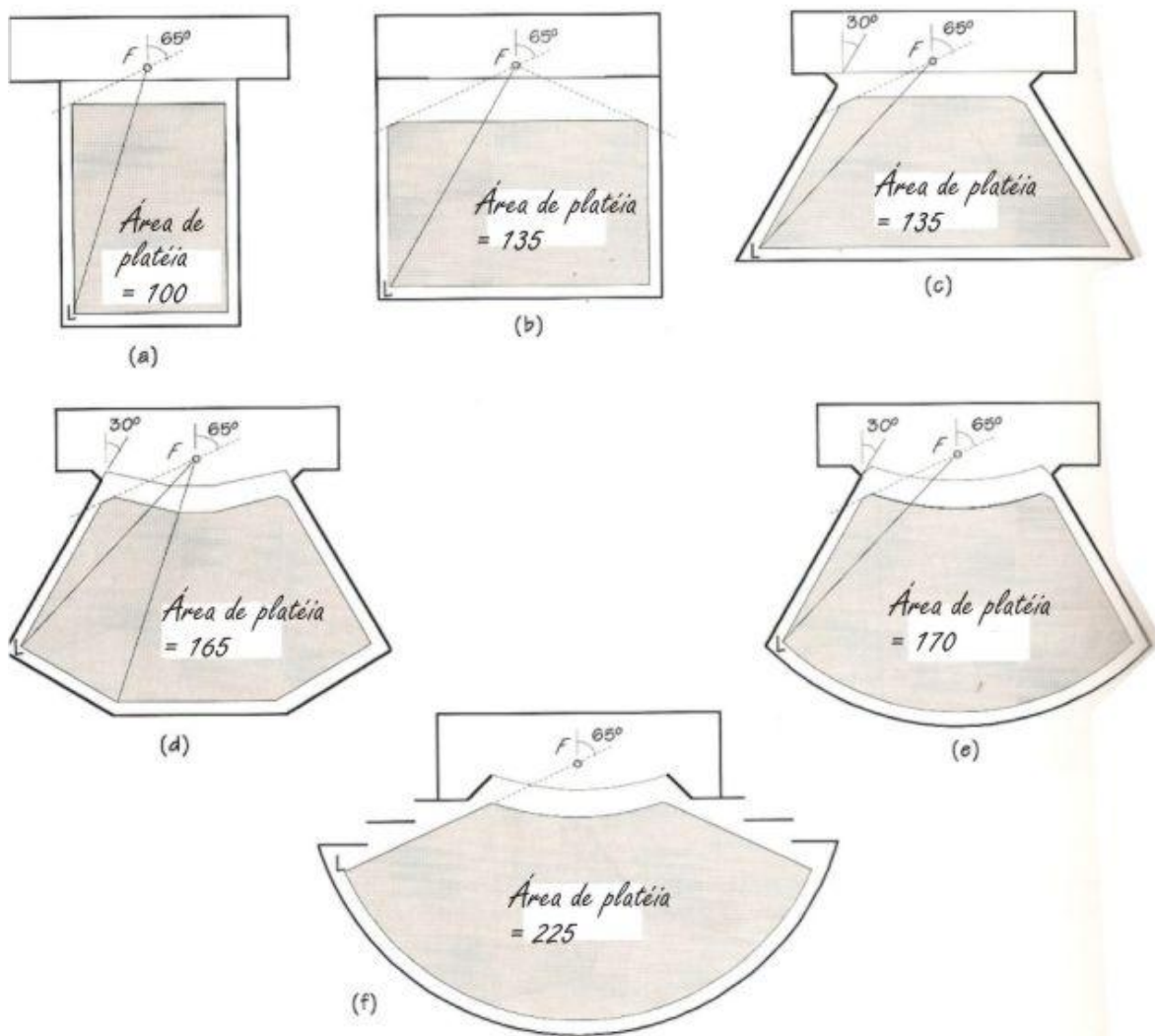


Figura 5.2 a, b, c, d, e, f: Forma e área de platéia.

Fonte: Mehta *et al.*, 1999, p. 236

Mehta *et al.* (1999), porém, apontam uma vantagem para esse formato de planta. Neste caso, as reflexões das paredes laterais se direcionam para o fundo do auditório, onde são mais necessárias. Já se a planta do ambiente for desenhada ao contrário, com as paredes fechando do palco para o fundo da platéia (Figura 5.3 (c)), o som será mais bem distribuído pela audiência, contribuindo para maiores reflexões laterais (EGAN 1988). Marshall e Barron (2001) afirmam que quanto mais reflexões laterais, melhor a impressão especial.

Nos palcos, as paredes laterais devem ser inclinadas para fornecer reflexões aos artistas e reforçar o som direto para a platéia (PASSERI JR., 2008), conforme esquema na

Figura 5.4. Segundo Ando (1998), os ângulos das paredes laterais ao palco devem ser cuidadosamente projetados para controlar o IACC próximo à fonte sonora.

Ando (1998) afirma que o formato de uma sala de concertos pode ser projetado de maneira a minimizar o IACC, aumentando assim a preferência subjetiva dos ouvintes posicionados em qualquer local da platéia. Quanto aos tetos, Ando (1998) conclui que, quando são planos, o IACC é maximizado, prejudicando a preferência subjetiva. Em sua pesquisa, Ando (1998) mostra que a instalação de difusores de resíduo quadrático próximo ao palco pode ser efetivo na redução do IACC.

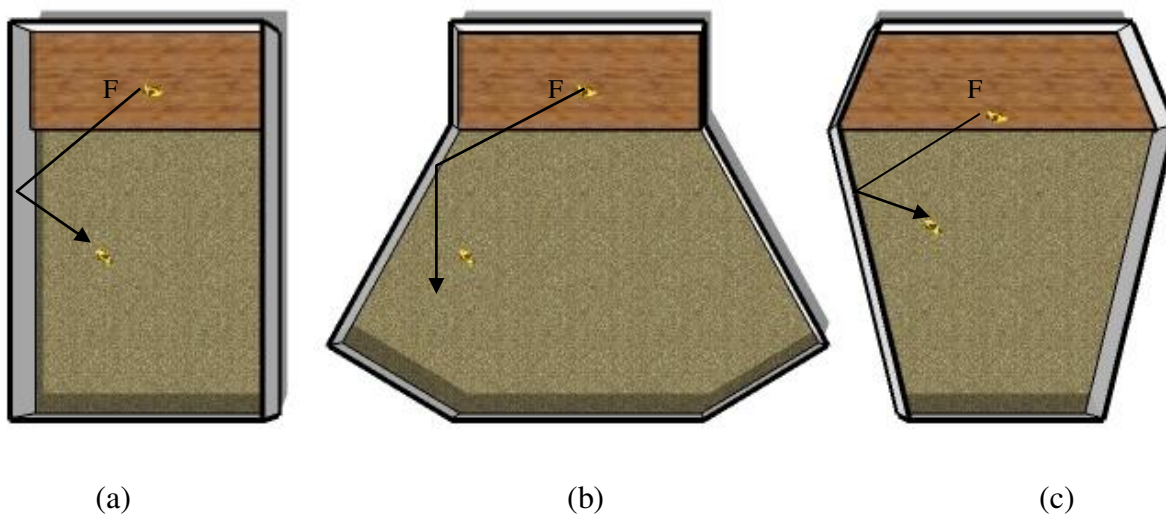


Figura 5.3: Reflexões laterais em função da forma.

Fonte: Mehta *et al.*, 1999, p. 269.

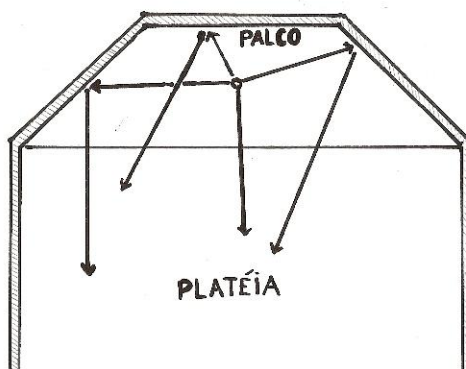


Figura 5.4. Palco com paredes laterais inclinadas para fora.

Fonte: Ilustração da autora.

O desejo de trazer a platéia mais próxima ao palco faz com que muitas vezes surjam plantas esféricas, com o palco próximo ao centro. Porém, essa forma geralmente não é a mais indicada pelos consultores acústicos, a não ser que sejam utilizados sistemas eletrônicos sofisticados. Em ambientes com este formato, a platéia posicionada à frente da orquestra é a mais prejudicada, a qual deveria ter as melhores condições acústicas (MARSHALL e KLEPPER, 1999).

Superfícies côncavas, sejam paredes ou tetos, requerem tratamento para prevenir reflexões sonoras indesejáveis que poderiam reduzir a inteligibilidade do som direto. Formas côncavas, tais como elipse, círculo, parábola, fazem com que o som refletido seja concentrado em certos pontos, chamado focalização sonora. A reflexão sonora ao longo de superfícies côncavas lisas é chamada de efeito de galeria do cochicho, no qual a voz baixa pode ser ouvida a longas distâncias (Figura 5.5). Isso pode ser resolvido com a inclusão de materiais absorvedores nas paredes para reduzir a energia sonora refletida (EGAN 1988).

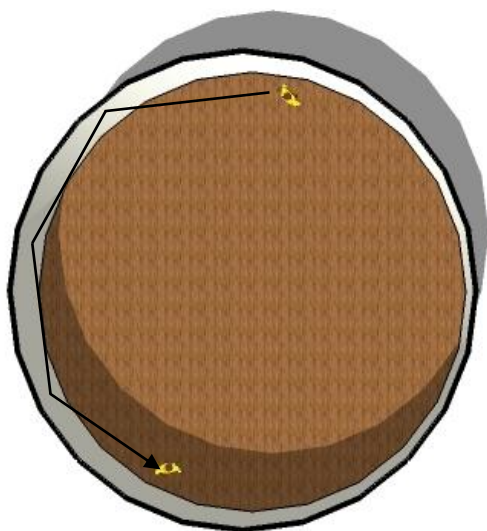


Figura 5.5: Efeito de galeria do cochicho.

Fonte: Desenho da autora, segundo Everest, 2001.

Um exemplo de efeito de galeria do cochicho é a catedral de Brasília, do arquiteto Oscar Niemeyer. A energia sonora é refletida ao longo das paredes curvas, permitindo que pessoas do lado oposto da igreja possam conversar normalmente sem elevar a voz. Na Catedral de Brasília, o arquiteto utilizou a plasticidade do concreto e a forma convexa

interna da cobertura para a difusão dos raios sonoros por todo o ambiente, atendendo satisfatoriamente tanto a acústica quanto a plástica arquitetônica.

Os painéis refletores podem contribuir para moldar o interior de um ambiente, melhorando as primeiras reflexões, sem comprometer o volume necessário para o tempo de reverberação requerido (MARSHALL e KLEPPER, 1999). Também são utilizados para a correção de problemas devido a formas que provocam focalização sonora.

A forma externa do edifício também pode auxiliar na proteção contra ruídos externos, interrompendo a linha de visão acústica das fontes ruidosas. Sacadas e varandas podem ser usadas para isolar prédios dos ruídos do trânsito (Figura 5.6). O isolamento pode ser melhorado se o teto de cada sacada for tratado com um material absorvedor sonoro, impedindo que o som reflita para o interior (EGAN 1988).

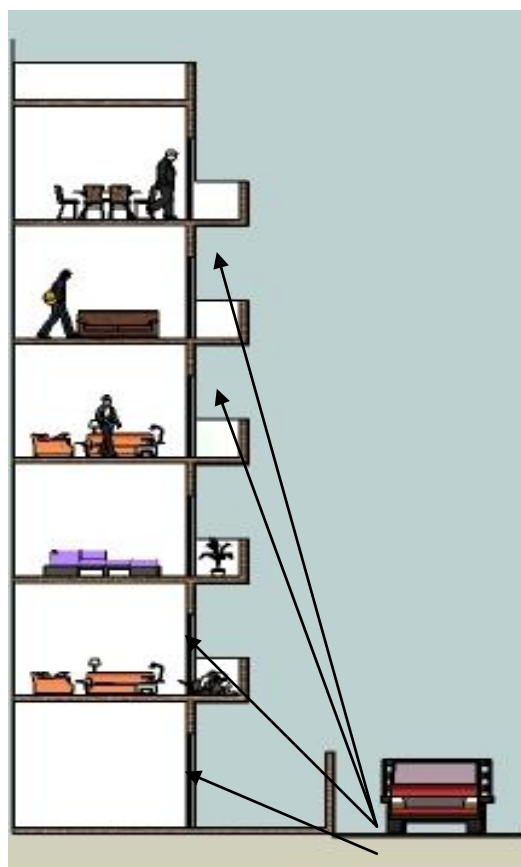
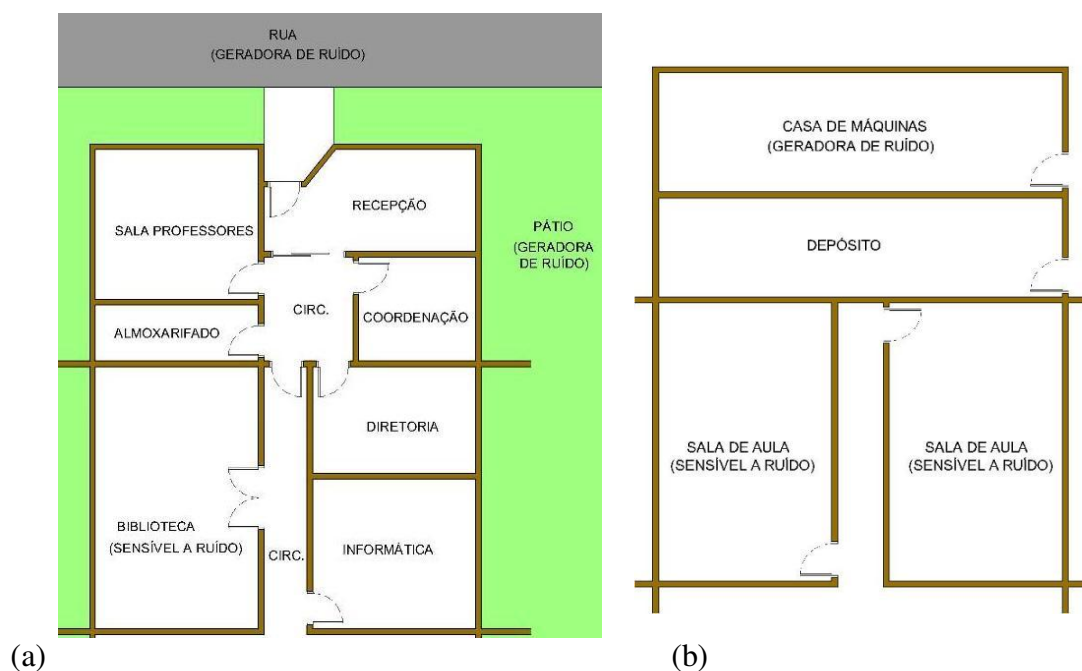


Figura 5.6: Forma da fachada como proteção a ruídos.
Fonte: Desenho da autora, segundo Egan, 1988.

O projeto de fachadas, do ponto de vista do isolamento acústico, foca principalmente as janelas e portas, uma vez que a maior parte do som transmitido ao interior do edifício entra através das aberturas. O desempenho de isolamento das janelas pode ser melhorada com o uso de vidros duplos ou vidro laminado. Além disso, é fundamental que os caixilhos e montantes sejam bem vedados, promovendo a estanqueidade do sistema.

Para determinar o desempenho de uma fachada, deve-se conhecer o nível de ruído externo ao edifício e o nível de fundo aceitável no ambiente interno que se está projetando. A diferença entre esses dois níveis é o valor mínimo que se espera do isolamento do conjunto fachada/ aberturas (TOCCI, 1999).

A configuração da planta de um edifício pode também contribuir para o isolamento acústico. O projeto arquitetônico pode ser idealizado de forma a fazer com que espaços menos críticos funcionem como barreiras entre áreas sensíveis e fontes de ruídos (EGAN 1988), conforme esquemas apresentados na Figuras 5.7.



Figuras 5.7 (a), (b): A configuração em planta contribui para a proteção de áreas sensíveis a ruídos, como a biblioteca e as salas de aula, nos exemplos das figuras.

Fonte: Desenho da autora, segundo Egan, 1988.

5.3. Dimensões e Volume

As características acústicas de uma sala são dependentes também de suas dimensões. Uma igreja grande soa diferente de uma igreja pequena, pois a igreja maior é geralmente mais reverberante. O Tempo de Reverberação é um parâmetro fortemente relacionado às dimensões e seu valor ótimo pode mudar significativamente em função do volume. (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006).

A reverberação contribui para a continuidade do som, podendo torná-lo rico ou, quando em excesso, confuso e sem clareza. Isso dependerá do tempo de reverberação ótimo para cada atividade. A preocupação em buscar uma relação única entre o tempo de reverberação e o volume é pouco possível, pois a presença de superfícies refletoras e absorvedoras contribui também para fazer do ambiente mais ou menos reverberante (CIRILLO e MARTELOTTA, 2006). Quanto maior o ambiente e quanto mais refletoras suas superfícies, maior o tempo de reverberação. Dos demais parâmetros acústicos apresentados, o único outro que mostra uma boa correlação com o volume é a Força Sonora (G), conforme mostrado no gráfico da Figura 5.8, retirado da pesquisa de Cirillo e Martellotta (2006).

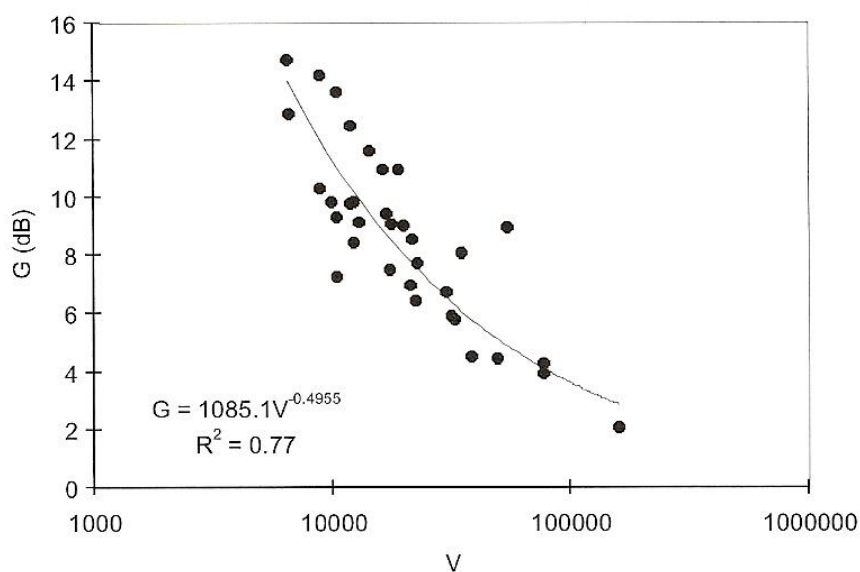


Figura 5.8: Média da Força (G) em função do volume (V) das igrejas estudadas por Cirillo e Martellotta (2006)

Fonte: Cirillo e Martellotta (2006), p. 203.

Para o projeto de espaços para apresentações artísticas, Egan (1988) e Mehta *et al.* (1999) indicam que a distância entre o interlocutor e o ouvinte deve ser de, no máximo, 12m para perceber as expressões faciais dos artistas, 20m para a visualização dos gestos, e 30m para movimentos corporais. Acusticamente, essa distância poderia ser até 30 metros para a música ou teatro. Mehta *et al.* (1999) recomendam 25 metros de distância até a última fileira de ouvintes, para auditórios e 20 metros para teatros. A altura máxima para palcos é de 1,05 metros, pois acima disso haverá obstrução da linha de visão da primeira fileira (METHA *et al.*, 1999).

O uso de balcões também permite aproximar o espectador do palco sem a necessidade de alargar a sala. Mehta *et al.* (1999) recomendam que a profundidade do balcão não deve ser maior que duas vezes a altura do balcão, com relação à primeira fileira de assentos, como mostra a Figura 5.9. Nos espetáculos de música, esse comprimento deve ser no máximo igual à altura de sua abertura.

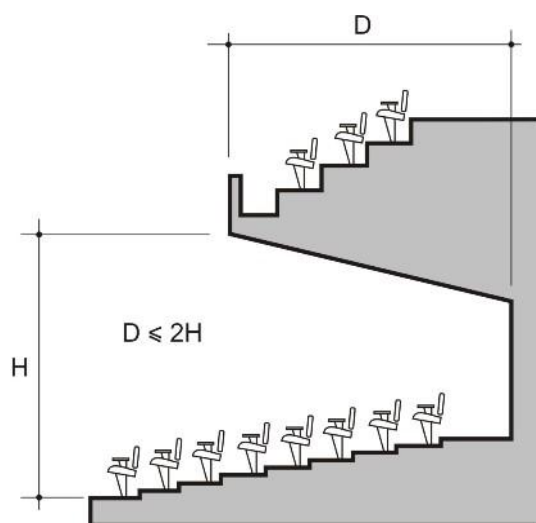


Figura 5.9. Recomendação para o dimensionamento de balcões, segundo Mehta *et al.* (1999).
Fonte: Mehta *et al.* (1999)

A colocação de balcões faz com que seja aumentada a altura e o volume do teatro, elevando conseqüentemente o tempo de reverberação e a necessidade de superfícies absorvedoras para a adequação da sala. Para determinar o volume e o número de assentos no projeto de salas de concerto, Mehta *et al.* (1999) descrevem uma série de cálculos, baseados na força sonora (G) e no tempo de reverberação.

Para que o som seja percebido de forma integrada, ou seja, sem que o ouvinte distinga som direto das reflexões sonoras, a diferença entre distância percorrida pelo som direto e o som das primeiras reflexões não deve ser maior do que 17 metros, distância que corresponde ao atraso de 50ms. Para a música, este atraso pode ser de até 80ms (MEHTA *et al.*, 1999).

5.4. Materiais

Pode-se considerar que todos os materiais de construção que compõem um edifício interferem na maneira como o som é refletido, absorvido ou transmitido. A distribuição correta de materiais absorvedores sonoros em conjunto com materiais refletores é o modo pelo qual se procura garantir boa inteligibilidade e distribuição do som no ambiente. Superfícies refletoras e difusoras de pequenas dimensões distribuídas pelo ambiente contribuem para a sensação de brilho. Já a sensação de calor depende de superfícies refletoras ou difusoras, com dimensões iguais ou superiores a 1,5 vezes o comprimento de onda que se pretende alcançar (PASSERI JR., 2008). Esta seção traz uma visão geral das características e do comportamento acústico dos materiais de construção mais comumente empregados nos edifícios da arquitetura brasileira contemporânea.

5.4.1. Materiais Absorvedores

Os materiais absorvedores são utilizados para o controle da reverberação, diminuindo a parcela refletida, para a redução de ruído nos espaços e para o controle de ecos. Os tipos básicos de materiais absorvedores são os materiais porosos ou fibrosos, os painéis vibrantes ou ressonantes e os ressonadores de Helmholtz.

Conforme descrito anteriormente, a capacidade absorvedora de um material pode ser expressa por seu coeficiente de absorção (α), que varia de zero, para nenhuma absorção

(ou total reflexão), e 1 para total absorção (nenhuma reflexão). O coeficiente de absorção ponderado (α_w) é o indicador que representa o desempenho de absorção do material em um número único para as frequências 250Hz, 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, mesmo que tenham comportamentos diferentes para cada uma dessas frequências. Alguns materiais com elevado coeficiente de absorção sonora são exemplificados nas Figura 5.10.

A quantidade de energia sonora absorvida é determinada pelas características físicas do material, como espessura, densidade, porosidade, diâmetro e orientação das fibras, no caso de materiais fibrosos. A combinação de materiais porosos com painéis vibrantes pode promover uma absorção uniforme em função de frequência (EGAN, 1988).

Lã de vidro é um excelente absorvedor sonoro. É disponível em manta e em placas (Figura 5.10 (e)). É utilizada para o tratamento acústico de salas de controle sonoro e estúdios e principalmente para o isolamento sonoro de ambientes, como recheio de paredes duplas. Seu coeficiente de absorção (α) varia de 0,58 em 250 Hz a 1,00 em 1000 Hz⁵. Para a absorção do som, a lã de vidro pode ser utilizada sobre paredes, em placas revestidas por tecidos (Figura 5.10 (k)) ou por painéis perfurados, para a proteção contra o toque das pessoas. A lã de vidro também é um bom isolante térmico, contribuindo para impedir ganhos ou perdas de calor.

⁵ Conforme fabricante: Isar Isolamentos Térmicos e Acústicos



(a) Cortinas



(b) Carpetes



(c) Feltro de lã de rocha
aluminizado



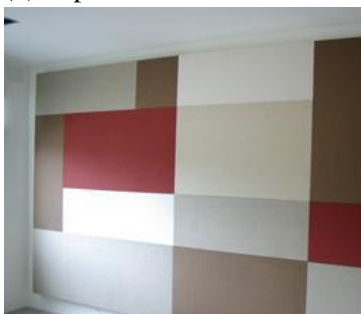
(d) Espuma acústica em indústrias



(e) Lã de vidro em placas e
em manta



(f) Forro de fibra mineral



(g) Lã mineral revestida com tecido



(h) Painel ressonante, com
cavidade de ar.



(i) Variabilidade de cores dos
materiais industrializados.



(j) Forro absorvedor



(k) Lã de vidro revestida
com tecido



(l) Espuma acústica

Figura 5.10: Materiais Absorventes Sonoros

Fonte: http://www.soundproofingschools.com/acoustical_products/index.htm

Espumas acústicas são feitas de poliuretano e podem ser fabricadas com células abertas ou fechadas (Figura 5.10 (l)). As espumas com células abertas são excelentes absorvedores sonoros, com α_w próximo a 0.25 para 6 mm a 0.90 ou mais para 50 mm. Seu uso principal é como preenchimento dos assentos de teatros, para conseguir um melhor tempo de reverberação na ausência de platéia. As espumas com células fechadas absorvem menos que as de células abertas. São utilizadas em superfícies vibrantes como painéis metálicos, para obter amortecimento (PIRN, 1999).

Painéis perfurados, com aberturas entre 5 a 50% ou mais de área aberta, são utilizados para proteger materiais absorvedores, como espumas ou fibra de vidro, sem impedir que cumpram seu papel de absorção. Porém, conforme o número ou tamanho das perfurações, a absorção do material atrás pode ser comprometida, pois o painel pode refletir altas frequências, quanto menor a percentagem de área aberta (EGAN, 1988).

Segundo Egan (1988), quando utilizados sobre painéis rígidos, sem materiais fibrosos, os painéis perfurados podem funcionar como múltiplos ressonadores de volume para absorver o som seletivamente, com buracos individuais compartilhando o mesmo volume de ar por trás da placa perfurada.

Os painéis ressonantes são absorvedores sonoros para baixas frequências (Figura 5.10 (h)). São utilizados em salas de prática musical e estúdios de TV. Os painéis ressonantes absorvem energia de ondas sonoras vibrando na frequência determinada por sua geometria e suas características de amortecimento (EGAN, 1988).

Figueiredo (2005) observou que as salas de apresentações musicais com um baixo grau de calor acústico dispunham maiores quantidades de superfície de madeira fina no auditório. Quando existe um espaço livre por trás da madeira, a mobilidade dissipa energia em baixas frequências, causando a perda dos graves. Placas de compensado de madeira são boas refletoras para altas frequências, mas quando combinadas com uma parede sólida, se tornam potentes ressonadores, atenuando sons em baixa frequência, devido à camada de ar entre a placa e a parede (PIRN, 1999).

Segundo Egan (1988), para abaixar a frequência de ressonância desses materiais, deve-se utilizar espaços largos (maior que 61 cm) entre os suportes, materiais de pouca espessura e grandes espaços de ar atrás dos painéis. Já para aumentar a frequência de ressonância, devem-se utilizar painéis finos, pequena distância entre os suportes e espaços estreitos de ar atrás do painel, ou painéis perfurados com material poroso ou fibroso logo atrás.

Forros acústicos são largamente utilizados, disponíveis em diversos tamanhos e formatos, conforme cada fabricante (Figura 5.10 (d), (f), (j)). São feitos de fibras minerais, de celulose, ou de fibra de vidro. São instalados suspensos por uma estrutura metálica ou colados no teto, embora os suspensos absorvam melhor as baixas frequências. Em ambientes onde a palavra falada é predominante, os forros devem ser de materiais absorventes. Em espaços públicos, como restaurantes, é desejável o uso de forro absorvente para reduzir o ruído de fundo. Já em salas de apresentações musicais, forros de painéis refletores são utilizados para a correção de efeitos de focalização sonora e ajudam a distribuir as primeiras reflexões (PASSERI JR., 2008).

Na existência de balcões, o forro sob eles deve ser de material absorvedor sonoro para evitar reflexões tardias, no caso da palavra falada e, para a música, revestido com materiais refletores ou difusores. O guarda-corpo dos balcões deve contribuir para difusão sonora em salas que apresentem ópera, música de câmara, teatro e concertos (Figura 5.11). Já para salas que apresentem espetáculos de música popular e rock, pode ser necessário revestir esses guarda-corpos com material fonoabsorvente (PASSERI JR., 2008). No projeto da Sala São Paulo, os balcões foram elementos chave para o condicionamento acústico. Todo o guarda-corpo de alvenaria foi revestido com placas de madeira de diferentes tamanhos, a fim de proporcionar maior difusão sonora.

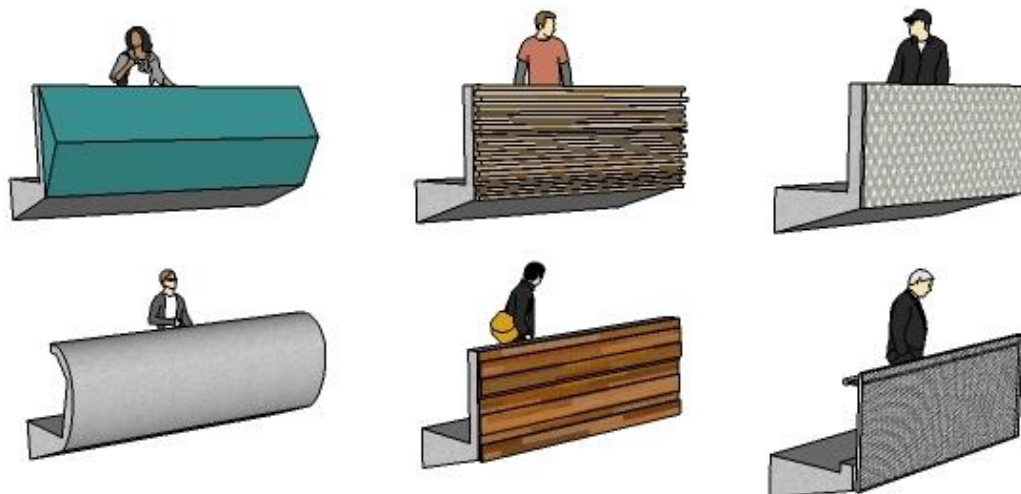


Figura 5.11: Acabamentos dos parapeitos de balcões.

Fonte: Desenhos da autora.

Em ginásios, escritórios de planta aberta, fábricas e outros locais com grande volume, podem ser utilizados painéis absorventes suspensos. Painéis absorvedores suspensos podem proporcionar alta absorção sonora, quando instalados com todas as suas superfícies expostas. São aplicados geralmente em locais onde não é possível instalar os materiais absorvedores convencionais, como indústrias, por exemplo (EGAN, 1988). Os painéis suspensos podem proporcionar um efeito interessante na composição arquitetônica do interior (Figura 5.12).

Cortinas pesadas (aproximadamente 500 g/m²) também são utilizadas para a absorção sonora (PIRN, 1999), Figura 5.10 (a). Para pisos, o carpete é o material de revestimento mais utilizado quando a absorção de energia sonora é desejada, principalmente para frequências altas (Figura 5.10 (b)). Dependendo de sua espessura e porosidade, o α_w varia de 0.20 a 0.55. O carpete é também utilizado para atenuar sons de impacto, evitando o contato com a superfície dura do piso (PIRN, 1999).

Nas salas para música, é recomendado que o piso sob as poltronas seja de madeira para assegurar a sensação de calor (PASSERI JR., 2008). Passeri Jr. (2008) recomenda o uso de carpetes nas áreas de circulação da platéia devido à sua absorção de sons aéreos em

alta frequência, além de absorver os ruídos de impacto provocados pelo caminhar das pessoas.

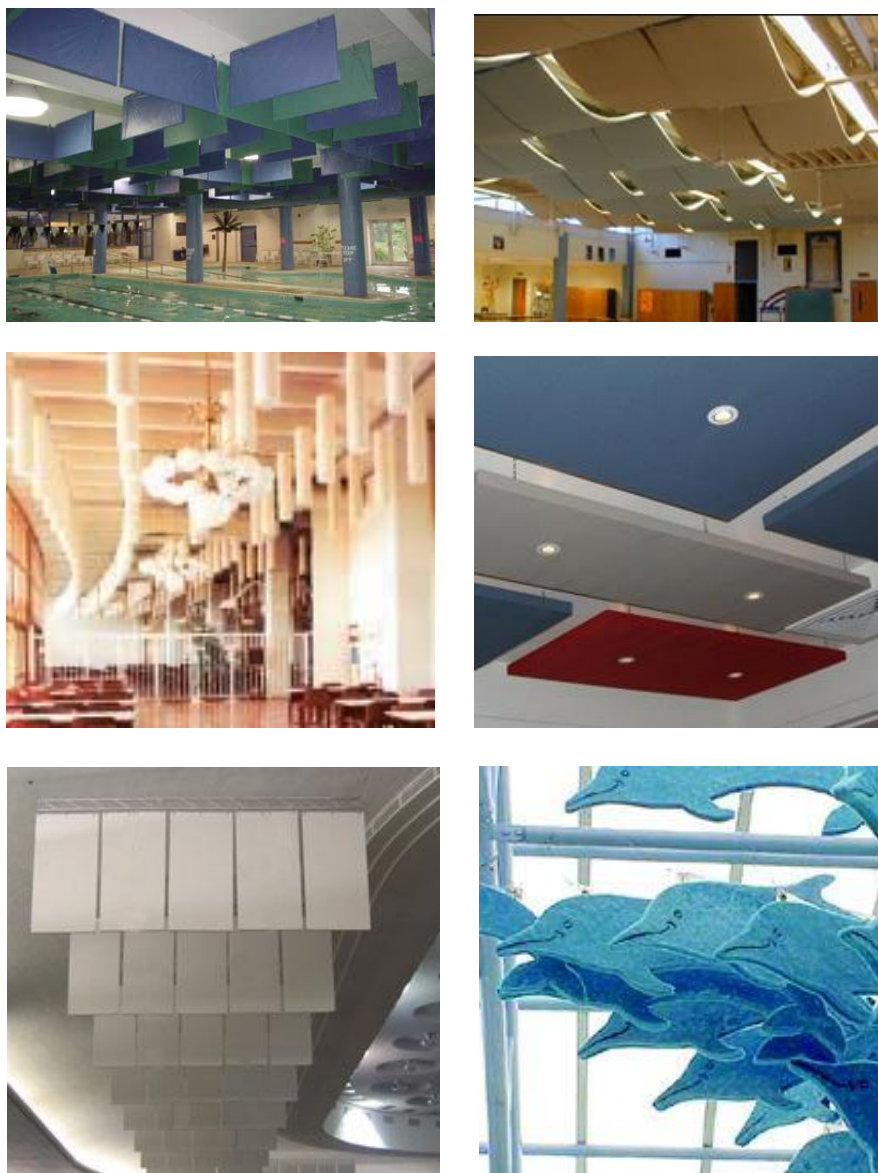
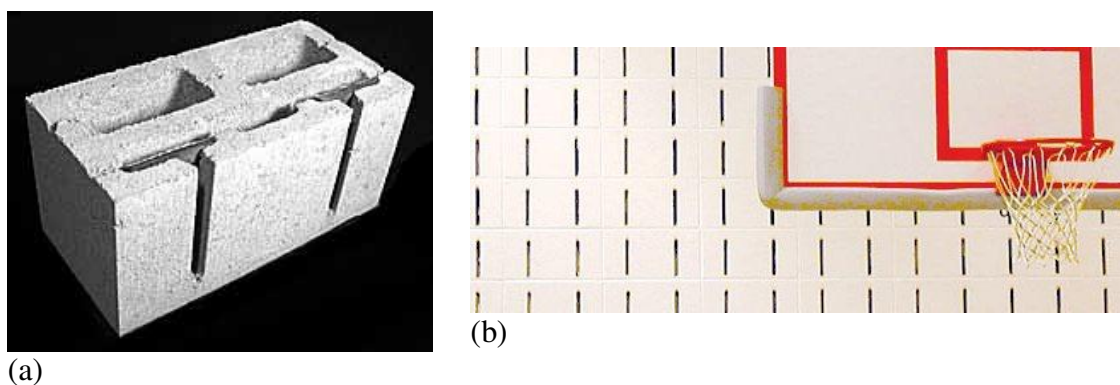


Figura 5.12: Absorvedores suspensos – diversos formatos e cores.

Fonte: http://www.aecinfo.com/1/company/05/37/30/product210920_1.html

Outra forma de absorção sonora em pisos é a instalação de um deck acústico, que é composto geralmente de uma estrutura de deck feita de chapas perfuradas de aço sobre um material absorvedor, como fibra de vidro. É utilizado para reduzir ruído e reverberação de espaços como ginásios e fábricas (PIRN, 1999).

Os ressonadores de Helmholtz são largamente utilizados para absorção sonora de baixas frequências. Funcionam como uma garrafa ou jarra, em que um sopro através da boca produz um tom na sua frequência natural de ressonância. O ar na cavidade é elástico, e a massa de ar no pescoço do ressonador reage com esta elasticidade para formar um sistema de ressonância. Para modificar a frequência da ressonância, pode-se alterar o volume da cavidade aérea, ou o comprimento ou o diâmetro do “pescoço” (EVEREST, 2001). Os ressonadores de Helmholtz podem ter diferentes formatos, como ilustra a Figuras 5.13.



Figuras 5.13 (a): Ressonador em bloco. (b) Vista do bloco e vista frontal de uma parede.
Fonte: <http://www.westbrookblock.com/products/blocks/soundblock/index.htm>

5.4.2. Materiais Refletores

Os materiais refletores são lisos e rígidos. Ao encontrar essas superfícies, as ondas sonoras retornam para o mesmo meio como os raios de luz, onde o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Em um ambiente fechado, o som pode sofrer múltiplas reflexões até perder toda energia (EVEREST, 2001). Uma superfície refletora muda a direção de propagação da onda sonora (COX e D'ANTONIO, 2003).

Os painéis refletores foram primeiramente utilizados para melhorar a distribuição e impedir a focalização sonora em auditórios com teto em domo (Figuras 5.14 (a), (b), (c), (d), (e), (f)). Os painéis refletores sonoros possuem superfícies rígidas, como gesso, reboco,

madeira selada, acrílico ou plástico, e são bem maiores do que os comprimentos de onda do som que foram projetados para refletir (EGAN, 1988).

Quanto à localização das superfícies refletoras, Mehta *et al.* (1999) afirmam que em espaços de apresentações, todas as superfícies do palco e próximas a ele devem ser refletoras. Painéis refletores planos, se dimensionados e adequadamente posicionados, podem ser bem eficientes na distribuição das ondas sonoras.

Egan (1988) recomenda que não sejam utilizados painéis côncavos para a reflexão do som, pois podem causar focalização do som e ecos na área da platéia, além de má distribuição da energia sonora (MARSHALL e KLEPPER, 1999). Painéis refletores convexos, se adequadamente dimensionados, podem ser o melhor formato para a distribuição das ondas sonoras, aumentando a difusão, altamente desejada para a audição de música (EGAN, 1988).

Tijolo e concreto possuem elevada massa e isolam bem os sons aéreos. Se não apresentarem porosidade, são bons materiais refletores para todas as frequências (PIRN, 1999). Já os blocos de concreto são mais porosos e de acordo com sua massa, podem proporcionar grande atenuação sonora. Se pintado, ou bem selado, o bloco de concreto se torna refletor para todas as frequências (PIRN, 1999). Como revestimento, mármore e granitos transmitem bem os sons de impacto e são alguns dos materiais mais reflexivos. Os painéis de gesso acartonado são refletores para sons em alta frequência (PIRN, 1999).

No Orbis Hall, no Japão, projeto acústico de Yoichi Ando, o teto abobadado exigiu a preocupação com a focalização sonora. Painéis difusores de diversos tamanhos foram instalados para desfazer a focalização do som pelo teto circular (Figuras 5.14. (a)) Um grande painel com raio 26 m, foi instalado na área central. Próximo ao centro, foram instalados diversos painéis menores, com 0,9 m, 1,275 m e 1,5 m de diâmetro, assimetricamente. Os difusores menores foram posicionados no centro do teto para obter reflexões das altas frequências. Os painéis grandes são eficazes para as baixas frequências, proporcionando grandes ângulos de reflexão para a platéia. O painel difusor maior foi

posicionado logo acima do palco, fora do centro do domo do teto. Todo o equipamento de produção e iluminação pode ser pendurado nele.



(a) Orbis Hall, Kobe Plaza, Japão.



(b) Centro de Convenções Rubens Gil de Camillo, Campo Grande – MS



(c) Merkin Hall, Nova York



(d) Barbican's Concert Hall, Londres



(e) Town Hall in Christchurch, Nova Zelândia



(f) Palais Montcalm, Salle Raoul Jobin Concert Hall, Canada.

Figuras 5.14 (a), (b), (c), (d), (e), (f): Painéis refletor em auditórios e salas de concerto.

Fontes: (a): Ando (1998); (b): <http://www.centrodeconvencoes.ms.gov.br/>; (c): http://livedesignonline.com/theatre/kaufman_ctr_merkin_hall_undergo_acoustic_renovation/, (d): <http://www.kirkegaard.com/index.php/archives/1493>, (e), (f): <http://www.artec-usa.com/>

Além de atuar como painéis difusores sonoros, esses elementos também funcionam como luminárias, compondo uma arquitetura de interiores ímpar. A platéia, além de adentrar a “nave espacial”, conceito desenvolvido pelos arquitetos no projeto do Orbis Hall, se vê envolvida por luzes radiantes dos “óvnis” no teto. Isso mostra a integração entre os projetos de arquitetura e de acústica, onde elementos do condicionamento acústico contribuem para uma boa arquitetura e os elementos arquitetônicos são criados de forma a melhorar o condicionamento acústico.

5.4.3. Materiais Difusores

Segundo Cox e D’Antonio (2004), o coeficiente de absorção foi durante anos ferramenta fundamental no projeto acústico, permitindo o conhecimento das características das superfícies a serem especificadas. Hoje, há a necessidade do conhecimento do coeficiente de difusão, em função de frequência, para avaliar a qualidade difusora das superfícies arquitetônicas.

Cox e D’Antonio (2004) afirmam que arquitetos devem ser capazes de caracterizar a performance das superfícies para fazer especificações. Dessa maneira, os coeficientes de difusão já estão influenciando o projeto de alguns ambientes, sem se prender aos difusores de Schroeder⁶, mas buscando formas novas, inclusive curvas.

Fricke (2000) afirma que há uma tentativa de avaliar a importância da difusão sonora nos ambientes e que os tratamentos das superfícies são os principais responsáveis pela difusão e não os assentos, ou o formato do ambiente. Afirma também que as propriedades difusoras dessas superfícies estão relacionadas com a avaliação visual das descontinuidades nas superfícies.

⁶ Também denominados Difusores Residuais Quadráticos (QRD), os difusores de Schroeder são elementos com cavidades paralelas separados por finas paredes, com profundidades variáveis, conforme residuais de seqüências quadráticas (BERANEK, 2004).

Em uma sala de concertos, a orquestra consegue produzir energia sonora até um certo limite de nível sonoro. Por isso não é desejável que se perca energia sonora no ambiente. Assim, os projetistas devem optar por superfícies difusoras ou refletoras e não absorvedoras, para que não se perca energia sonora. Um difusor dispersa a reflexão temporal e espacialmente. O som refletido é mais fiel ao som direto original e com menos coloração. Os difusores também removem o efeito de focalização do som enquanto preservam a energia sonora (COX e D'ANTONIO, 2003).

Superfícies irregulares, com formas e tamanhos variados num mesmo elemento, funcionam como difusores. A estrutura do edifício pode contribuir para a difusão sonora através dos seus vários elementos, como as tesouras e colunas, se expostas (PIRN, 1999).

Nos séculos passados, a ornamentação estava presente nas paredes dos teatros de acordo com o estilo arquitetônico corrente, assim, as paredes eram naturalmente difusoras. Grandes superfícies lisas e planas eram raras. No século XX, no entanto, as tendências arquitetônicas mudaram e grandes extensões de superfícies planas apareceram nos teatros. O estilo moderno ditava a produção de espaços limpos e linhas retas, porém essas superfícies possuíam pouca ou nenhuma capacidade difusora (COX e D'ANTONIO, 2003).

Difusores podem ser fabricados de diversos materiais, desde que refletores e não absorventes, como vidro, concreto, gesso, metal e madeira. Difusores de Schroeder (Figura 5.15 (f)), ou difusores de resíduo quadrático, consistem de uma série de relevos de diferentes profundidades, de 10 a 40 cm em geral, separadas por painéis estreitos (PIRN, 1999).

Os difusores são usados em espaços pequenos para dispersar reflexões que poderiam chegar cedo e em alta intensidade, causando coloração ao timbre sonoro. Com os difusores de Schroeder o tratamento acústico impôs uma estética visual distinta. A maioria dos arquitetos prefere criar seu próprio desenho para os difusores. Ainda que seja necessário para o tratamento acústico, um difusor que não corresponda esteticamente ao projeto não será usado pelo arquiteto. No projeto de difusores acústicos, devem-se encontrar formas que complementem o estilo arquitetônico contemporâneo, não só

atendendo as especificações acústicas, como dialogando com a composição desejada pelo arquiteto. Alguns modelos de difusores são apresentados na Figura 5.15.

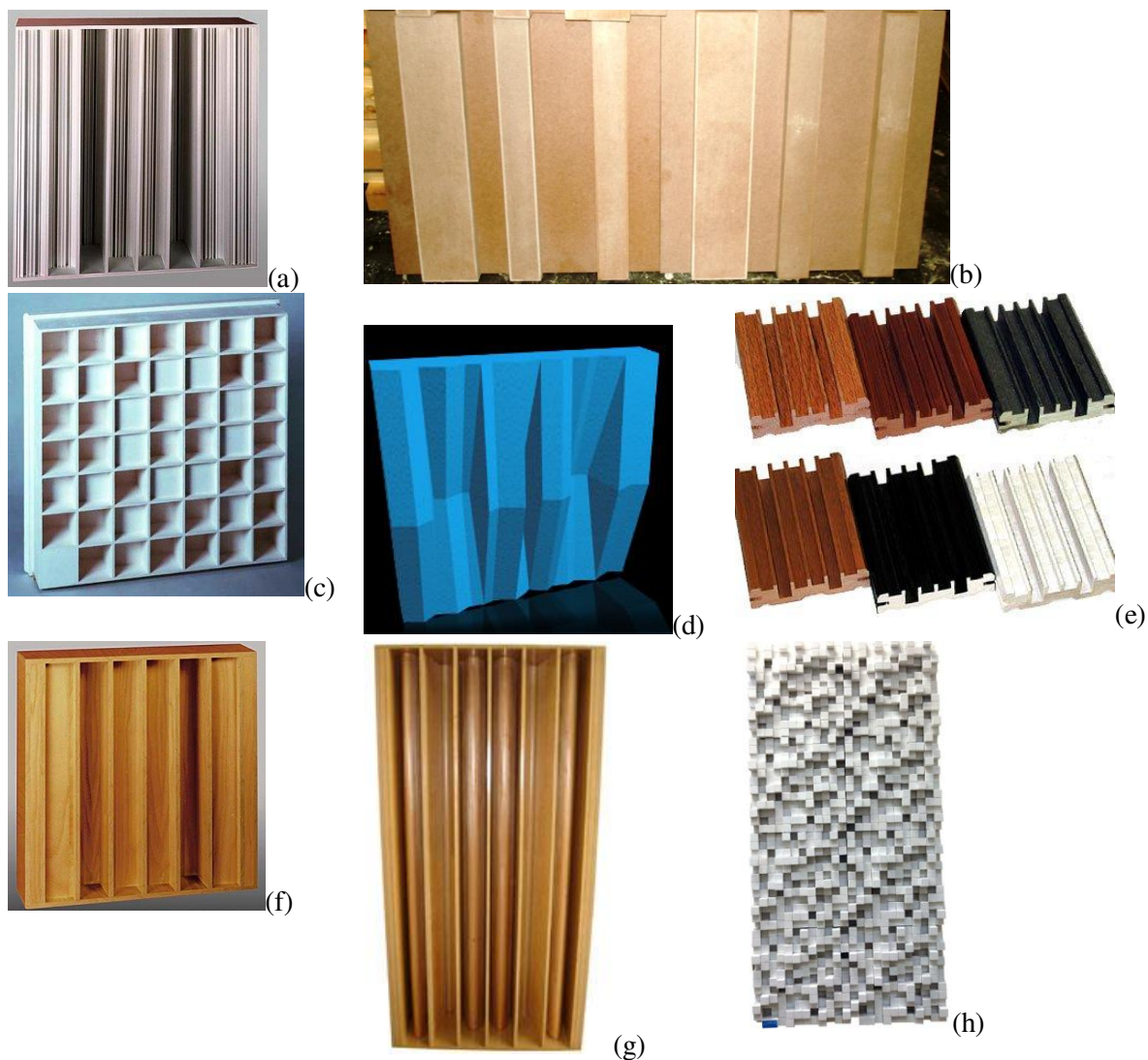


Figura 5.15: Difusores acústicos

Fonte: <http://www.jocaviacousticpanels.com/pt/produtos/dif.effectfuser/>

5.4.4. Materiais para Isolamento Acústico

O isolamento acústico está relacionado não só aos materiais empregados, mas ao sistema construtivo e a combinação de materiais pesados com materiais de absorção. A privacidade em ambientes fechados implica que o som produzido no ambiente não seja

transmitido ao adjacente. Segundo Tocci (1999), a privacidade está relacionada ao nível de ruído de fundo, à potência da fonte sonora, à quantidade de absorção sonora da sala receptora, à relação de tamanho entre as duas salas (quanto maior a sala receptora, menor será o sinal recebido) e às características de transmissão sonora do elemento que divide os dois espaços.

A forma de construção também é importante para o isolamento acústico. As frestas devem ser eliminadas, pois o som passa através de qualquer mínima abertura. Quando se usa painéis de gesso acartonado, a instalação deve ser feita de maneira que as juntas não coincidam e que não haja lacunas entre a parede e o piso. Deve-se evitar a coincidência da posição de tomadas nas duas faces de uma parede para que o som não passe por elas de um ambiente para outro.

A construção de paredes duplas com um espaço de ar entre elas ou com este espaço preenchido por material absorvedor faz com que a isolação seja melhor, quanto maior a espessura da cavidade (EGAN, 1988) (Figura 5.16). O isolamento acústico proporcionado pelo sistema de painéis duplos de gesso acartonado pode ser muito superior ao da alvenaria tradicional. As paredes construídas segundo essa tecnologia, utilizando estrutura com perfis de 48 mm e uma chapa com 12,5 mm de cada lado, perfazendo cerca de 75 mm de espessura, com uma camada de lã mineral em seu interior, pode proporcionar um isolamento expressivo de 42 a 44 dB⁷. Uma parede feita em alvenaria de tijolos baianos, com 120mm (quase o dobro da espessura do painel descrito anteriormente), isola cerca de 39dB⁷.

⁷ Dados de um fabricante de painéis de gesso acartonado.

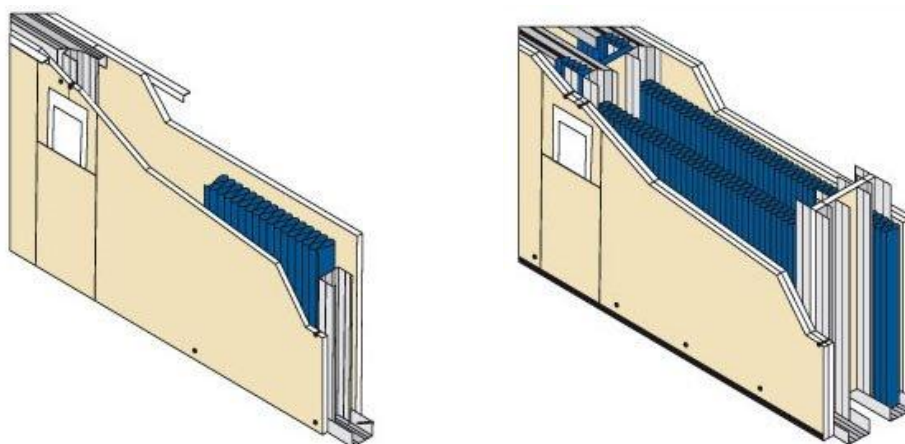


Figura 5.16: Painel duplo de gesso acartonado.

Fonte: <http://www.knauf.com.br/>

No entanto, de nada adiantará todo um isolamento nas paredes, se o som pode passar pelo forro, pelo efeito *flanking*⁸ (Figura 5.17 (a)). Assim, as paredes devem chegar até a laje, impedindo a passagem do som de um ambiente para o outro. Para evitar a passagem dos sons por cima do forro, podem ser utilizados septos, fechando o espaço entre as paredes e o teto (Figura 5.17 (b)).

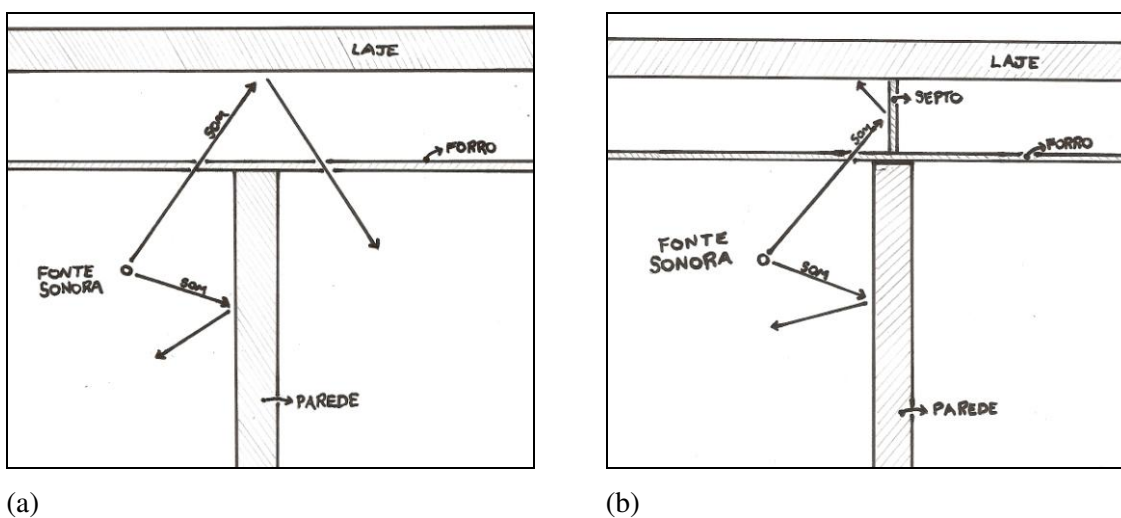


Figura 5.17 (a): Flanking entre parede e teto. (b): Septo entre parede e teto, impedindo o flanking.

Fonte: Ilustração da autora.

⁸ Flanking, conforme Morfey (2001), é a transmissão de energia acústica por atalhos que ignoram a separação de dois ambientes.

A relação do ambiente no contexto do edifício pode determinar a necessidade de espaços de transição ou antecâmaras, a fim de evitar interferência acústica. Como camadas de ar contribuem para o isolamento acústico, espaços adjacentes às áreas sensíveis podem ser utilizados como grandes faixas isolantes. Os sistemas hidráulicos e de ar condicionado também devem ser projetados a fim de evitar a transmissão dos ruídos devido ao seu funcionamento.

Materiais resilientes, como borrachas, são utilizados como isolador de vibrações, suportando pisos flutuantes ou equipamentos ruidosos. Com relação aos pisos/ lajes dos edifícios, deve-se considerar a atenuação de sons aéreos e de impacto. Lajes construídas de materiais pesados, como concreto, atenuam bem os sons aéreos, porém, são facilitadoras de transmissão de sons de impacto, principalmente se a superfície do piso é rígida, o que pode ser melhorado com o uso de carpete.

Tocci (1999) indica maneiras de atenuar os ruídos de impacto de lajes-pisos, como a instalação de material absorvedor na cavidade entre piso/ forro e instalação de forro de painel duplo de gesso acartonado com apoios de material resiliente, com material absorvedor entre o piso e o forro. O conjunto deve ser projetado para evitar o *flanking* e o contato entre os elementos estruturais.

A criação de lajes-flutuantes é uma solução estrutural contra vibrações e ruídos de impacto, em que é colocado um material resiliente entre o piso e a laje, como ilustrado na Figura 5.18 (a). Hoje infelizmente, as construtoras de edifícios buscam cada vez mais a redução de custos na construção de edifícios residenciais, deixando de lado soluções com essas, que encarecem a obra, mas que melhoram significativamente a qualidade acústica do ambiente.

Neoprene (Figura 5.18 (b)) é a combinação de uma fatia de borracha expandida sob alta pressão e temperatura, que quando vulcanizada é revestida com tecido dos dois lados

ou de apenas um lado. Suas principais características são: flexibilidade, elasticidade, resistência e proteção térmica⁹.

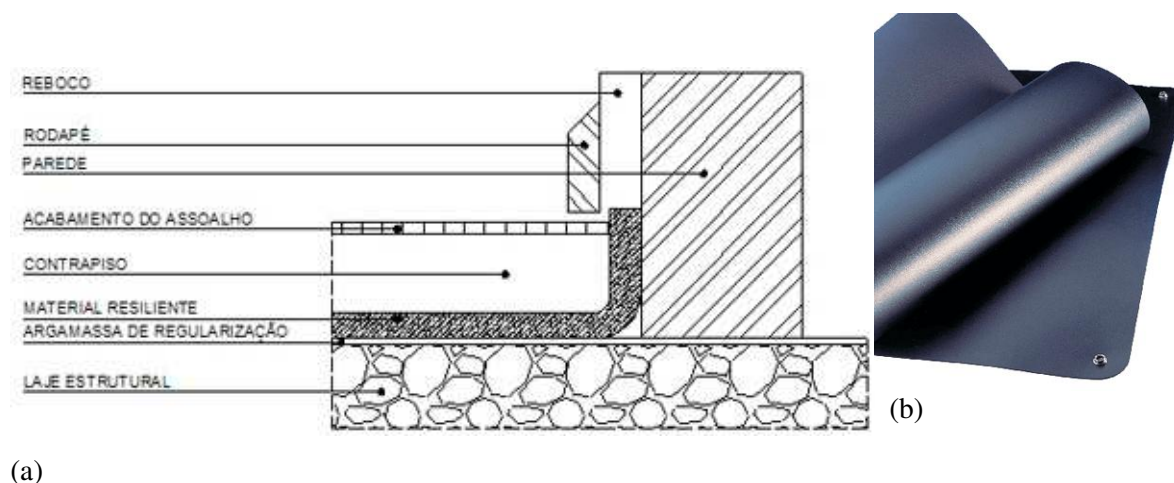


Figura 5.18 (a): Sistemas de laje/ piso flutuante. (b): Rolo de borracha tipo neoprene.

Fonte (a): GERGES, 1992.

(b): <http://www.kaisertech.co.uk/acatalog/Products>

5.4.5. Mobiliário e Layout

O layout, ou seja, o posicionamento da mobília de um espaço, ou de maquinário, no caso de um ambiente fabril pode contribuir para a redução de ruído. É importante que as fontes sonoras sejam localizadas afastadas de superfícies refletoras (MEHTA *et al.*, 1999). A Figura 5.19 representa o galpão de uma fábrica em que o maquinário foi posicionado afastado das paredes, a fim de evitar uma maior intensificação do ruído.

⁹ Conforme fabricante Neoprene Brasil: <http://www.neoprene.com.br/produtos.htm>

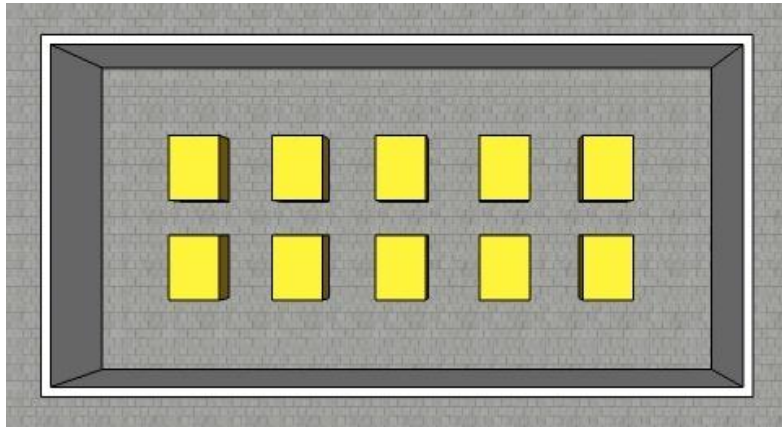


Figura 5.19: Posicionar as fontes de ruído mais ao centro do ambiente, longe das superfícies refletoras.

Fonte: Desenho da autora, segundo Mehta *et al.*, 1999.

Em grandes teatros, salas de concerto e auditórios, a escolha correta das poltronas é um item importante do projeto. Elas podem ser feitas especialmente para absorver o equivalente aos corpos dos espectadores. Isso é feito para que, nos ensaios, os artistas percebam com o ambiente vazio o mesmo efeito sonoro do ambiente cheio, ou com apenas metade das cadeiras ocupadas. As Figuras 5.20 (a) e (b) mostram, respectivamente, as poltronas especiais do Barbican's Concert Hall, em Londres e as poltronas da Sala São Paulo, em São Paulo.

A distância ideal entre as poltronas é de 0,95m, em média (Mehta *et al.*, 1999). Estas devem ser posicionadas de maneira que proporcione aos espectadores uma linha de visão desobstruída. Mehta *et al.* (1999) recomendam que as poltronas sejam revestidas de tecido, e que sejam evitadas as revestidas com plástico ou couro.

A platéia é responsável pela maior parte da absorção sonora em um auditório ou sala de concerto. Segundo Mehta *et al.* (1999), quando o som caminha com um ângulo pequeno sobre a platéia, é mais absorvido do que se a mesma onda sonora viaja em um ângulo de incidência maior. Por isso, a absorção da audiência é maior em auditórios planos.



(a) Poltronas do Barbican's Concert Hall, Londres



(b) Poltronas da Sala São Paulo.

Figuras 5.20 (a) e (b): Poltronas especiais.

Fontes: (a): <http://www.kirkegaard.com/index.php/archives/1493>

(b): www.salasaopaulo.com.br

5.5. Mecanismos de Variabilidade Acústica

A maioria dos espaços de apresentações construídos atualmente deve possuir caráter multifuncional, para que sejam viabilizados economicamente. Esses espaços devem permitir desde palestras até concertos musicais. A responsabilidade dos projetistas é grande, desde o desenho do espaço para diversas atividades, até o ajuste acústico para cada uma delas. A execução de um bom auditório multiuso depende do conceito do projeto, do orçamento disponível e da segurança do auditório.

Um espaço multifuncional deve permitir que o tempo de reverberação possa ser alterado. Isso pode ser obtido de duas maneiras: variando o volume ou as características das superfícies do ambiente. Quando o tempo de reverberação deve ser flexível para atender a

diferentes tipos de atividades, o tratamento das superfícies pode ser projetado para permitir ora absorção, ora reflexão dos sons. Cavanaugh e Wilkes (1999) e Egan (1988) sugerem o uso de cortinas absorventes sonoras recolhíveis ao longo das paredes. Quando estendidas, o tempo de reverberação da sala é diminuído através da absorção. Quando recolhidas e escondidas, a quantidade de reverberação da sala aumenta, pois ficam expostas paredes refletoras.

Segundo Egan (1988), os ouvintes conseguem perceber mudanças no tempo de reverberação a partir de 0,1s. A Figura 5.21 mostra alguns mecanismos para variabilidade de absorção/ reflexão das superfícies.

O volume da sala também pode ser variável, caso sejam acoplados espaços adjacentes ou instalado um mecanismo de forro móvel, como acontece na Sala São Paulo (Brasil), no Edwin Thomas Hall (Ohio, EUA) e no Jesse Jones Hall (Texas, EUA). As Figuras 5.22, Figura 5.23 e Figura 5.24 mostram esquemas de como funciona o sistema de variabilidade do volume (EGAN, 1988).

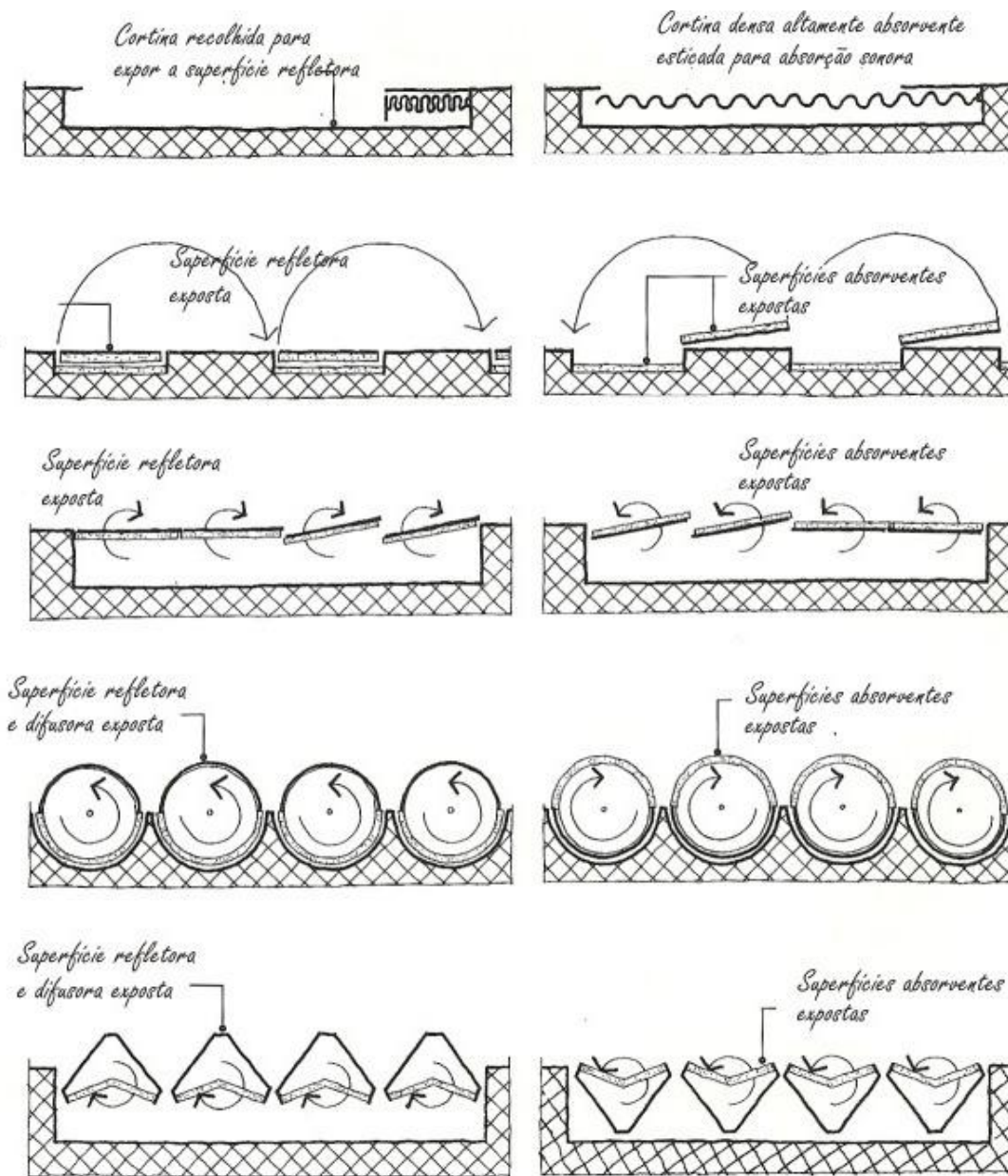
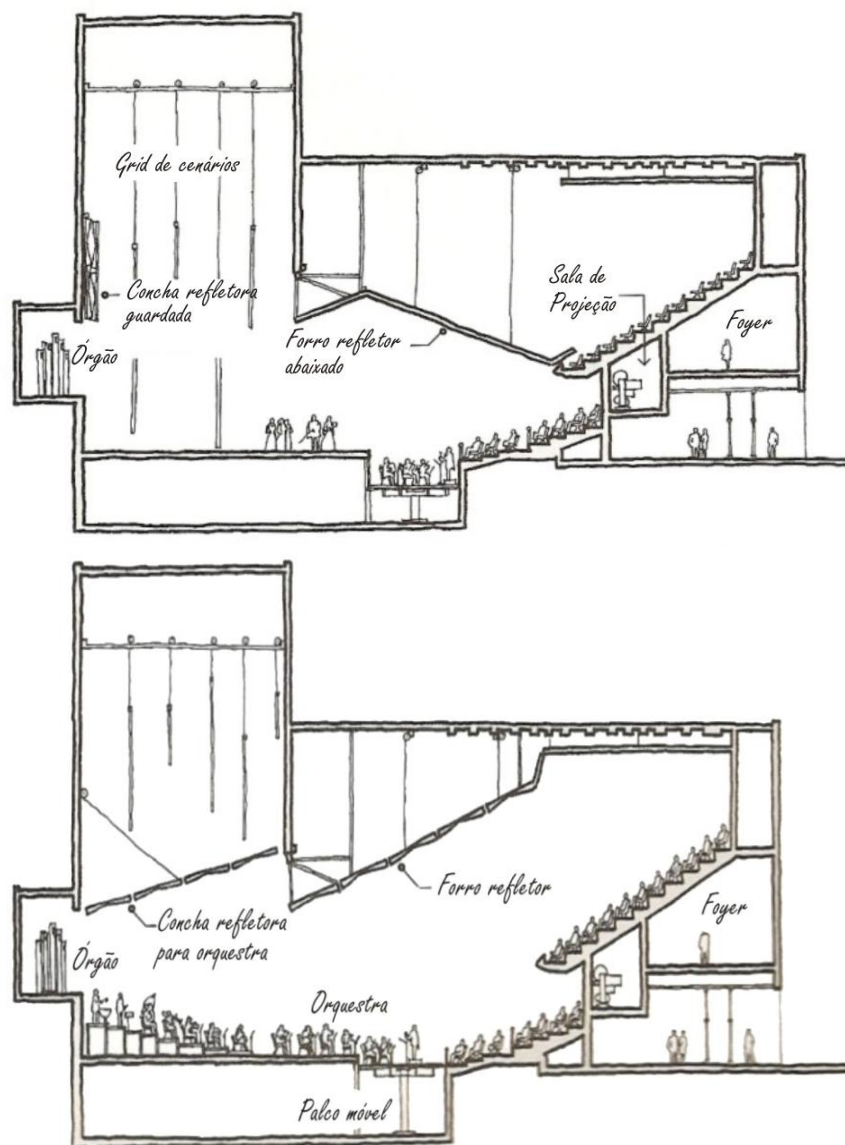


Figura 5.21: Sistemas flexíveis de controle de reverberação sonora

Fonte: Mehta et al., 1999.



Figuras 5.22 (a) e (b): Sistemas flexíveis de controle de reverberação sonora através da variação do volume.

Fonte: Mehta et al., 1999.

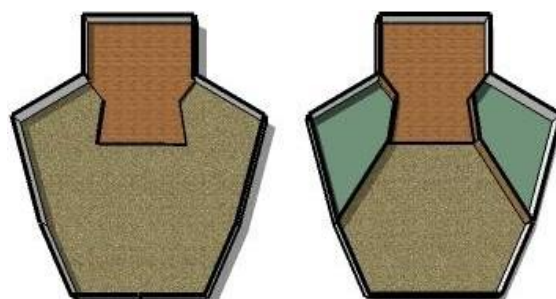


Figura 5.23: Sistema de controle de reverberação por acoplamento de volumes.

Fonte: Desenho da autora.

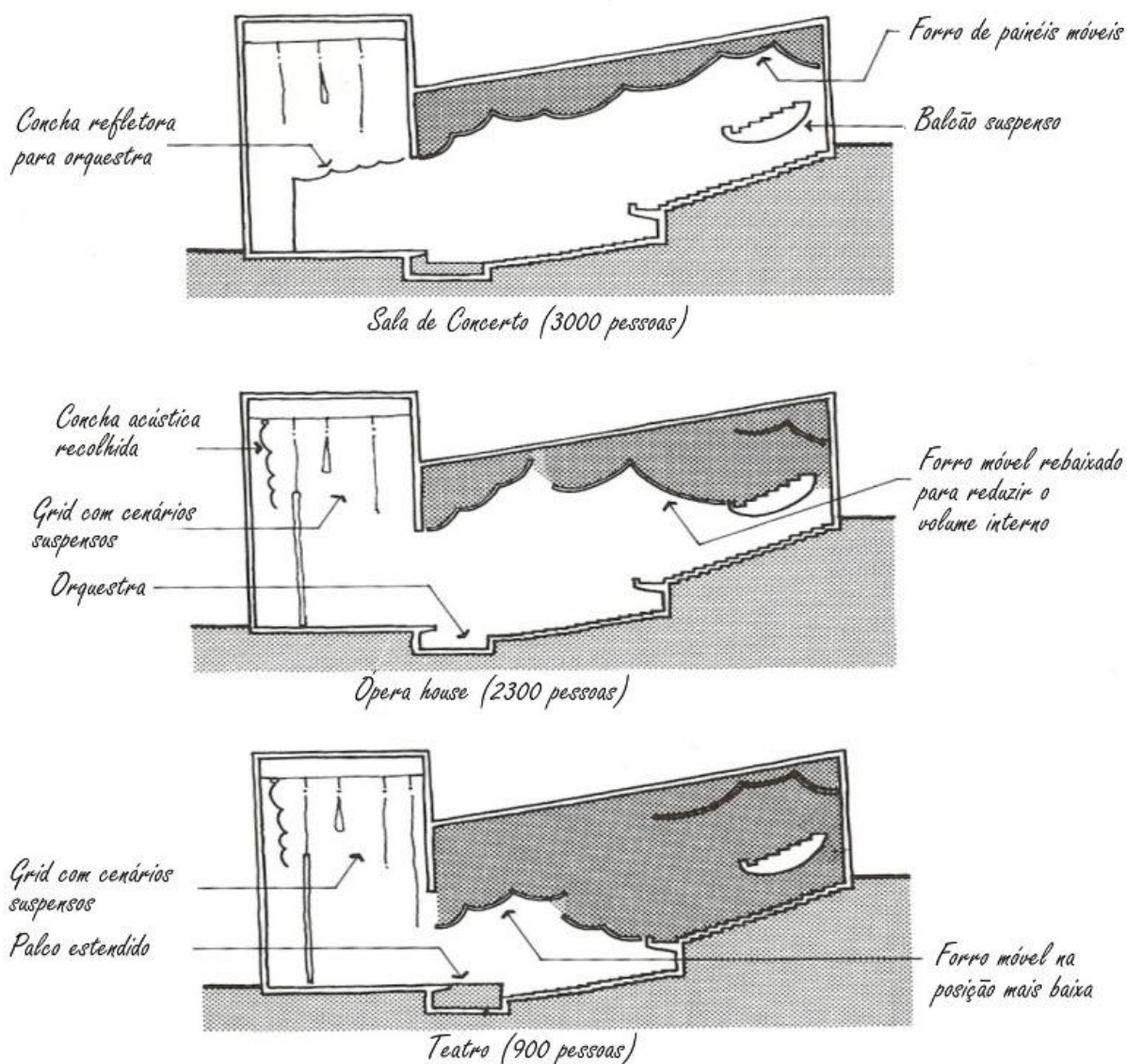


Figura 5.24: Sistemas de forro móvel do Thomas Hall, Ohio, EUA.

Fonte: Egan, 1988.

Para dramatizações, o espaço é diminuído para criar maior intimidade entre os artistas e a platéia. Para concertos musicais, a parte superior do palco é fechada com uma concha refletora (Figura 5.25). Quando não utilizada, porém, essa concha deve ser guardada de forma que não atrapalhe o funcionamento dos bastidores do palco.

O palco pode também receber uma concha acústica móvel, colocada atrás dos músicos sempre que houver apresentações musicais. Isso permite evitar que o som “vaze”

para a parte superior ou de trás do palco, direcionando o som para a platéia, além de facilitar a comunicação entre os músicos e seus instrumentos no palco (chamado retorno).



Figura 5.25: Concha acústica refletora para orquestra.

Fonte: <http://www.kirkegaard.com/index.php/archives/1493>

No entanto, só a variabilidade do tempo de reverberação não é o suficiente para tornar um espaço multifuncional. A possibilidade de modificação do layout da platéia, palco e número de espectadores permite maior flexibilidade de uso. Um exemplo de grande flexibilidade no layout é o Orbis Hall, no Japão.

O Orbis Hall pode abrigar uma grande variedade de eventos, tais como teatro, palestras, shows, desfiles de moda, concertos musicais, entre outros. Para que o espaço permitisse essa grande diversidade de usos, foi elaborado um sistema de piso móvel, com todos os assentos removíveis. Existem dois tipos de assentos: um pode ser estocado no espaço abaixo do piso e o outro tipo possui rodinhas, podendo ser movido até o depósito, o que proporciona cinco diferentes modelos de layouts, como é ilustrado na Figura 5.26.

Para que todo o ambiente tivesse um nível de pressão sonora uniforme e diminuir o IACC, refletores foram instalados dos dois lados do palco do Orbis Hall, de modo a estar em ângulo reto com relação aos assentos no salão. Esses refletores são absorventes de um lado e reflexivos do outro, podendo ser ajustados conforme a necessidade acústica, direcionando a reflexão sonora. Podem ser posicionados como a ocasião exige, no sentido de um corte transversal do palco, de forma que o som refletido se propague numa

determinada direção, no sentido da platéia. Esses mecanismos de variabilidade também alteram visualmente a sala, podendo ser mudados não só as características acústicas, como cores, texturas, dimensões, sensação de aconchego, entre outros.

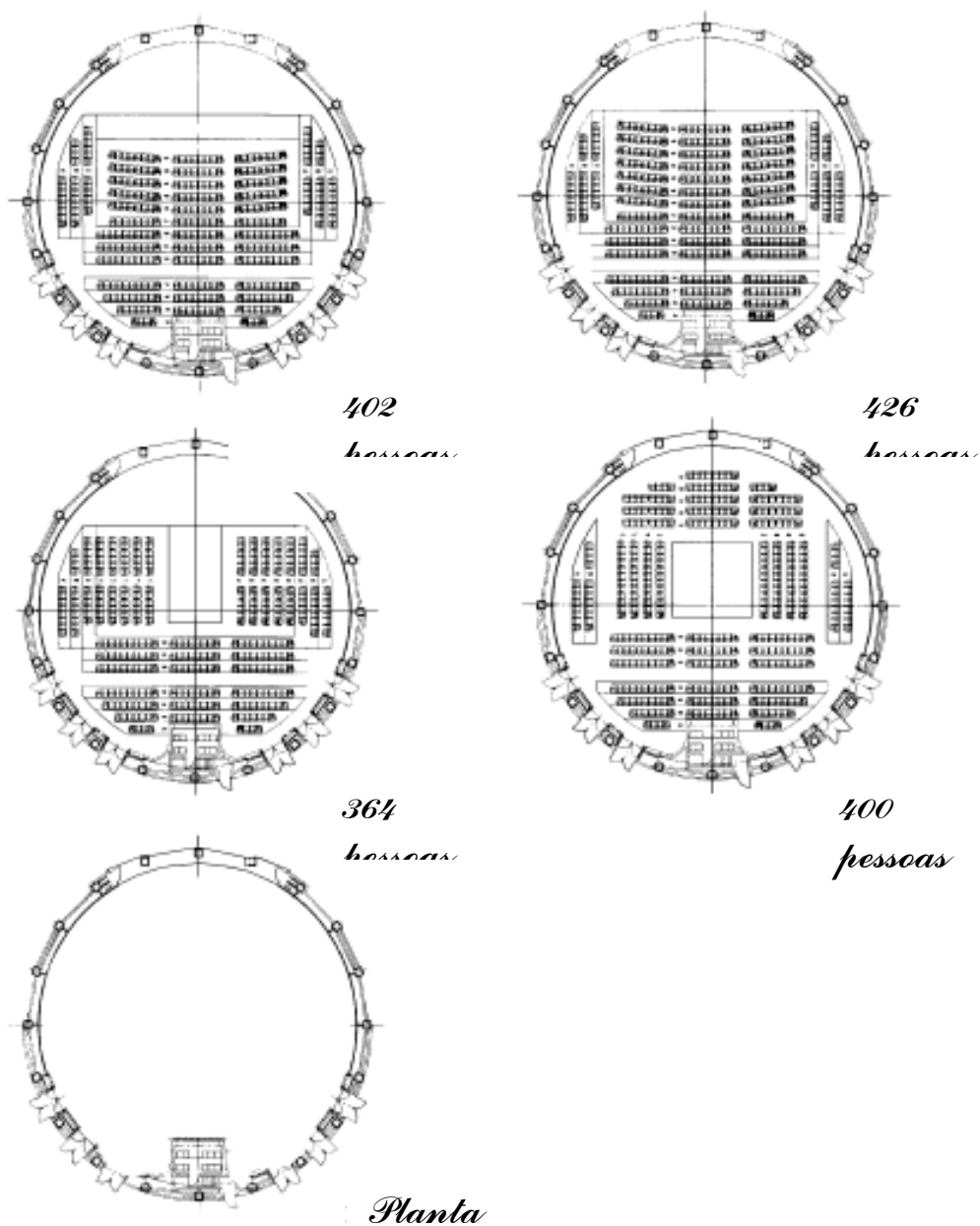


Figura 5.26: Flexibilidade de layout do Orbis Hall, Kobe, Japão.

Fonte: Ando *et al.*, 1998.

A principal diferença entre teatros e auditórios é a necessidade de um palco fechado para os teatros. O palco mais comum é aquele com proscênio¹⁰, em que os espectadores assistem à performance através da boca de cena. Há inúmeros requisitos funcionais para um palco. O primeiro deles é que haja altura suficiente acima do palco para que possam ser pendurados vários equipamentos de iluminação, cortinas e cenários (Figura 5.27).

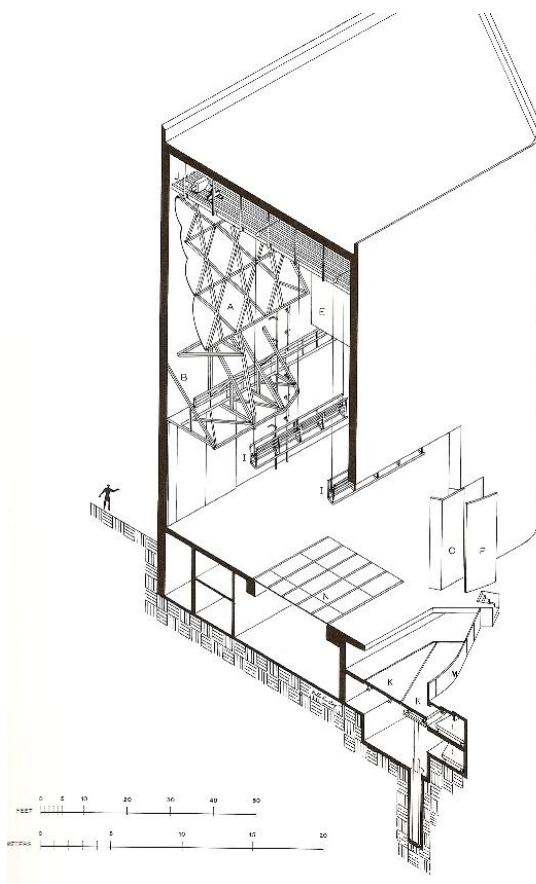


Figura 5.27: Palco para teatros.
Fonte: Izenour, 1996.

É interessante também que o palco seja tenha mobilidade vertical automática, para que pianos, cenários e até artista possam subir ou descer para a parte abaixo do palco, permitindo uma grande variedade de efeitos durante os espetáculos. É desejável que o espaço abaixo do palco tenha um fosso de no mínimo três metros de profundidade. Caso a apresentação teatral seja acompanhada por uma orquestra, como nas óperas, essa estratégia permite a criação de uma cavidade à frente do palco para acomodá-la.

¹⁰ Parte anterior do palco, que avança desde a boca de cena até seu limite de separação da platéia.

6. ESTUDO DE CASOS

Até o capítulo anterior, acústica e arquitetura contemporânea foram examinados em seus conceitos e contextos históricos. Procurou-se enfatizar a importância da qualidade acústica nos espaços e da aplicação de métodos no processo de projeto arquitetônico, para que essa qualidade seja alcançada.

Os materiais e métodos propostos nessa pesquisa visam verificar a influência da busca da qualidade acústica no processo de projeto da arquitetura contemporânea. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em duas grandes etapas: coleta de dados e estudos de caso.

A coleta de dados consistiu na pesquisa bibliográfica e documental sobre o tema abordado, com o levantamento de referências teóricas como livros, teses, dissertações, artigos científicos, e de outras fontes diversificadas como jornais, revistas, web sites, entre outros. Buscou-se aprofundar o embasamento teórico pela averiguação de estudos realizados sobre o tema no Brasil e no exterior.

Inicialmente, foi realizado um levantamento histórico-conceitual da arquitetura contemporânea e dos métodos de projeto estudados nos últimos anos. Nesta fase do trabalho, buscou-se entender como os aspectos técnicos dos edifícios eram abordados no processo de projeto arquitetônico, desde o modernismo até a arquitetura contemporânea. Em seguida, foi realizada a fundamentação acústica e a identificação dos parâmetros acústicos que, aplicados ao projeto arquitetônico, exercem influência na composição dos edifícios, desde sua forma e volume até as questões de acabamento interno. A etapa de revisão bibliográfica foi finalizada com uma associação entre os quesitos arquitetônicos e acústicos.

Para a verificação da relação entre os aspectos acústicos e de processo de projeto, foram escolhidas algumas salas de concerto contemporâneas já construídas, estabelecendo-se assim a etapa de estudos de caso. Yin (2001) afirma que a metodologia de estudo de caso

deve ser utilizada quando se pretende conhecer as características de eventos da vida real, e é relevante quando a pesquisa deseja responder a questões de “como” e/ ou “por que” alguns fenômenos acontecem. Na presente pesquisa, os estudos de casos buscam responder à questão de como os conceitos acústicos interferem no projeto arquitetônico dos espaços contemporâneos. Ainda segundo Yin (2001), o estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos quando não é possível manipular comportamentos relevantes.

Nesse sentido, a escolha das obras para estudo de caso foi pautada pela identificação de aspectos pertinentes ao tema, tais como estilo arquitetônico contemporâneo e uma grande preocupação com a qualidade acústica durante a fase projetual. Optou-se por delimitar o estudo a salas para música, pela maior disponibilidade de informações na literatura sobre projeto, construção e características acústicas, possibilitando a análise comparativa dos espaços estudados.

A opção de se fazer uma análise de caráter qualitativo definiu o número de casos a serem estudados. Segundo Demo (2000), a pesquisa qualitativa é caracterizada pelo abandono da representatividade estatística das pesquisas empíricas e controladas, e permite analisar os casos com acuidade científica, percebendo a intensidade e não somente a extensão dos fenômenos.

6.1. Protocolo para os Estudos de Caso

As salas de concertos escolhidas foram a Sala São Paulo, a Casa da Música, o Centro de Mídia Experimental e Artes Performáticas (EMPAC) e a Walt Disney Concert Hall. Essas obras foram escolhidas pelo seu caráter cultural diversificado, por serem edifícios representativos da arquitetura contemporânea e pela forte importância dos requisitos acústicos no processo de projeto. Cada uma das salas de concerto possui singularidades que se mostraram interessante para serem analisadas neste trabalho.

A *Sala São Paulo* foi inaugurada em 1999, na cidade de São Paulo, no Brasil, resultado do trabalho da equipe do arquiteto Nelson Dupré e da empresa americana de consultoria acústica, Artec. É orgulho nacional em espaços para música clássica e referência internacional em qualidade e variabilidade acústica. Apesar de ter sido concebida dentro de um edifício de estilo eclético, o projeto da Sala São Paulo estabelece um diálogo adequado com o espaço existente, além de preservar e valorizar as características do edifício antigo, respondendo a uma demanda muito presente na arquitetura contemporânea: a revitalização.

A *Casa da Música*, projetada pelo escritório OMA do arquiteto holandês Rem Koolhaas e consultoria acústica da empresa TNO Eindhoven, é um edifício de extrema representatividade para a arquitetura contemporânea, não só pela estrutura e tecnologia empregadas, mas também pela abordagem de materiais e manipulação dos espaços. Inaugurada em 2005, foi concebida para ser um marco arquitetônico oficial da cidade do Porto, em Portugal, projetada exclusivamente para atividades musicais.

O *Centro de Mídia Experimental e Artes Performáticas - EMPAC* é um complexo para performances artísticas e pesquisa em artes e mídia, localizado na Universidade Rensselaer Polytechnic Institute, em Troy, nos EUA e inaugurado em 2008. Projetado pelo escritório de arquitetura de Nicholas Grimshaw e consultoria acústica da empresa Kirkegaard Associates, o EMPAC é uma das referências mundiais em tecnologia e qualidade acústica.

O arquiteto Frank Gehry surpreende ao projetar a *Walt Disney Concert Hall*, em Los Angeles, nos EUA, em extrema parceria com os consultores acústicos da empresa Nagata Acoustics, criando a sala de concertos de dentro para fora, conforme as exigências acústicas iam sendo apresentadas. A obra foi iniciada em 1988, sendo inaugurada somente em 2003. O edifício provoca surpresa aos olhos e aos ouvidos, resultado de um esforço colaborativo de uma grande equipe.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas e documentais para o levantamento de referências teóricas e o conhecimento de estudos realizados sobre as obras. Foi efetuada

pesquisa de campo, através de visitas técnicas à Sala São Paulo, na cidade de São Paulo - Brasil, e à Casa da Música, na cidade do Porto - Portugal. Um questionário foi elaborado para entrevistas com os projetistas e consultores acústicos dos estudos de caso. No entanto, obteve-se resposta apenas da empresa Kirkegaard Associates, consultora acústica do EMPAC, por meio de Zackery Belanger, consultor acústico. O questionário aplicado está transcrito no apêndice.

Devido aos objetivos da pesquisa e a limitações de ordem prática, optou-se pelo trabalho com fontes secundárias, ou seja, os dados de medições acústicas das salas foram extraídos de estudos realizados por outros pesquisadores, referenciados ao longo do texto. Por meio dos parâmetros objetivos medidos *in loco* por estes pesquisadores, as salas puderam ser comparadas acusticamente. As metodologias de medição dos parâmetros de cada sala são apresentadas ao longo do Capítulo 6.

As informações obtidas para os estudos de caso foram importantes para a investigação dos principais aspectos do objeto de estudo, verificando como acústica e projeto arquitetônico dialogam em situações reais. Para a apresentação dos resultados, no Capítulo 6, e posterior análise, no Capítulo 7, buscou-se uma uniformidade na linha de pensamento, analisando todas as obras que compõem o estudo de caso sob cada um dos aspectos propostos na revisão bibliográfica dessa pesquisa, como critérios de julgamento: implantação, forma, dimensões e volume, materiais, mecanismos de variabilidade acústica, além das metodologias de projeto aplicadas em cada um dos casos, pelas respectivas equipes de projetistas. Todos esses aspectos são explorados sob o olhar dos conceitos acústicos, buscando observar como eles foram abordados nos projetos estudados. Os dados acústicos disponíveis de cada sala de concerto são apresentados ao longo do Capítulo 6.

A análise dos resultados, apresentada no Capítulo 7, examina as soluções apresentadas para cada aspecto nas salas de concertos em questão, fazendo um comparativo. Para essa análise, considerou-se apenas a sala de concerto principal de cada edifício. Os dados acústicos dessas salas são analisados e comparados por meio de tabelas e gráficos em função de frequência, elaborados com os parâmetros disponíveis comuns a todas as salas de concertos analisadas. Os parâmetros usados foram: Tempo de

Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Clareza (C80), relacionado à música.

Até a finalização desta pesquisa, não estavam disponíveis nas publicações do meio científico nenhum trabalho que apresente os parâmetros acústicos da sala de concertos do EMPAC, por ser uma obra muito recente (outubro de 2008). Obteve-se contato por email com a empresa consultora responsável (Kirkegaard Associates) e com o diretor do EMPAC, Sr. Johannes Goebel, porém as medições acústicas da sala de concertos do EMPAC estavam sendo realizadas no mesmo período em que se dava a finalização dessa dissertação. Dessa maneira, esta sala não aparece nos gráficos apresentados.

Por fim, uma tabela foi elaborada ao final do Capítulo 7, relacionando parâmetros acústicos objetivos com os parâmetros acústicos subjetivos e as respectivas estratégias arquitetônicas para atendê-los, a partir da análise dos dados levantados na revisão bibliográfica e nos estudos de caso, para uma visualização sintetizada.

Optou-se por apresentar cada obra individualmente. Inicialmente, é feita uma apresentação geral do projeto, com sua história, seu programa e as características gerais do edifício. Em seguida, são identificadas as estratégias projetuais utilizadas para a obtenção da qualidade acústica em cada obra, segundo os aspectos de implantação e meio urbano, forma, dimensões e volume, materiais, mecanismos de variabilidade acústica e metodologia projetual. Os dados acústicos disponíveis de cada sala são então apresentados para posterior análise comparativa, realizada no Capítulo 7.

6.2. Sala São Paulo

A Sala São Paulo está instalada na antiga estação de trens da Estrada de Ferro Sorocabana, localizada no centro da capital paulista, onde hoje abriga uma estação de metrô e o Complexo Cultural Júlio Prestes. A revitalização do edifício de 1938, marcado pela ornamentação, buscou estabelecer um diálogo adequado com o espaço existente (conforme Figura 6.1), atendendo a uma demanda da sociedade contemporânea com um novo uso. Além disso, a revitalização promove a preservação do edifício tombado, por meio de sua ocupação.



Figura 6.1. Sala São Paulo
Fonte: www.salasaopaulo.com.br

6.2.1. Apresentação geral do projeto

Em meados do século XIX, a cultura cafeeira atinge o interior paulista e a expansão deste produto alteraria profundamente a base econômica do estado. Sua expansão, porém, fica condicionada às limitações do sistema de transporte existente e da capacidade operacional do Porto de Santos, para onde toda a produção era dirigida para ser exportada. Após a primeira Guerra Mundial, a importância do transporte ferroviário é intensificada, com o crescente número de passageiros, além do impulso econômico da lavoura de café. Tal crescimento impulsionou a construção de uma nova estação ferroviária para a Estrada

de Ferro Sorocabana, uma das maiores e mais importantes companhias ferroviárias na época.

Em 1925, Christiano Stockler das Neves foi contratado para o projeto da “Estação da Estrada de Ferro Sorocabana”, utilizando um estilo eclético, com elementos clássicos e linhas conservadoras, princípios estabelecidos pela Escola de Belas Artes de Paris (OLIVEIRA, 2005). Apesar de eclética, na obra foram utilizados ferro e concreto armado, conquistas tecnológicas modernas à época. A Figura 6.2 mostra a fachada da estação projetada por Christiano S. das Neves.



Figura 6.2. Projeto da Estação Júlio Prestes de Christiano Stockler das Neves.
Fonte: Architectura e Construcções, nº5, 1929, em DI MARCO, ZEIN, 2001.

A obra teve início em 26 de fevereiro de 1926, acompanhada pelo arquiteto durante o primeiro ano de execução. Mudanças administrativas levaram à interrupção da obra e, quando retomada posteriormente, novos conceitos foram adotados, sendo contrários ao projeto e à vontade do arquiteto, culminando em seu afastamento da obra em 1928. Finalmente, em 1938 e com severas mudanças com relação ao projeto original, a Estação é entregue ao público já com o nome de “Estação Júlio Prestes” (Figura 6.3), sem a finalização do grande hall.



Figura 6.3. Estação Júlio Prestes após revitalização.

Fonte: <http://www.al.sp.gov.br/porta/site/Internet/>

A não-realização do grande hall no centro da estação foi um dos motivos que levaram à saída do arquiteto. Mesmo após disputas judiciais, que visavam a obrigatoriedade da conclusão da obra conforme o projeto original, o espaço idealizado para a circulação de passageiros ficou anos sem cobertura, ocupado por um jardim. O grande hall seria destinado aos passageiros de primeira classe, com uma cobertura feita em vidro e em estrutura metálica.

Com a inadequada construção do Terminal Rodoviário na Praça Julio Prestes, iniciou-se um processo de profunda decadência urbanística da região. Em 1979, o terminal rodoviário é transferido para o atual Terminal Tietê e com isso, a região em decadência da Estação Julio Prestes, passa por uma desertificação urbana.

A partir dos anos 90, observam-se inúmeras revitalizações de estações ferroviárias pelo país, ganhando novos usos, mostrando a mudança de foco do transporte ferroviário para o rodoviário. A Estação Júlio Prestes continuava imponente, porém dentro daquele contexto de decadência. Na década de 90 a Estação Julio Prestes era utilizada para eventos como casamentos, desfiles de moda, jantares beneficentes e grandes festas. Várias tentativas de restauração foram feitas, mas que necessitavam de maior atenção e apoio governamental. Por outro lado, a Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo (OSESF), idealizada por Mário de Andrade e fundada por Souza Lima em 1953, ainda não possuía sede própria após cinquenta anos de atividade.

Em 1997, a Secretaria de Cultura do Estado de São Paulo contratou o maestro John Neschling para reestruturar a OSESP. O maestro propôs então uma lista de exigências, das quais a principal era a criação de uma sede para a orquestra. Buscando um local para este fim, vislumbrou-se que este local poderia ser a Estação Júlio Prestes.

Curiosamente, o grande hall inacabado da estação, conforme Figura 6.4, possuía dimensões e formato (caixa de sapatos) semelhante à Boston Symphony Hall e da Musikvereinsaal de Viena, consagradas salas de concerto existentes. A indefinição de uma cobertura no local permitiu o desenvolvimento de recursos importantes para a acústica da Sala São Paulo. O grande hall inacabado, tão combatido pelo arquiteto Christiano Stockler das Neves, viabilizou a adaptação a uma sala de concertos setenta anos mais tarde. A cobertura do grande hall foi finalmente construída seguindo as proporções do projeto original.

O projeto de revitalização da estação começou a ser elaborado em 1995, com as obras tendo início em 1997. Assim, em 1998 foi inaugurada a Sala São Paulo de Concertos, sede da OSESP, além da Secretaria de Estado da Cultura de São Paulo, no Complexo Cultural Júlio Prestes, por uma iniciativa do Governo do Estado de São Paulo, com o então governador Mário Covas.

A praça Júlio Prestes também foi revitalizada, com projeto da paisagista Rosa Grená Kliass, qualificando o espaço do transeunte. Constituída por mosaico português, arenito e paralelepípedos, a praça também possui duas fontes de água e um acesso para veículos, além de um jardim público. Uma linha férrea com trilhos e dormentes reais atravessa a praça, reforçando a importância da Estação Júlio Prestes como elemento inspirador.



Figura 6.4. Grande hall inacabado, local onde foi implantada a sala de concertos.

Fonte: <http://sampacentro.terra.com.br/textos.asp?id=109&ph=9>

A Estação Júlio Prestes foi então transformada em um equipamento vivo, com intensa atividade artística. Com capacidade para 1509 pessoas, a Sala São Paulo tornou-se uma das melhores e mais importantes salas de concerto da América Latina. O projeto foi elaborado pelo arquiteto Nelson Dupré e equipe, com a colaboração do engenheiro acústico e maestro Christopher Blair, o engenheiro Bernard Baudouin e José Augusto Nepomuceno, arquiteto especializado em acústica arquitetônica. Além da restauração foram feitas grandes modernizações para o novo uso, tais como instalações elétricas, hidráulicas, ar-condicionado, sistemas de prevenção a incêndios, além de novas escadas e elevadores. Há ainda o projeto de um órgão mecânico de acionamento por sopradores localizado logo atrás do palco e do coro.

A preservação das características originais do prédio era prioridade. O projeto arquitetônico optou por deixar expostos os elementos originais da estação, criando contraste com os novos elementos em madeira pau-marfim e em tecido azul escuro. O projeto seguiu a Carta de Veneza, com orientações internacionais para recuperação de espaços urbanos. Além dos materiais, o desenho dos balcões, passarelas e mezaninos contrastam com os elementos do traçado original da Estação Júlio Prestes.

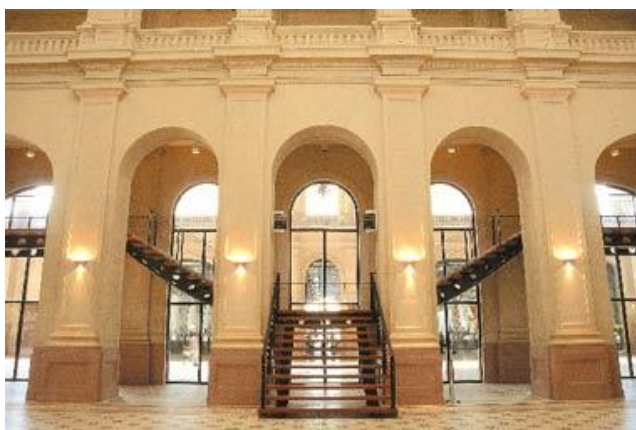
O aço foi utilizado nas passarelas e balcões, projetados de maneira que parecem estar soltos do edifício original. O metal ajudou na composição estética, pois não se associou visualmente à estrutura pré-existente, permitindo o vencimento de grandes vãos através de uma estrutura simples e de geometria nítida, Figuras 6.5. (b). Os antigos

escritórios da Sorocabana tornaram-se salas de ensaio e infra-estrutura para os músicos e funcionários da orquestras (DI MARCO, ZEIN, 2001).

A partir do hall da Sala São Paulo, é possível ver os passageiros chegando e saindo dos trens urbanos. Painéis de vidro foram utilizados para a separação do hall da Sala São Paulo e da plataforma de embarque/ desembarque da ferrovia. A transparência contribuiu para a unidade arquitetônica do prédio, que abriga as duas atividades, além de permitir o contato visual entre a grande massa que frequenta a estação todos os dias e a sala de concertos, estimulando a população a frequentá-la. O fechamento em vidro também foi feito a favor do isolamento dos ruídos dos trens, Figuras 6.5 (a).



(a) Isolamento com vidro, proporcionando a visão para a estação de trem.



(b) Os elementos metálicos deixam explícitas as novas intervenções.

Figuras 6.5. (a) e (b): Hall entre a sala de concertos e a estação de trem.
Fonte: DI MARCO, ZEIN, 2001

A Sala possui um “ piso técnico”, sustentado pelas treliças metálicas da cobertura de telhas isotérmicas de aço pré-pintadas, com espuma de poliuretano expandido, e policarbonato alveolar de 10 mm. No projeto da nova cobertura foram respeitadas as proporções de altura, no desenho definido pelo projeto original de Stockler das Neves, porém com solução construtiva atual. O policarbonato substituiu o vidro por seu menor peso, iluminando o piso técnico.

A arquitetura da Sala São Paulo possibilita a variação do volume e forma do teto, alterando suas características acústicas a partir do movimento das placas do forro móvel. É possível também fazer uma pequena alteração no tempo de reverberação e nos parâmetros acústicos da Sala São Paulo, sem que seu volume interno seja modificado, invertendo a posição das placas próximas ao palco, que possuem um lado refletor e o outro absorvedor sonoro. Além disso, as cortinas com elevado coeficiente de absorção sonora, posicionadas acima do teto móvel, podem ser estendidas para um fino ajuste acústico. Dessa maneira, a Sala São Paulo pode ser transformada de acordo com o estilo ou interpretação musical feita nesse espaço.

Conforme Nepomuceno em Di Marco e Zein (2001), mesmo que a Sala São Paulo tivesse um forro móvel corretamente dimensionado e todos os demais elementos fossem inadequados, a qualidade acústica seria muito inferior. A qualidade acústica desta e qualquer outra sala de concertos é obtida com uma série de elementos, compondo um conjunto de características acústicas.

6.2.2. Implantação e Meio Urbano

O isolamento dos ruídos externos era uma das principais preocupações na Sala São Paulo. A proximidade dos trilhos ainda ativos da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) representou um grande desafio de projeto. A disposição original do edifício com o grande hall na posição mais interna contribuiu para um progressivo isolamento acústico, potencializado pelo fechamento por portas e painéis acústicos e pela

sólida construção em concreto armado e espessa alvenaria de tijolos, organizada em anéis sucessivos.

A posição do grande hall também foi favorável para a conveniente disposição das antecâmaras de acesso do público, sem prejuízo à percepção espacial dos ornamentos arquitetônicos originais. Os ruídos da estação de trens ao lado, além dos ruídos externos, são isolados pelas grandes galerias que funcionam como uma grande camada de ar, como é mostrado na Figura 6.6. Nessas câmaras de acesso, as paredes laterais de alvenaria e os forros são cobertos por mantas de lã de vidro com 50mm de espessura sob chapas perfuradas com 18mm. Nos acessos à sala, as portas que fazem o fechamento são painéis almofadados formados por três placas intercaladas por câmaras de lã de vidro e de ar.



Figura 6.6. Antecâmara de acesso do público.

Fonte: DI MARCO, ZEIN, 2001

Ainda com o objetivo de isolar os ruídos e vibrações externos, foi elaborado um sistema de piso flutuante, em que todo o piso da sala de concertos é assentado sobre isoladores de neoprene, que consistem em discos ranhurados de 9cm de diâmetro e 5cm de altura. Estes discos foram testados segundo as normas de ruptura (ASTM D-412), resistência à tração (ASTM D-412) e rasgamento (ASTM D-624), entre outras (DI MARCO e ZEIN, 2001). Todo o piso e contrapiso da platéia é apoiado sobre os discos de neoprene, que foram apoiados em uma base de madeira compensada padrão naval.

Platéia, palco e balcões foram construídos isolados da estrutura principal da Estação, como estruturas flutuantes e independentes. As fundações do edifício tiveram que ser reforçadas para suportar as novas cargas. Foi criada uma parede diafragma entre o prédio e a garagem, na parte posterior, para a contenção da umidade devido à existência de lençol freático. Caso contrário, em função da porosidade do solo, recalques diferenciais poderiam surgir nas fundações (DI MARCO, ZEIN, 2001).

6.2.3. Forma

O formato “caixa de sapato” da sala de concertos já estava estabelecido pelo grande hall inacabado da Estação Sorocaba. Assim, coube aos projetistas o estudo da melhor distribuição da platéia e dos balcões naquele espaço, com a preocupação de conciliar os requisitos acústicos com a preservação da arquitetura existente. A composição estética do interior da Sala São Paulo era um dos pontos mais importantes, junto com a qualidade acústica, pois os novos elementos adicionados deveriam respeitar os elementos antigos.

A proposição inicial da empresa de consultoria acústica, Artec Consultants, Figura 6.7, baseava-se nas características formais tradicionais das principais salas de concerto do mundo. O rebaixamento da área central da platéia, contornada por um primeiro nível de arquibancada e um balcão superior contínuo em forma de meia elipse, semelhante à sala de Boston, foi proposto pela empresa Artec, que circundaria toda a Sala, atravessando as colunas. A proposta de um balcão contínuo, porém, ocultaria as bases e fustes das 32 colunas de capitéis coríntios, desvalorizando o edifício original e suas proporções verticais.

O arquiteto Nelson Dupré em conjunto com o corpo técnico do Condephaat concordou que, tratando-se de uma revitalização de um patrimônio histórico, era ainda mais marcante a necessidade da conciliação entre as exigências técnicas, funcionais e estéticas. Dessa maneira, a equipe do arquiteto Nelson Dupré preferiu uma solução onde os camarotes parecem flutuar entre as colunas originais da Estação Júlio Prestes, de capitel coríntio, estilo Luís XVI, ao invés de agredi-las. Na nova proposta, o balcão lateral foi

fragmentado ocupando os vãos entre as colunas e a área entre a platéia central passou a ser retangular, enfatizando esse formato em todo o hall, Figura 6.8. Evitou-se também a colocação de balcões próximos ao palco, preservando as arcadas do projeto original, permitindo uma melhor leitura do espaço antigo e do novo.



Figura 6.7. Perspectiva da proposta da Artec para a Sala São Paulo.
Fonte: DI MARCO, ZEIN, 2001.



Figura 6.8. Perspectiva da proposta de Dupré para a Sala São Paulo.
Fonte: DI MARCO, ZEIN, 2001.

O teto móvel faz com que o formato do hall seja modificado de acordo com as características acústicas necessárias a cada diferente espetáculo, o que será detalhado no item 6.2.6.

6.2.4. Dimensões e Volume

A sala de concertos é uma continuação lógica do conceito do prédio existente, com 48m de comprimento, 20m de largura, 22m de altura com o teto móvel posicionado na altura máxima e 4m de altura mínima a partir do nível do palco, situação em que os balcões do segundo nível ficam inutilizáveis. O volume da sala é variável conforme a posição das placas do teto móvel, podendo-se ajustar o tempo de reverberação e outros parâmetros acústicos. A audiência é disposta de platéia, platéia elevada, balcões (mezanino e segundo pavimentos), camarotes (primeiro e segundo nível) e coro, totalizando 1.509 assentos. A relação volume por pessoa pode variar de 5,1 a 16,5m³.

6.2.5. Materiais

Na Sala São Paulo, todos os materiais foram cuidadosamente dispostos buscando um equilíbrio entre as necessidades de reflexão e absorção acústica. Segundo Di Marco e Zein (2001), os projetistas trabalharam de forma que os requisitos acústicos fossem seu mote criativo.

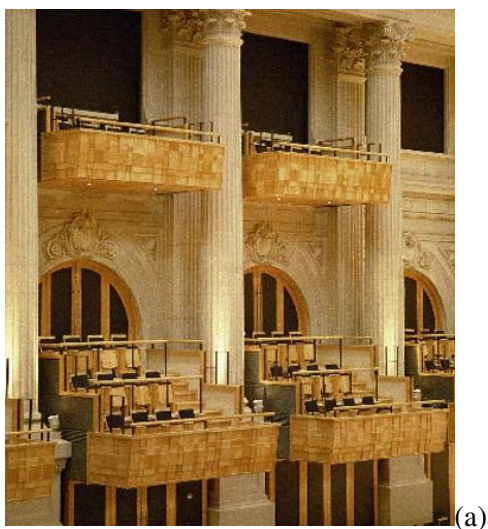
Os elementos arquitetônicos originais do grande hall já atuavam potencializando a difusão sonora. Alguns novos materiais foram agregados em função do novo projeto de revitalização, como compensado naval e madeira pau-marfim nas portas, painéis, pisos, cadeiras, revestimento dos balcões e freijó no palco. O palco foi montado em estrutura metálica, com acabamento em madeira freijó de encaixe macho-e-fêmea, revestido com selador.

Composições geométricas de madeira em alto relevo revestem a frente e as laterais dos balcões, assim como os painéis do teto móvel, formando uma superfície irregular, contribuindo para a difusão sonora, Figuras 6.9 (a) e (b). As linhas retas foram bastante utilizadas no projeto de revitalização, contrapondo-se às curvas e ornamentos suntuosos da

Estação Júlio Prestes. No entanto, evitou-se o uso de superfícies planas e lisas, para que o ambiente sonoro da sala fosse o mais difuso possível.

A Sala São Paulo é marcada por uma grande quantidade de pequenas irregularidades, como os capitéis de colunas, figuras moldadas, recortes de paredes, os painéis do forro e as frentes dos balcões. Esses elementos foram explorados no projeto acústico para garantir excelente difusão sonora. Alguns autores creditam a presença de irregularidades como aspecto fundamental na resposta acústica de salas para música.

A absorção sonora é feita principalmente pelas poltronas, público e pelo ar na sala. A presença exuberante de sons de baixa frequência (sons graves) depende de paredes, tetos e pisos de materiais sólidos e com baixa absorção acústica. Por isso, o consultor acústico José Augusto Nepomuceno, que foi o elo de comunicação entre a empresa Artec e a equipe de arquitetos, evitou o excesso de superfícies com elevado coeficiente de absorção, não foram colocados materiais absorventes nas paredes e piso.



Figuras 6.9. (a) e (b): Revestimento em placas de pau-marfim.

Fonte: www.salasaopaulo.com.br

As poltronas foram especialmente projetadas e fabricadas para a Sala São Paulo, com requisitos ergonômicos e acústicos. O tecido e o material de enchimento fazem com que a poltrona tenha uma resposta acústica semelhante ao do corpo de uma pessoa, fazendo

com que a sonoridade da sala seja semelhante tanto nos ensaios com a sala vazia, quanto nas apresentações com todos os assentos ocupados.

6.2.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica

A acústica ajustável é uma tendência dos últimos trinta anos. O projeto de salas de apresentações tem objetivado atender a uma amplitude de espetáculos diferentes. No Brasil, a Sala São Paulo é o principal modelo de espaço com acústica variável. Na Sala São Paulo, as placas móveis no forro permitem ajustar o volume da sala, alterando o tempo de reverberação e outros parâmetros.

A idéia do forro totalmente móvel, conceito inovador, estava presente desde o início. A vantagem do forro é também estética e não só técnica, ao permitir a preservação da integridade arquitetônica das elevações do edifício existente, além de permitir a visualização dos vitrais originais (DI MARCO e ZEIN, 2001).

O teto da sala de concertos é formado por quinze painéis independentes, feitos de aço revestido em madeira. Cada um pesa 7,5 toneladas e é sustentado por 16 cabos de aço. Subdivididos em três módulos, os painéis são sustentados por cabos e movidos por motores em um sistema automatizado, permitindo a variação de altura e volume da Sala São Paulo. Conforme citado no item 6.2.4, a partir do nível do palco, a altura pode variar de 4m a 22m.

No espaço acima do teto móvel, há 26 bandeiras de veludo absorvente acústico, com 8m de comprimento, que podem ser estendidas ou removidas eletronicamente, reduzindo ou aumentando o efeito de acoplamento que surge entre os espaços abaixo e acima do teto (OLIVEIRA, 2005). Dessa forma, o espaço acima do forro também compõe o espaço acústico da sala, no qual as características acústicas podem ser sintonizadas conforme o ajuste sonoro que se queira dar à sala. Esse conjunto oferece infinitas possibilidades acústicas para a sala, que se afina com os músicos, e não o contrário, como acontece na

maioria das salas. As Figuras 6.10. (a) e (b) mostram as placas móveis do teto da Sala São Paulo.

José Augusto Nepomuceno¹¹ pontua alguns tempos de reverberação importantes para as sinfonias mais famosas, como Júpiter de Mozart: 1,5s e 4^a de Brahms: 2,1s, além de peças contemporâneas como Sagração da Primavera de Stravinsky: 1,7s. O forro e os painéis móveis permitem acomodar essas e outras sutilezas acústicas.

Acima do vazio do teto móvel (Figuras 6.11. (a) e (b)) há um piso técnico onde estão os equipamentos que sustentam e movimentam as placas do teto móvel e as “bandeiras” absorventes, assim como as casas de máquinas das várias utilidades tecnológicas disponíveis. Todos os equipamentos foram isolados acusticamente com paredes e forros de gesso. O piso foi feito pelo processo "steel deck" (aço com capeamento de concreto).



(a)

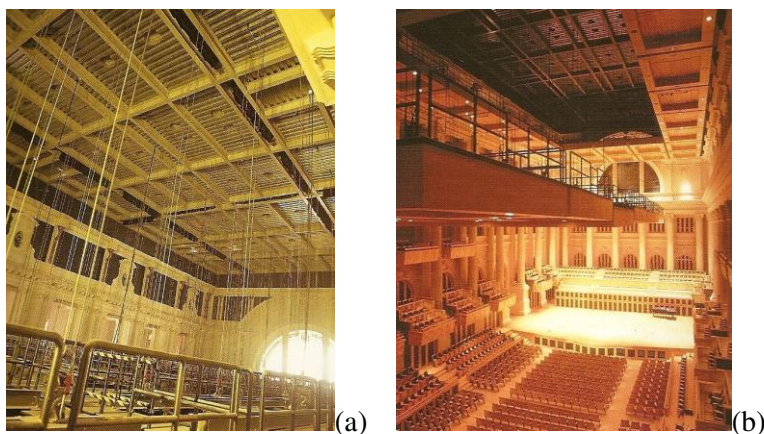


(b)

Figuras 6.10. (a) e (b). Placas do teto móvel da Sala São Paulo.

Fonte: DI MARCO e ZEIN, 2001

¹¹ www.salasaopaulo.com.br



Figuras 6.11. (a) e (b) Piso técnico da Sala São Paulo
 Fonte: DI MARCO e ZEIN, 2001

No palco, há uma série de painéis que são absorventes sonoros de um lado e refletores do outro, permitindo que o maestro ajuste a absorção/ reflexão de acordo com sua preferência. O palco possui dois elevadores, um na parte da frente para o piano e um posterior para o coro que, quando nivelado ao palco, amplia suas dimensões. Com fechamento lateral removível, a área do coro também pode ser utilizada para a acomodação de platéia. Esses recursos permitem que a Sala São Paulo receba, com qualidade, diferentes tipos e estilos de música de concerto.

6.2.7. Metodologia Projetual

O arquiteto Nelson Dupré já havia participado de importantes obras de restauração como o Teatro Municipal de São Paulo e do Teatro Dom Pedro II, em Ribeirão Preto. A restauração da Sala São Paulo demorou trinta meses, sendo doze para elaboração do projeto e pesquisa de materiais. O arquiteto recebeu, por este projeto, os prêmios USITT Architecture Honor Award 2000, concedido pela United State Institute for Theatre Technology, de Denver, Colorado, Estados Unidos; o Prix d'Excellence 2001 da FIABCI Fédération Internationale des Professions Immobilières como o melhor projeto de uso público em 2001; a Menção Hors Concours na premiação IAB/SP 2000; e o Prêmio AsBEA 2002 Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura.

Segundo a Carta de Veneza, seguida para a elaboração deste projeto, as restaurações devem preservar as características originais do edifício, deixando explícitas as novas intervenções. O arquiteto enfrentou adversidades durante a definição dos balcões, pois a empresa consultora em acústica queria que o projeto seguisse as características de salas como a Boston Symphony. A consultora americana em acústica, Artec, participou do processo de projeto, sendo abandonada ainda nesta fase. A definição dimensional básica do palco, coro, seus elevadores, sistemas de som e planejamento geral da ocupação do edifício pelas atividades da OSESP também teve participação da Artec.

6.2.8. Dados Acústicos

Os parâmetros acústicos da Sala São Paulo foram extraídos da dissertação de Lenine Vasconcellos de Oliveira (UFRJ, 2005), que realizou medições *in loco* no dia 06 de junho de 2004. As medições contaram com a colaboração das equipes do Laboratório de Ensaaios Acústicos (LAENA) do Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (INMETRO), do Laboratório de Acústica e Vibrações (LAVI) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), e da equipe técnica responsável pela Sala São Paulo. Em sua pesquisa, Oliveira (2005) realizou medições com diferentes configurações do teto móvel, a fim de compará-las acusticamente.

Para a presente pesquisa, foram considerados os valores mínimos e máximos obtidos de acordo com a posição do forro, em sua maior ou menor altura, e os valores dos parâmetros medidos com o forro móvel na configuração “E”, assim denominada no estudo de Oliveira, 2005. Segundo o professor doutor José Augusto Mannis, do Departamento de Música no Instituto de Artes da Unicamp, a configuração de teto “E” é a que apresenta melhores indicadores para a performance musical e é uma das usadas comumente nas apresentações. A vantagem dessa configuração é que se cria um movimento natural de expansão para a evolução das ondas sonoras, que podem avançar naturalmente em seu

percurso, tendo menos obstáculos no trajeto. A posição das placas móveis do forro da Sala São Paulo na configuração “E” (OLIVEIRA, 2005) é representada pela Figura 6.12.

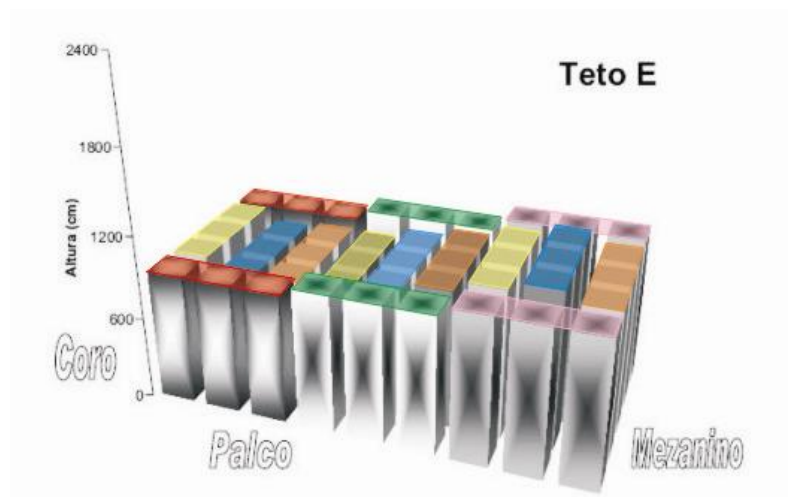


Figura 6.12. Configuração “E” do teto móvel da Sala São Paulo para as medições.
Fonte: Oliveira, 2005.

Os equipamentos utilizados para as medições foram: 2 microfones Larson Davis modelo 2559; 2 pré-amplificadores Larson Davis modelo PRM 902; 2 tripés; alto-falantes (dodecaedro e woofer); cabeça artificial (confeccionada no Institut für Technische Akustik - ITA, Universidade de Aachen, Alemanha); medidor de umidade e temperatura Vaisala/HM34; sistema de medição (confeccionado no Institut für Technische Akustik - ITA, Universidade de Aachen, Alemanha); placa do sistema de medição RME Hammerfall; medidor de nível sonoro de precisão B&K modelo 2236; calibrador de nível sonoro B&K 4231.

A fonte permaneceu fixa no palco durante todas as medições (indicada pela letra F), e os microfones foram posicionados nos pontos indicados na Figura 6.13. A cabeça artificial foi posicionada no centro da platéia (ponto 1).

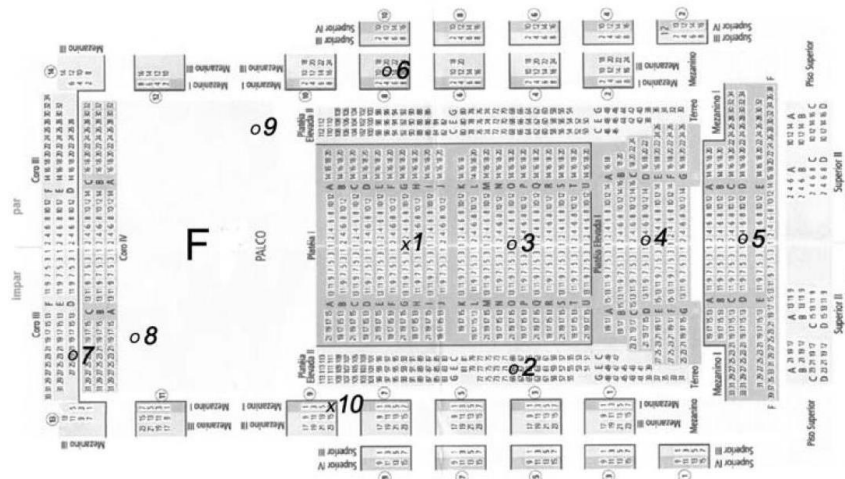


Figura 6.13. Pontos de medição da Sala São Paulo.
Fonte: Oliveira, 2005.

No palco havia toda a preparação para a orquestra (cadeiras, praticáveis da orquestra e estantes de partituras). Os microfones estavam posicionados a uma altura de 1,10 m do chão, correspondente a dos ouvidos de uma pessoa (1,70 m de altura) sentada. A sala era excitada três vezes com o mesmo sinal, gerando três arquivos digitais com os sinais captados pelos microfones e cabeça artificial. O sinal foi gerado digitalmente com o programa Monkey Forest instalado em um computador contendo interfaces que permitem a comunicação com os demais equipamentos utilizados na medição. O sinal utilizado no trabalho de Oliveira (2005) foi uma varredura de senos, gerado digitalmente em dois canais um para baixas frequências até cerca de 160Hz e outro de altas frequências, que vai para o dodecaedro. Utilizou-se como interface uma placa do sistema de medição RME Hammerfall. A operação de medição está esquematicamente ilustrada na Figura 6.14 (Oliveira, 2005). As medições foram realizadas com a sala desocupada e com todas as 26 bandeiras, entre o forro e o teto da Estação Júlio Prestes, estendidas em sua possibilidade máxima.

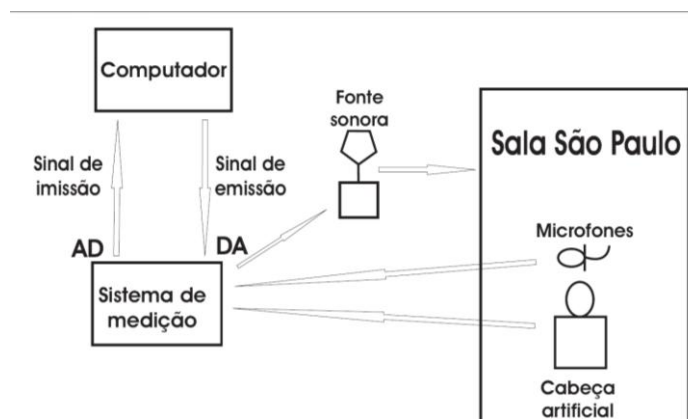


Figura 6.14. Esquema de medições da Sala São Paulo.

Fonte: Oliveira, 2005.

Em sua pesquisa, Oliveira (2005) concluiu que todos os parâmetros acústicos medidos são sensíveis à variação da posição do forro móvel da Sala São Paulo, como por exemplo, o tempo de reverberação de 2,0s a 3,2s, na frequência de 500Hz. A Tabela 1 apresenta os parâmetros acústicos objetivos da Sala São Paulo, obtidos de Oliveira (2005), com o teto móvel configurado na posição “E”, apresentada anteriormente, e a faixa de valores dos parâmetros que é possível atingir por meio dos sistemas de variabilidade acústica.

Tabela 1. Parâmetros Acústicos Objetivos da Sala São Paulo

<i>Parâmetros</i> <i>Sala São Paulo</i>	Volume (m³)	Capacidade (assentos)	TR (s) (500Hz)	EDT (s) (500Hz)	BR	C80 (dB) (500Hz)	IACC (500Hz)
Configuração “E”	~10.000*	1.509	2,0	1,8	1,15	0,11	0,27
Faixa de Variabilidade	8.000 a 25.000	1.509	2,0 a 3,2	1,7 a 3,3	0,95 a 1,15	-0,4 a +1,0	0,06 a 0,22

Fonte: Oliveira (2005).

*Volume aproximado, estimado da configuração “E” para o teto móvel, de acordo com informações disponíveis em Oliveira (2005).

A Tabela 1 demonstra a ampla possibilidade de variação dos parâmetros acústicos objetivos da Sala São Paulo, devido ao forro móvel, à variabilidade das características das superfícies na região do palco e das cortinas acima do piso técnico.

6.2.9. Ficha-síntese

Tabela 2. Ficha-síntese Sala São Paulo

SALA SÃO PAULO	
Arquiteto:	Nelson Dupré
Consultoria Acústica:	Artec Consultants e José A. Nepomuceno
Ano Projeto:	1997
Data Construção:	1997-1999
Data Inauguração:	9 de Julho de 1999
Custo aproximado:	R\$ 44 milhões
Capacidade:	1.509
Local:	São Paulo/SP - Brasil
 Foto externa	 Foto interna

Fonte: www.salasaopaulo.com.br; DI MARCO e ZEIN, 2001.

6.3. Casa da Música

Em 2001, a cidade do Porto foi eleita a Capital Cultural da Europa, juntamente com Rotterdam, Holanda. Um edifício excepcional, para atividades musicais, foi projetado pelo escritório de arquitetura OMA (Office for Metropolitan Architecture), vencedor do concurso de arquitetura realizado em 1999. O OMA é liderado pelo holandês Rem Koolhaas, um dos arquitetos mais inovadores e provocativos dos últimos tempos¹².

Rem Koolhaas ganhou o prêmio Pritzker em 2000 por sua influência na cultura arquitetônica atual, tanto através de suas obras construídas, como por suas pesquisas sobre as relações entre arquitetura e a vida contemporânea. Benevolo (2007) sugere que, deixando imprecisa a imagem externa de suas obras, Rem Koolhaas coloque mais ênfase não no resultado final, mas no próprio processo de que derivam. Considerado um questionador da arquitetura e pensamento racionalista, é autor da célebre frase: "o caos é uma razão natural da arquitetura contemporânea". Rem Koolhaas tem sido considerado um dos mais audaciosos pensadores de arquitetura da atualidade. Segundo Ourossoff (2005), Koolhaas encontrou na Casa da Música a perfeita expressão de sua visão.

O objetivo da Casa da Música, mostrada na Figura 6.15, é abrigar todo tipo de música, desde música clássica a jazz, de fado a música eletrônica, de grandes produções internacionais a projetos experimentais. A Casa da Música é uma instituição com um grande projeto cultural que promove o cenário musical internacional e sedia a Orquestra Nacional do Porto. Tornou-se edifício-ícone de Portugal, o ponto de encontro entre o antigo e o novo na cidade de Porto.

¹² Singular geometria. AU. Ed. 138. Set/2005.

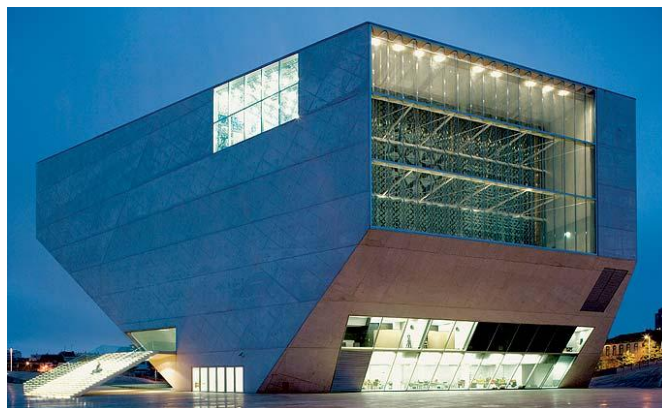


Figura 6.15. Casa da Música, Porto – Portugal.
Fonte: Singular Geometria. AU. Ed. 138. Set/2005.

6.3.1. Apresentação geral do projeto

Venerado por uns e criticado por outros, o edifício desagradou parte da comunidade arquitetônica local por sua escala exagerada e por não estabelecer uma relação de continuidade com o tecido urbano da Rotatória da Boa Vista, Figuras 6.16 (a) e (b). "Após sua construção, a Rotatória da Boa Vista passou a ser um modelo positivo do encontro entre o antigo e o novo na cidade do Porto, reunindo, em um só gesto, simbolismo, visibilidade e acesso", afirmam Koolhaas e Ellen van Loon, arquiteta colaboradora do projeto¹³. A integração com a cidade acontece com a comunicação visual pelas peles de vidro dispostos nas duas extremidades do auditório, trazendo a cidade para dentro do edifício.

¹³ Casa da Música, Porto, Portugal. OMA Projects Recents. L'Architecture d'aujourd'hui n°361. France, Nov./ Dec. 2005. Pgs. 38-47.



(a) Casa da Música, vista a partir da Rotunda da Boa Vista.



(b) Rotunda da Boa Vista

Figuras 6.16. Rotunda da Boa Vista.

Fonte: (a) Foto da autora. (b) Singular geometria. AU. Ed. 138. Set/2005.

Inaugurada em 14 de abril de 2005, a Casa da Música foi a primeira obra do gênero em Porto. O projeto foi escolhido por concurso fechado, do qual participaram grandes nomes da arquitetura mundial, como o francês Dominique Perrault, Rafael Viñoly, Norman Foster, Peter Zumthor, Rafael Moneo e Toyo Ito. No júri estavam, entre outros, Álvaro Siza e Souto de Moura. O orçamento inicial de 30 milhões de euros foi finalizado em 100 milhões¹⁴.

Com um forte impacto urbano, minuciosamente planejado, o conceito arquitetônico da obra partiu do pressuposto de que um equipamento cultural dessa natureza não é utilizado pela totalidade da população. Portanto, o objetivo era revelar o que acontece em seu interior, o que se dá pela transparência de parte da sala de concertos. Além de concertos e recitais, a Casa da Música também promove eventos culturais e cursos, proporcionando um diálogo entre música e outras áreas do conhecimento em um espaço aberto a todos os públicos.

Benevolo (2007) considera esta a obra mais feliz do OMA, até agora. De fato, o prédio é um exemplo da atitude contemporânea frente à arquitetura. Segundo o crítico de arquitetura do The New York Times, Nicolai Ourossoff (2005), em originalidade, a Casa da

¹⁴ <http://www.oma.nl/>

Música compete com a Walt Disney Concert Hall, do arquiteto Frank Gehry (1987-2003), e com a Filarmônica de Berlin, de Hans Scharoun na década de 1960, como uma das maiores salas de concertos construídas nos últimos cem anos. O edifício da Casa da Música recebeu, em 2007, o prêmio do Royal Institute of British Architects European¹⁵.

Para a concepção do projeto, Koolhaas foi inspirado por uma série de influências, inclusive a rica tradição modernista de Porto, acenando para arquitetos locais como Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura, cujas composições abstratas também tendem a se revelar gradualmente conforme o edifício é adentrado (OUROSSOFF, 2005). Totalizando 22.000 m² de área construída, um dos principais desafios do projeto foi encaixar um complexo programa de necessidades em um edifício com geometria tão irregular (OUROSSOFF, 2005).

O bloco possui três aberturas. As rampas que saem para o exterior e atravessam vários pavimentos, suportam os extensos balanços da estrutura. O edifício é acessado por escadarias (iluminadas por tubos de neon) que são fortes elementos do projeto e convidam a adentrar o edifício.

A escada principal chega a um estreito foyer entre duas paredes de vidro atrás do auditório. Acima e abaixo, este espaço é ocupado por bares. Denominada Sala Suggia, em homenagem a Guilhermina Suggia, violoncelista da cidade de Porto, a sala de concertos foi o foco do projeto, ocupando o grande vão central do edifício. A sala 2 é um auditório menor (Figura 6.17) situado na porção sul da construção e criado como espaço multifuncional e flexível para acolher diferentes tipos de espetáculos e eventos, equipado com palco e 350 cadeiras removíveis. A sala 2 também pode ser utilizada para gravação e para apresentações que necessitem de amplificação sonora.

¹⁵ <http://www.oma.nl/>



Figura 6.17. Auditório.

Fonte: Singular Geometria. AU. Ed. 138. Set/2005

A Casa da Música conta ainda com uma área para crianças, com vista para o auditório principal; oito estúdios para prática e gravação; dez salas para pesquisa; três bares, café e cantina dos músicos; uma sala VIP; escritórios administrativos; depósitos e estacionamento no subsolo com 600 vagas. Há também um restaurante na cobertura, em um terraço que oferece belíssima visão da praça. O terraço trapezoidal parece ter sido cavado no topo do edifício e o seu vértice condiciona o olhar ao monumento central da Rotunda da Boa Vista Figura 6.18. O espaço cybermusic foi idealizado como ponto de encontro para tecnologia, artes visuais e gêneros alternativos de música, onde é possível experimentar e criar música por meio da tecnologia da informação, através de cursos e workshops que acontecem na “Digitópia” da Casa da Música, Figura 6.19.



Figura 6.18. Terraço voltado para a Rotunda da Boa Vista.

Fonte: Foto da autora.



Figura 6.19. Digitópia, laboratório musical para o público.

Fonte: Foto da autora.

A Casa da Música é toda composta por essas ligações visuais entre os espaços. As salas de ensaios, implantadas no mesmo piso da bilheteria, podem ser vistas através de uma chapa perfurada. Todos os ambientes possuem duas aberturas: uma janela para o auditório e outra para a cidade. Além de proporcionar vista para exterior, esses vidros criam ligações entre o auditório principal e as salas vip, de cybermusic e sala infantil.

O interior do “meteorito” contrasta com sua sóbria aparência externa. Nos espaços internos foi utilizada uma grande variedade de cores e texturas, desde réplicas de painéis de azulejos portugueses tradicionais até esponjas, borrachas, acolchoados, mosaicos e folhas de ouro, como mostram as Figuras 6.20. (a), (b), (c) e (d). Esses materiais de revestimento combinam imagens contrastantes como galpões industriais, igreja barroca e espaço sideral, com elementos tradicionais e imaginários (CASTRO, 2005). As cores dos espaços de circulação são brilhantes painéis de alumínio nos pisos, concreto, painéis perfurados de alumínio nas paredes e teto, iluminados por trás por luzes fluorescentes.



(a) Sala Laranja



(b) Restaurante dos Músicos



(c) Sala Roxa



(d) Sala Cyber Música

Figuras 6.20 (a) (b) (c) (d) Interior da Casa da Música.

Fonte: Fotos da autora

A Casa da Música é um edifício em que estrutura e arquitetura estão fortemente ligadas. Para Rem Koolhaas, os elementos necessários à estrutura são oportunidades e temas que dão forma ao espaço (FURTADO *et al.*, 2006). O conceito inicial era um edifício translúcido com uma estrutura metálica. Por razões financeiras e pela perda da característica translúcida devido à densa estrutura que seria necessária, optou-se pelo concreto branco (FURTADO *et al.*, 2006).

O concreto branco é, ao mesmo tempo, estrutura e acabamento final. Dessa maneira, a estrutura deveria funcionar impecavelmente. Qualquer trinca comprometeria o acabamento final. O pó de granito adicionado ao concreto é o responsável pelo tom acinzentado das paredes (e não amarelado como é comum acontecer quando o concreto branco é deixado exposto). Toda a superfície exposta do edifício foi impermeabilizada para evitar o aparecimento de fungos, principalmente na face norte (FURTADO *et al.*, 2006). Segundo Koolhaas, se este edifício estivesse na América do Norte, seria feito em aço (BIZLEY, 2005).

As paredes inclinadas em concreto branco formam um complexo sistema de transmissão de cargas às fundações. Os principais elementos estruturais do edifício são duas paredes paralelas longitudinais de concreto armado com 1m de espessura, na qual a sala de concertos está suspensa, e pelas paredes da estrutura externa, com 0,40m de espessura (BIZLEY, 2005). As geometrias extremamente complexas das lajes, escadas, rampas e paredes da face norte resultou em diversos tipos de soluções estruturais (FURTADO *et al.*, 2006). Onde era necessário suporte extra, elementos estruturais foram introduzidos em locais inesperados.

6.3.2. Implantação e Meio Urbano

A Casa da Música foi construída em uma das mais movimentadas praças de Porto, no terreno antes ocupado pela companhia de transportes da cidade (BISELLI, 2005). Em vez de integrar a nova instalação à Rotatória da Boa Vista, marcada por um obelisco

central, Koolhaas e sua equipe preferiram desvincular o edifício de seu entorno, cercando-o com uma nova praça.

Enquanto os outros edifícios estão camuflados entre os telhados e árvores da cidade, a Casa da Música surge isolada, próximo ao centro cultural da cidade. Segundo o OMA, a localização da Casa da Música foi chave para o desenvolvimento conceitual do projeto. O grande bloco tem aproximadamente 40m de altura, emergindo da praça para dominar todo o entorno (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002). Como uma pedra preciosa alocada sobre um luxuoso tecido, o edifício é acomodado sobre uma área que se eleva em vários pontos para esconder os espaços dispersos sob a praça, criando uma intimidade ao espaço e protegendo-o dos ruídos da rua.

O edifício representa um meteorito que, ao chocar-se contra a praça, teria provocado as duas largas ondas na sua superfície. Revestidas com travertino jordaniano, as imperfeições da nova topografia formam a cobertura de um café no subsolo e servem como pistas para skate e patinação, rampas de acesso ao estacionamento e contribuem para a iluminação dos ambientes no subsolo. Este árido espaço rapidamente tornou-se um local popular para skatistas e patinadores, que acabam por se tornar frequentadores da Casa, Figuras 6.21. (a), (b). Uma brilhante abordagem social foi parte da proposta, aproximar e cativar a nova geração para os diversos tipos de música¹⁶.

As ondas no piso da praça que contorna a Casa da Música também foram pensadas para protegerem o edifício dos ruídos das duas ruas laterais, que são as mais movimentadas.

¹⁶ http://www.archinect.com/features/article.php?id=67097_0_23_0_C



(a) Ondas na praça.



(b) Skatistas utilizando a praça.

Figuras 6.21. (a), (b): Praça da Casa da Música.

Fonte: Fotos da autora.

O isolamento acústico da sala principal se dá pela separação total do resto da estrutura. Nesta separação, paredes, piso e teto do auditório somente entram em contato com a estrutura do edifício através de peças resilientes, de forma a criar um isolamento acústico com o sistema denominado "caixa dentro de caixa". (FURTADO *et al.*, 2006). A laje do pavimento da sala é em concreto armado, as paredes têm estrutura metálica e o teto é constituído por uma laje mista apoiada em vigas metálicas.

6.3.3. Forma

O volume do edifício passa a impressão de ser um sólido do qual partes foram retiradas para formar os principais ambientes, representado pelo modelo em escala na Figura 6.22. O edifício é um bloco único de concreto branco aparente, esculpido em múltiplas faces, algumas inclinadas a quase 45° (CASTRO, 2005). Seis faces compõem um poliedro irregular, com geometria rígida e complexa, comparada a um cristal. As paredes inclinadas distorcem o senso de perspectiva, tornando-se difícil de ter uma noção de suas dimensões (OUROSSOFF, 2005).

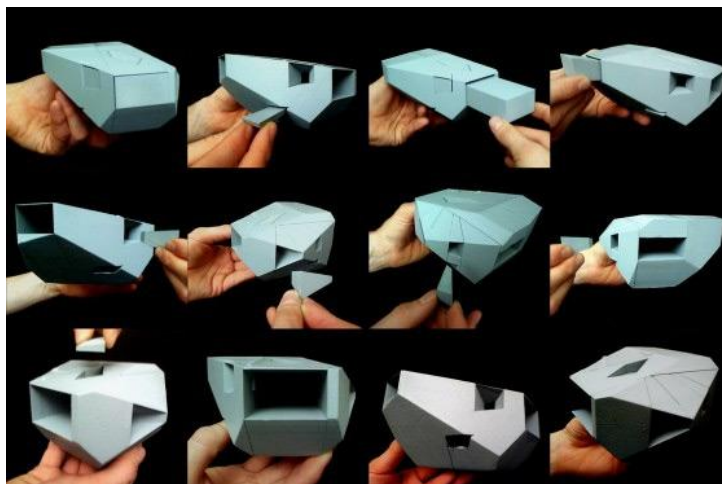
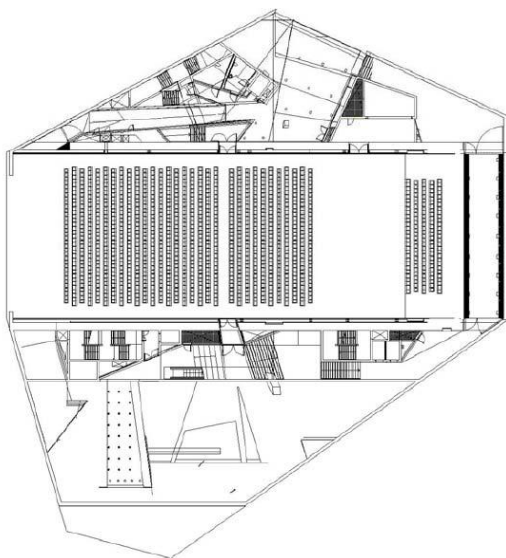
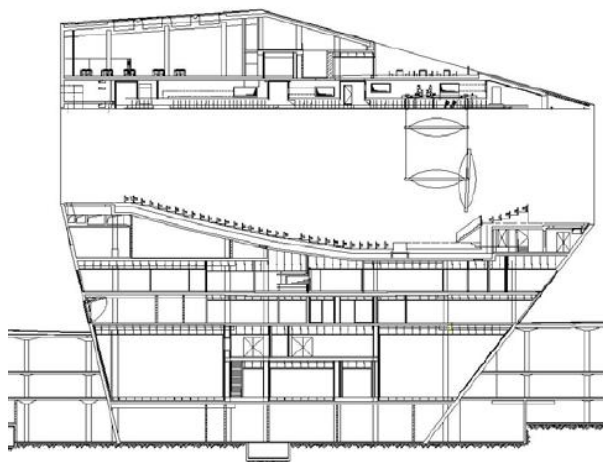


Figura 6.22. Maquete do bloco da Casa da Música.
 Fonte: VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002.

O maior vazio que penetra o edifício longitudinalmente é a sala de concertos com uma grande janela em cada ponta, cujo eixo está alinhado com a Rotatória da Boa Vista, Figuras 6.23. Da rua não é possível ver as pessoas no auditório, todos ficam curiosos para saber o que há em seu interior (BIZLEY, 2005).



(a)



(b)

Figuras 6.23. (a), (b) Planta e Corte da Casa da Música.
 Fonte: Santiago e Inácio (2008).

Segundo o escritório responsável pelo projeto, OMA, nos últimos trinta anos, os arquitetos tentaram escapar do formato de caixa de sapato das salas de concerto. Melhor do

que lutar contra esta forma, a Casa da Música procura revigorar a tradicional sala de concertos redefinindo as relações entre o interior e o público lá fora. Assim, Koolhaas manteve-se obediente às lições de acústica das mais consagradas salas de concertos, concebendo a sala de concertos no mesmo formato. A platéia foi posicionada em arquibancada, sem divisões, Figura 6.24.

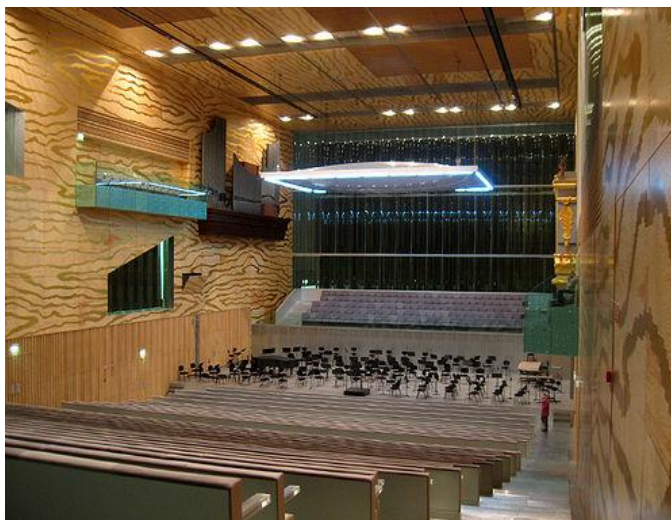


Figura 6.24. Sala Suggia.

Fonte: www.casadamusica.com

6.3.4. Dimensões e Volume

Com dimensões de 22m de largura e 53m de comprimento e altura máxima de 17,5m, o volume da sala é aproximadamente 18.000m³, escavado de uma ponta a outra do edifício (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002). O palco retangular mede 22m de comprimento por 11m de profundidade. A platéia é posicionada de frente para o palco, com assentos em forma de arquibancada. Atrás do palco, um balcão elevado reserva o espaço para o coral. Com área total de 1.100 m² e capacidade para 1.238, o volume por pessoa é de 14,72m³/pessoa.

6.3.5. Materiais

A Sala Suggia inova ao ser fechada com vidros ondulados em suas extremidades, comunicando-se visualmente com os demais ambientes da Casa da Música, algo incomum em instalações para esse fim. À noite, ficam opacos e se transformam em painéis publicitários, quando vistos do lado de fora, escondendo o que acontece no interior da Casa. Dessa forma, a platéia pode avistar a Rotatória da Boa Vista, e os músicos podem enxergar parte da cidade do Porto (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002).

As aberturas nas extremidades tornam a sala extremamente iluminada, deixando a luz do dia entrar através de vãos que chegam a alcançar cinco metros de altura¹⁷. As ondulações dos vidros sugerem as pregas de uma cortina, oferecendo uma vista distorcida da cidade (OUROSSOFF, 2005). A sala de concertos também possui outras janelas de vidros ondulados, revelando outros ambientes da Casa da Música.

O vidro laminado ondulado foi escolhido uma vez que um vidro plano representaria reflexões muito intensas. Cada um dos dois espaços nos extremos da sala de concertos é composto de duas peles de vidro, separadas por 6,50m, como se observa na Figura 6.25. Os espaços entre essas duas camadas de vidro possuem aproximadamente 23m de largura e 14m de altura (FURTADO *et al.*, 2006). Esses espaços remanescentes são utilizados para eventuais exposições de arte e coquetéis, quando a sala de concertos não está sendo utilizada.

¹⁷ OMA Projects Recents. L'Architecture d'aujourd'hui n°361. France, Nov./ Dec. 2005. Pgs. 38-47.

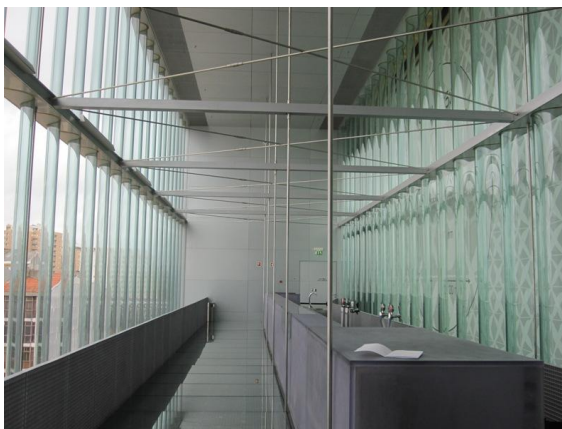


Figura 6.25. Espaço entre os vidros duplos nas extremidades da Sala Suggia.

Fonte: Fotos da autora.

As paredes de vidro consistem em três painéis empilhados curvados em “S”, como o da Figura 6.26. O painel inferior é suportado na base, enquanto que os dois superiores são suspensos pelo teto. O formato curvo, juntamente com duas discretas treliças horizontais entre as peles de vidro também fornecem resistência ao vento.

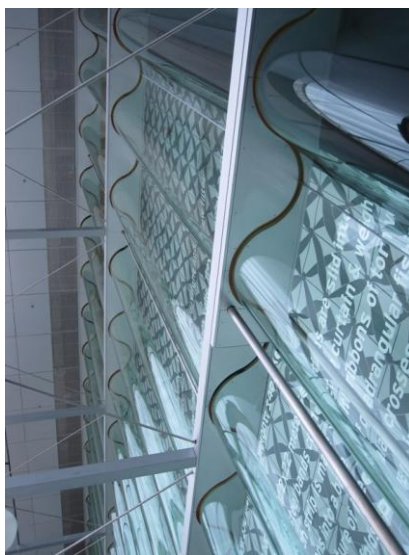


Figura 6.26. Vidro ondulado da Casa da Música.

Fonte: Foto da autora.

Devido ao alto nível de ruído do entorno, cerca de 75 dB(A), as paredes transparentes também devem proporcionar isolamento sonoro. No laboratório de acústica da Universidade de Tecnologia Eindhoven foram feitas medições para determinar o isolamento de vidro laminado com 12 e 20 mm de espessura, assim como a combinação

desses dois tipos de vidro e a junta entre eles. A redução de ruído esperada para a solução proposta chegou a 70dB(A), o que seria suficiente para atender aos critérios de isolamento acústico, no caso da utilização da sala para gravações (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002). O gráfico da Figura 6.27, retirada de Van Luxemburg *et al.*, 2002 apresenta os níveis de ruído de tráfego na Casa da Música com a aplicação do vidro laminado ondulado.

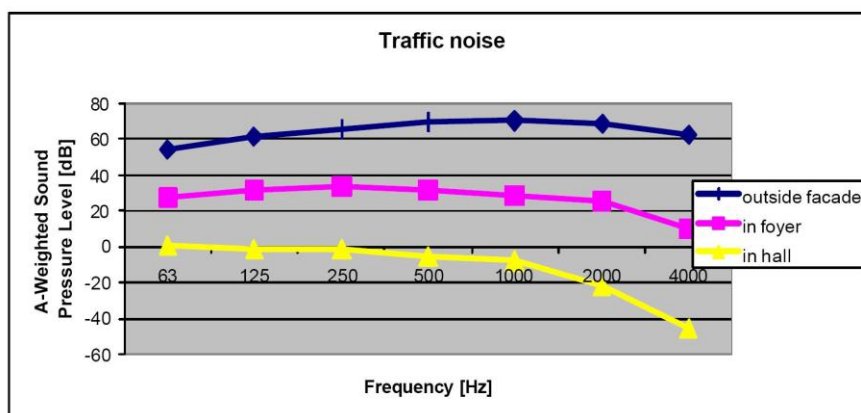


Figura 6.27. Níveis de ruído na Casa da Música com a aplicação do vidro laminado.
Fonte: VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002.

As cores prata e dourado do interior da sala de concertos prevalecem, se opondo intencionalmente com o movimento de luz proporcionado pela transparência do vidro, Figura 6.28. O revestimento das paredes e do teto é feito em painéis de madeira compensada, do mesmo tamanho dos painéis estruturais de concreto. Os veios da madeira foram representados em escala aumentada através da aplicação de folhas de ouro, que refletem a luz por toda a sala. Especialistas em restauração, de Porto, fizeram a aplicação à mão das folhas de ouro (BIZLEY, 2005). Os assentos, projetados por Maarten van Severen, são uma continuidade dos tons cinza e prata do piso (BIZLEY, 2005). A réplica de um órgão barroco decorado em azul e ouro foi montada em uma parede próxima ao palco.

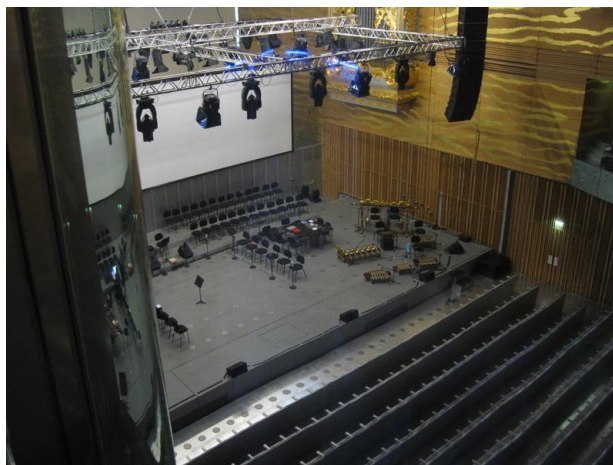


Figura 6.28. Materiais de acabamento da Sala Suggia.
Fonte: Foto da autora.

Três camadas de cortinas projetadas por Petra Blaisse podem fechar as janelas da sala de concertos. Uma cortina trançada filtra a luz para reduzir a claridade, uma cortina branca de material espesso e macio com uma lona do tipo “black-out” por trás bloqueia toda a luz, e uma cortina revestida de alumínio pode ser utilizada como uma superfície mais refletora acusticamente (BIZLEY, 2005).

Difusores de resíduo quadrático posicionados na vertical e uma “canopy” transparente, com 8x12m, acima do palco, controlam as características acústicas do palco (LAURENTIUS *et al.*, 2007). Difusores de resíduo quadrático padrão 734 foram utilizados para criar um campo sonoro difuso e uniformemente distribuído. Devido a requisitos arquitetônicos, os difusores foram modificados, com coordenação dos fornecedores. As profundidades que normalmente deveriam ser zero na sequência 0-1-4-2-2-4-1, foram substituídas por uma profundidade de 7. De acordo com a teoria na qual esses difusores se baseiam, os efeitos acústicos deveriam manter-se os mesmos após essa alteração (LAURENTIUS *et al.*, 2007).

Após a instalação desses difusores, as medições acústicas realizadas na sala de concertos mostraram um excesso de absorção em baixa frequência (250Hz). Após comparações entre medições realizadas com variações do mesmo tipo de difusor, pela Eindhoven University of Technology, observou-se que os difusores modificados promoviam muito mais absorção em baixas frequências do que o produto original. O efeito

desapareceu ao serem devolvidas as configurações originais aos difusores (LAURENTIUS *et al.*, 2007).

6.3.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica

A sala de concertos da Casa da Música, a Sala Suggia (Figura 6.29), foi projetada não só para música sinfônica, mas para diversos tipos de concertos musicais. A consequência dessa escolha implica a necessidade de variabilidade acústica e outras soluções técnicas como passarelas técnicas e traves de iluminação (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002). O palco com capacidade para 110 músicos pode se dividir em diversas seções equipadas com elevadores e pode ser aumentado removendo-se as quatro primeiras fileiras da platéia. O fundo do palco possui instalações para um coral com 143 pessoas.



Figura 6.29. Sala Suggia – Casa da Música.

Fonte: Laurentius *et al.* (2007).

A variabilidade acústica da Casa da Música acontece com a colocação das cortinas nas extremidades da sala de concerto, escondendo os vidros ondulados e com a variação da pressão da concha inflável (canopy) acima do palco. Essa “canopy” foi projetada para refletir o som, no espaço acima da orquestra, utilizando uma combinação de pressão e peso, fazendo os ajustes necessários para cada tipo de espetáculo, Figura 6.30.

A concha possui mobilidade vertical, cujas posições foram estudadas para otimizar o suporte acústico do palco, no que diz respeito ao conjunto da performance. Laurentius *et al.* (2007) estudaram a influência da posição da “canopy” na sala de concertos da Casa da Música. Foram realizadas medições no palco e na área da platéia, com a concha a 1.6mBar de pressão nominal. As cortinas estavam erguidas. A altura de fonte e microfone eram 1.35m.



Figura 6.30. Concha inflável da Casa da Música.
Fonte: Laurentius *et al.* (2007).

O parâmetro Clareza (C80), segundo Laurentius *et al.* (2007), não apresentou grandes variações com a mudança de posição da “canopy” (de 0,48dB para a posição mais baixa, a 0,64dB para a posição mais alta, com a concha inclinada). A clareza representa em que nível os detalhes das músicas serão ouvidos. A conclusão dos autores é que para o parâmetro Clareza, a posição da “canopy” não é um fator crítico.

Já nas simulações com o modelo em escala, Van Luxemburg *et al.* (2002) observaram a importância da pressão correta da “canopy”. Pressurizada a 1.6mBar, a concha é refletora. Na condição não pressurizada, a reflexão da concha varia significativamente em função de frequência, exibindo indesejada coloração sonora a sala de concertos. Assim, a concha deve ser pressurizada na correta pressão, sempre que a sala for utilizada. A Figura 6.31, extraída de Laurentius *et al.* (2007), mostra a reflexão da concha inflável corretamente pressurizada e não pressurizada, em função de frequência.

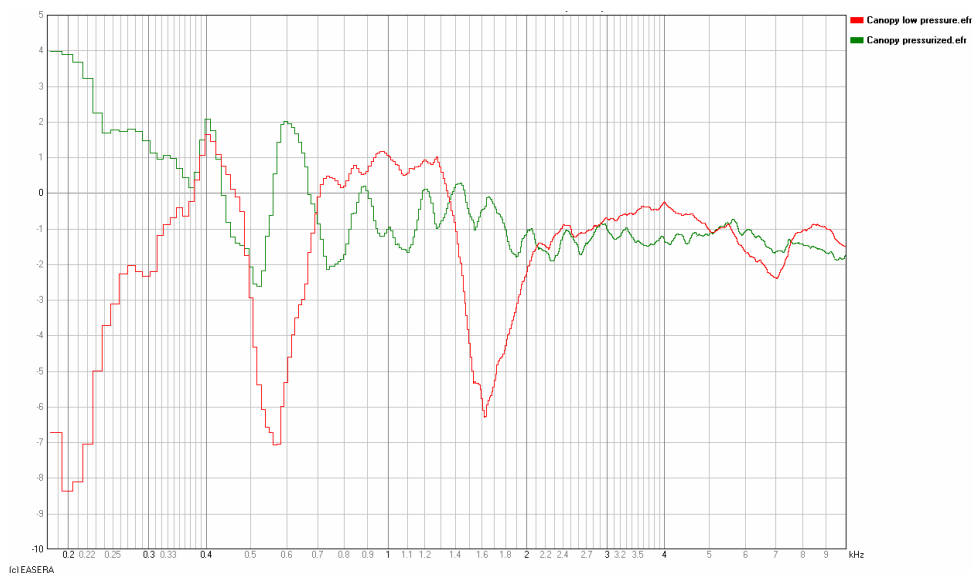


Figura 6.31. Gráfico comparativo da reflexão sonora da concha inflável da Casa da Música.
 Fonte: Laurentius *et al.*, 2007.

6.3.7. Metodologia Projetual

A Casa da Música é um extraordinário edifício, não só em seu conceito e espacialidade, mas no processo no qual foi desenvolvido. Projetada na mesma época que a Seattle Library, também do arquiteto Rem Koolhaas, a concepção da Casa da Música teve como base um projeto residencial elaborado pelo ateliê holandês e não executado (OUROSSOFF, 2005). A casa Y2K originalmente foi desenhada para um cliente que não queria encontrar com seus familiares, mesmo vivendo todos debaixo do mesmo teto. O edifício era um bloco de concreto facetado, com um vazio atravessando-o, o qual seria a área da família, e os espaços remanescentes nos vazios isolados seriam os outros ambientes do dia-a-dia.

Melhor do que abandonar seu projeto, o arquiteto aumentou o edifício para escala cinco vezes maior, adaptando-o. O vazio agora seria a sala de concertos, com os foyers, espaços de pesquisa, escritórios acomodados ao redor dela. Ainda assim, os temas centrais continuaram os mesmos: um espaço ordenado racionalmente, animado pelo caos social e pelas forças físicas atuantes ao seu redor (OUROSSOFF, 2005). Esse processo de criação

do projeto da Casa da Música pode ser comparado ao processo da desconstrução, em que uma massa única inicial sofre subtrações para dar origem a novos espaços.

No projeto da Casa da Música, Balmond, responsável pelo projeto estrutural, e Koolhaas trabalharam no auge de sua capacidade, com o conforto de uma relação profissional estabelecida. De concursos até edifícios construídos, eles desenvolveram seu modo particular de pensar a estrutura, as relações pragmáticas e a complexidade espacial. Na época, já eram dezoito anos de parceria (BIZLEY, 2005).

A forma de poliedro do prédio em nada facilitou a concepção de sua estrutura. Muitas idéias surgiram e viriam a ser testadas pela primeira vez. Depois de numerosos ensaios, em computador e com protótipos, chegou-se à impressionante estrutura de concreto armado. Para sua realização foram necessárias inspeções minuciosas em obra, que seguiu passo a passo uma seqüência de 85 fases¹⁸.

Toda a análise do conjunto do edifício foi realizada utilizando um modelo 3D, com todos os elementos estruturais detalhados, Figura 6.32. O modelo 3D também foi utilizado para o estudo das deformações, contrações, ação do vento, conforto térmico, ações sísmicas, entre outros (FURTADO *et al.*, 2006). A principal preocupação de toda a equipe era quanto à exequibilidade da obra, o que se tornou um verdadeiro desafio.

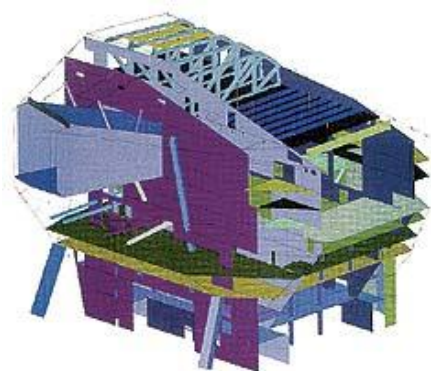


Figura 6.32. Modelo virtual da Casa da Música.
Fonte: Furtado *et al.* (2006).

¹⁸ OMA Projects Recents. L'Architecture d'aujourd'hui n°361. France, Nov./ Dec. 2005. Pgs. 38-47.

A necessidade de atingir um nível de detalhamento rigoroso para permitir a definição da geometria do edifício e dos elementos estruturais, fez com que fosse necessário incorporar no modelo em 3D todas as aberturas e espaços a serem utilizados pelas instalações. Os projetos iam sendo alterados como resultado de reiterações sucessivas entre os arquitetos, engenheiros estruturais e engenheiros especialistas (FURTADO *et al.*, 2006).

A simulação computacional é necessária na comunicação com o arquiteto para demonstrar os efeitos das decisões projetuais. O programa CATT-acoustics foi usado para simulações acústicas da sala de concertos. Uma das questões era qual o nível de detalhamento necessário para obter respostas confiáveis da simulação.

Como a sala também seria usada para teatros musicais, todo tipo de arranjos técnicos seriam introduzidos e pontes técnicas tiveram que ser colocadas no teto do modelo. Para as peles de vidro, era preciso estudar a necessidade de detalhar a superfície ou apenas atribuir um fator de reflexão a ela. Para isso, diferentes modelos geométricos foram construídos e comparados (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002). O comportamento da reflexão do vidro foi analisado pelo Institut für Technischen Akustik (ITA) da RWTH Aachen, Alemanha.

Um ponto de discussão era a confiabilidade do tempo de reverberação calculado com o modelo e a influência da difusão das paredes laterais. Com as paredes laterais totalmente difusas, a diferença entre o TR_{Sabine} calculado e o TR_{30} , era insignificante, enquanto que havia uma grande diferença com as paredes não difusas (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2002).

Como uma ferramenta de projeto e verificação, foi criado um modelo em escala. A maquete foi construída na escala 1:10 com MDF de 12mm, a platéia foi simulada por cartelas de ovo sobre espuma e as peles de vidro também foram feitas na proporção do modelo. Foi preciso estudar o comportamento do vidro, o tratamento das superfícies das paredes, a posição e o número de difusores e a posição do forro no palco.

6.3.8. Dados Acústicos

Os parâmetros acústicos da Casa da Música, apresentados nessa pesquisa, foram extraídos do relatório oficial entregue pelos escritórios Office for Metropolitan Architecture - OMA (Rem Koolhaas) e DHV Building and Industry, em novembro de 2005. Esse material foi obtido na ocasião da visita técnica da autora à Casa da Música.

As medições foram realizadas por Van Luxemburg¹⁹ e sua equipe, no dia 17 de junho de 2005, durante um ensaio da Orquestra Nacional do Porto. Um sinal sonoro tipo varredura de sinais foi utilizado para obter a resposta impulsiva em diversos pontos dos ambientes. A orquestra estava posicionada no palco durante as medições.

As posições das cortinas no palco e ao fundo da sala de concertos eram variadas para cima e para baixo, com o intuito de conhecer sua influência na acústica desse espaço. Foram realizadas medições para cada posição das cortinas (conforme mostra a Tabela 3) e, para cada configuração, a Orquestra Nacional do Porto tocava um trecho de uma música para avaliação subjetiva de doze pessoas treinadas, que respondiam a um questionário. Uma conclusão comum para todas as situações foi que a audição dos baixos estava fraca, comparada às frequências médias (VAN LUXEMBURG, 2005).

O sinal era emitido pelo alto-falante em uma única posição no palco, devido à presença da orquestra, e era gravado por um microfone no palco e outros sete distribuídos pela área da platéia. As medições foram realizadas sem a presença do público. A posição da “canopy” não foi alterada durante as medições, com altura de aproximadamente 8m acima do palco (VAN LUXEMBURG, 2005).

O Software EASERA foi utilizado para a extração dos valores dos parâmetros acústicos Tempo de Reverberação (TR), detalhado na Tabela 4, e do Tempo de Decaimento Inicial (EDT). Os gráficos apresentados nas Figura 6.33 e Figura 6.34 mostram os resultados obtidos, em função de frequência.

¹⁹ Eindhoven University of Technology

Tabela 3. Configurações das cortinas durante as medições.

config.	source(s) on stage	mic.(s) on stage	mic.(s) in hall	Acous.curtain @Boavista sq.	Acous.curtain @ rear wall)
<i>Large auditorium (LA)</i>					
A.	S1	R1	R2 – R8	100% down	0% down (/ 100% UP)
B.	S1	R1	R2 – R8	100% down	33% down
C.	S1	R1	R2 – R8	100% down	66% down
D.	S1	R1	R2 – R8	100% down	100% down
E.	S1	R1	R2 – R8	66% down	100% down
F.	S1	R1	R2 – R8	33% down	100% down
G.	S1	R1	R2 – R8	0% down (/ 100% UP)	100% down
H.	S1	R1	R2 – R8	0% down (/ 100% UP)	0% down (/ 100% UP)

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

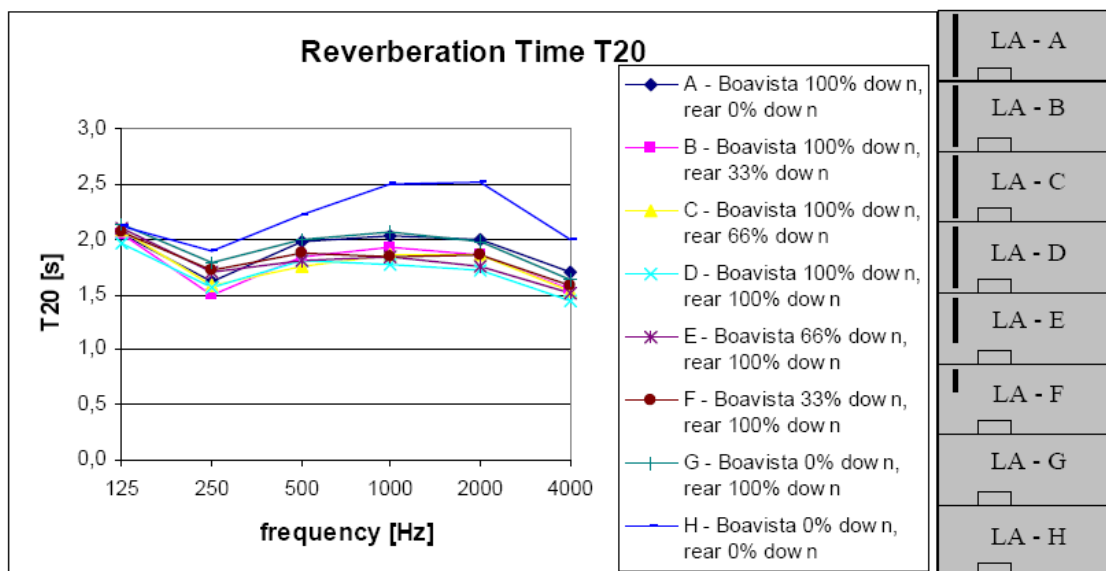


Figura 6.33. Medição do TR para as diferentes posições das cortinas.

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

Tabela 4. Tempo de Reverberação (TR) para as diferentes posições das cortinas, em função de frequência.

	125	250	500	1000	2000	4000	Average (500- 1000 Hz)
A.	2,05	1,60	1,98	2,03	2,00	1,70	2,01
B.	2,05	1,49	1,83	1,93	1,86	1,55	1,88
C.	2,08	1,57	1,75	1,86	1,86	1,53	1,80
D.	1,97	1,57	1,80	1,77	1,71	1,45	1,79
E.	2,09	1,71	1,81	1,84	1,76	1,51	1,83
F.	2,07	1,71	1,88	1,84	1,85	1,57	1,86
G.	2,13	1,79	1,99	2,07	1,98	1,64	2,03
H.	2,11	1,89	2,22	2,50	2,51	1,99	2,36

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

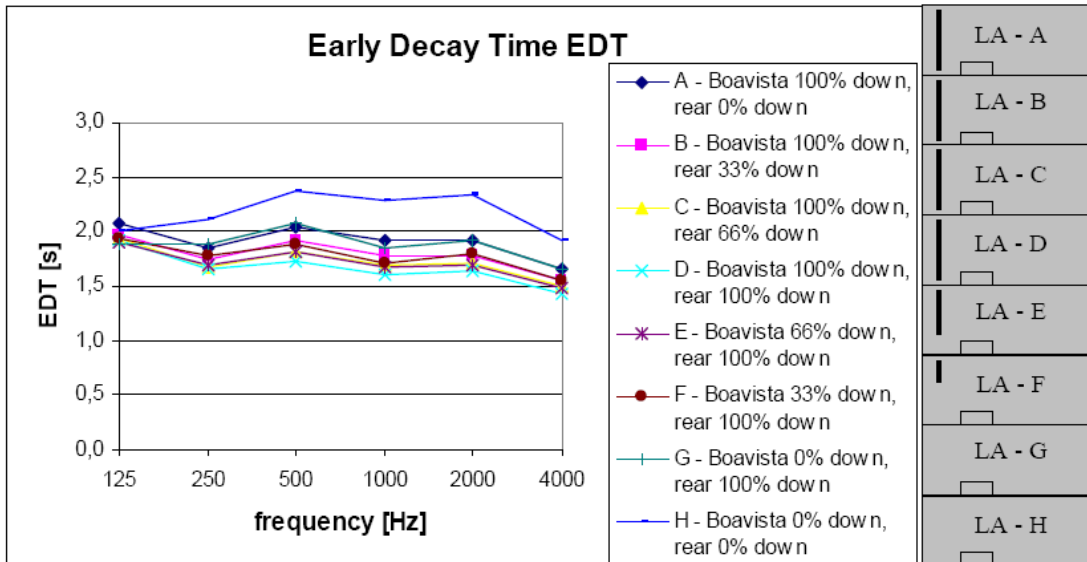


Figura 6.34. Medição do EDT para as diferentes posições das cortinas.

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

Os resultados mostram o efeito das cortinas sobre os parâmetros TR e EDT, com uma pequena diferença no desempenho acústico. O tempo de reverberação varia de 1,79s a 2,36s, de acordo com a posição das cortinas. Com as duas cortinas completamente abaixadas, o tempo de reverberação é de 1,8s. Com todas as cortinas recolhidas, o tempo de reverberação passa a ser 2,36s. Com a platéia ocupada, o tempo de reverberação seria menor. Para melhorar esse resultado, foi aplicado extra lã de vidro nas galerias de iluminação. Observa-se que um declive na frequência 250Hz na curva do tempo de reverberação, comparado às demais frequências, o que pode dificultar a audição de baixos.

A média do parâmetro Clareza (C_{80}) nas bandas de 500Hz a 2000Hz varia de 0,46dB a 2,16dB, conforme a configuração das cortinas, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Média da Clareza (C_{80}) nas frequências 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, para as diferentes posições das cortinas.

	<i>Average 500/1000/2000</i>
A	0,47
B	0,93
C	1,33
D	2,16
E	1,42
F	1,28
G	1,02
H	-0,14

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

A Tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros acústicos sem nenhuma cortina e a faixa de valores em que é possível ajustar os parâmetros acústicos da Casa da Música, com as diversas maneiras de posicionamento das cortinas.

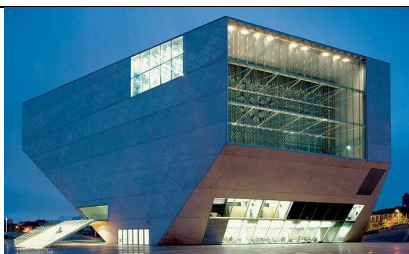
Tabela 6. Parâmetros Acústicos Objetivos da Casa da Música.

<i>Parâmetros Casa da Música</i>	Volume (m³)	Capacidade (assentos)	TR (s) (500Hz)	EDT (s) (500Hz)	BR	C80 (dB) (500Hz a 2000Hz)
Sem cortinas	18.225	1.238	2,22	2,40	0,85	-0,14
Faixa de Variabilidade	18.225	1.238	1,75 a 2,22	1,55 a 2,4	0,85 a 0,99	-0,14 a 2,16

Fonte: Van Luxemburg, 2005.

6.3.9. Ficha-síntese

Tabela 7. Ficha-síntese Casa da Música

CASA DA MÚSICA	
Arquiteto:	Rem Koolhaas – OMA
Consultoria Acústica:	TNO Eindhoven
Ano Projeto:	1999-2000
Data Construção:	2000-2005
Data Inauguração:	14 de abril de 2005
Custo aproximado:	€100 milhões
Capacidade:	1.238
Local:	Porto - Portugal
 Foto externa	 Foto interna

Fonte: <http://www.oma.nl/>

6.4. EMPAC

O Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) em Troy, estado de Nova York, nos EUA é a universidade de tecnologia mais antiga e tradicional dos Estados Unidos, que teve o primeiro curso de arte e mídia eletrônica. Troy é o mais alto ponto navegável do rio Hudson e foi um importante centro comercial nos anos 1900. O declínio econômico pós-industrial e o êxodo populacional deixaram consequências à cidade (MILLARD, 2009). Fundado em 1824, o RPI é uma das mais veneradas universidades norte-americanas de ciência e tecnologia. Dentre seus famosos alunos está Washington Roebling, que construiu a Brooklyn Bridge (LABARRE, 2009).

Localizado no campus do RPI, o Curtis R. Priem Experimental Media and Performing Arts Center (EMPAC) é um complexo de espaços para pesquisa em artes, ciência, realidade virtual e tecnologia multimídia, concebido como o ponto de interseção entre artistas e pesquisadores científicos. Foram sete anos e meio de planejamento e construção do EMPAC. O diretor do EMPAC, Johannes Goebel, foi contratado seis anos antes do final da obra, o que ajudou a instituição a definir com precisão os objetivos técnicos do EMPAC, através de um difícil processo de projeto e redesenho (MILLARD, 2009).

O EMPAC, Figura 6.35, é composto de espaços tradicionais para performances como música, dança, teatro, e espaços para arte experimental e digital, em galerias high-tech, além de estúdios profissionais para áudio e vídeo. O complexo é utilizado para eventos, pesquisas em acústica, percepção psicológica, audiovisual, apresentação de dados e outras formas de pesquisa assim como para artes. Funciona tanto para música tradicional, como um laboratório digital para a criação e representação de novas formas de mídia.



Figura 6.35. EMPAC.
Fonte: <http://empac.rpi.edu>

6.4.1. Apresentação geral do projeto

Em março de 2001, o RPI iniciou um concurso, organizado por sua faculdade de arquitetura, no qual os maiores escritórios de arquitetura no mundo participaram. O escritório Grimshaw Architects foi escolhido por um seletor júri. O orçamento inicial de 142 milhões de dólares chegou a 200 milhões de dólares ao final da obra. O desenvolvimento do projeto e construção do edifício contou com a participação de diversos especialistas de várias áreas, dentre eles:

- Buro Happold (cálculo estrutural, mecânico, elétrico, simulação computacional e sustentabilidade)
- Kirkegaard Associates (consultoria acústica)
- Fisher Dachs Associates (consultoria em teatro)
- Turner Construction Company (gerenciamento de obra)
- Davis, Brody, Bond LLP (arquiteto responsável pela aprovação)

Todo o edifício do EMPAC teve sua forma projetada com base na busca da criação de um espaço de ótima acústica. A equipe de projetistas coordenada por Grimshaw queria uma sala de concertos com uso permanente, sendo concebido a partir de princípios da

acústica, como um instrumento musical, que é produzido conforme as leis da física, o que pode produzir um objeto de grande beleza. O desafio do projeto era de combinar em um único edifício, a consolidação de um espaço tradicional de performances com o caráter transitório da mídia experimental (SALMI, 2009).

Inaugurado em 03 de outubro de 2008, o EMPAC funciona como um centro high-tech de pesquisa colaborativa entre cientistas, artistas e engenheiros, estreando um novo modelo educacional. O edifício é considerado uma das referências mundiais em tecnologia, como uma plataforma de criação, facilitadora de pesquisa, na qual artistas utilizam mídias digitais para expandir sua criatividade, e ao mesmo tempo permite que cientistas e engenheiros expandam seu conhecimento e tecnologia na busca de criatividade artística. O edifício permite pesquisas em diversos campos tais como dinâmica dos fluidos, inteligência artificial, design molecular, nanotecnologia, jogos e simulações. A abordagem interdisciplinar e colaborativa do projeto cria um ambiente em que imaginação científica e artística são recíprocas²⁰.

EMPAC possui muitos atributos inovadores e pioneiros no campo de acústica, estrutura, apresentação teatral, e mídia digital. O programa exigia suporte a vídeo e áudio em alta definição em praticamente todos os ambientes do edifício. O edifício contém mais de oito mil inputs aos supercomputadores da universidade (Computational Center for Nanotechnology Innovations - CCNI) (EDDY, 2009). Quando acoplado ao supercomputador do CCNI no RPI, o EMPAC fornece oportunidades para pesquisa que supera quase todos os espaços existentes para pesquisa na área de mídia²¹, criando uma infra-estrutura técnica ímpar. São 195,7 km de fibra ótica e cabos de cobre para transmissão digital, permitindo a transmissão de áudio e vídeo na mais alta definição, além de dados de um ambiente ao outro.

Vencedor do Building Team Awards 2009, a equipe de projetistas do EMPAC impressionou o júri pela integração do edifício com o terreno e a paisagem. As características acústicas foram incorporadas ao projeto ao invés de adaptá-las durante a

²⁰ conforme declaração de Johannes Goebel, diretor do EMPAC, em <http://empac.rpi.edu/>

²¹ Idem

obra (YODERS, 2009). No edifício, cada espaço cumpre sua função acusticamente, fazendo com que o EMPAC não seja mais um edifício que tenta “ser todas as coisas para todos os públicos” (MILLARD, 2009).

O projeto aproveita a queda do terreno, apoiando o edifício com vista para o rio Hudson. O EMPAC contém quatro espaços para performance e gravação, todos com a exigência em obter os melhores índices acústicos. O programa é composto de uma grande sala de concerto com capacidade para 1.200 pessoas, um teatro com 400 assentos, dois estúdios “Black-box” para mídia experimental, estúdios de prática artística, estúdio de dança, espaços para produção audiovisual, além de uma vasta infra-estrutura de apoio, como cafés e restaurante. No total são 24 ambientes completamente isolados entre si. A composição cria espaços de passeio envolta dos volumes principais, que são fechados em uma grande caixa de vidro, com a intenção de manter a integração com o exterior, ajudando também na separação acústica. Planta e corte esquemáticos são mostrados na Figura 6.36.

O projeto inicial, vencedor do concurso, previa um espaço multiuso, com 1.200 lugares, e incluía uma torre técnica para teatro, o que comprometeria a acústica. A revisão do projeto teve o desafio de criar uma sala de concertos com a mesma capacidade, porém com acústica impecável, e um teatro separado, para 400 espectadores, com a torre técnica, junto com dois estúdios menores: um minimalista, com capacidade para projeção de vídeo em 360°, e outro para gravação de música, dança e apresentações visuais (MILLARD, 2009). Ao final, a equipe conseguiu arranjar os quatro principais ambientes do complexo e todos os demais espaços de que a universidade precisava, mantendo a concepção estética de Grimshaw.

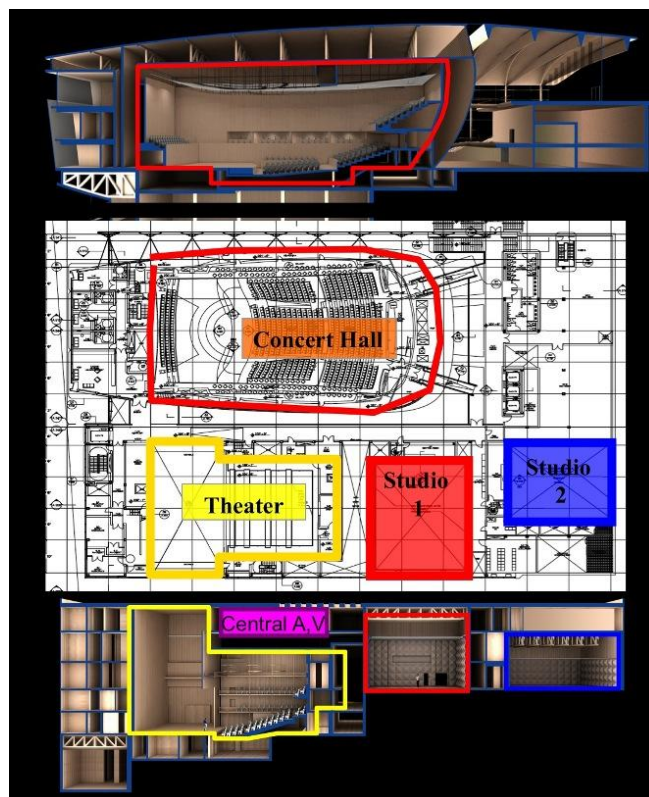


Figura 6.36. Planta do EMPAC.

Fonte: Imagem gentilmente cedida por Johannes Goebel.

Segundo Grimshaw, o conceito do projeto foi baseado em duas vertentes: uma sala de concertos tradicional para orquestra, com o consagrado formato caixa de sapatos, e outros espaços completamente flexíveis com tecnologia de ponta para a performance de arte e mídia experimentais ou pesquisa, que são os estúdios e o teatro²². Os edifícios representam, em seu exterior, os aspectos analógico e digital, definidos por Grimshaw, representados por dois blocos paralelos, Figuras 6.37. (a) e (b). Os estúdios e o teatro estão no lado sul (MINUTILLO, 2009). A transparência do bloco norte mostra um casco em cedro, madeira reflorestada em British Columbia, que envolve o volume de caixa de sapato da sala de concertos, com uma silhueta orgânica mostrada nas Figuras 6.38. (a) e (b), enquanto o bloco sul expressa um aspecto mais high-tech, ortogonal e conveniente aos espaços virtuais que os seus instrumentos digitais gerarão. Cada ambiente oferece uma surpresa visual assim como precisão sonora (MILLARD, 2009).

²² www.architecturalrecord.com/tech/



(a) Blocos norte e sul do EMPAC.



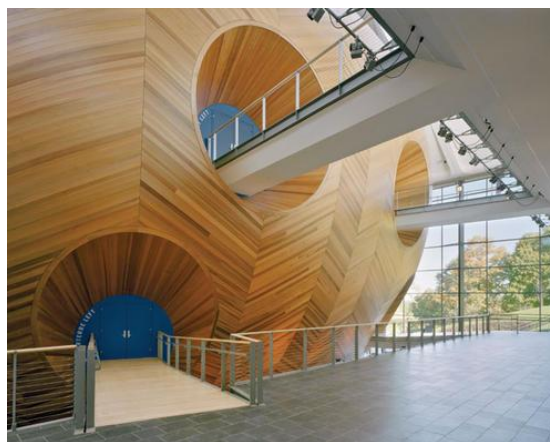
(b) Vista do bloco sul.

Figuras 6.37. (a) e (b): Maquete do edifício do EMPAC.

Fonte: MINUTILLO (2009).



(a) Casco de cedro que envolve a sala de concertos.



(b) Passarelas de acesso à sala de concertos.

Figuras 6.38. (a) e (b): Casca de Cedro da sala de concertos.

Fonte: MINUTILLO (2009).

A sala de concertos parece flutuar dentro do átrio envidraçado do bloco norte. O público adentra o edifício pelo ponto alto do terreno e encontra uma série de pontes apoiadas sobre sistemas isolantes, que atravessam o átrio até chegar ao “casco” que abriga a sala de concertos, Figuras 6.38. (a) e (b). Uma grande escada lateral leva até o teatro e aos estúdios, no bloco sul. Os espaços podem ser utilizados independentemente e

simultaneamente. Foram utilizados na construção 2,6 mil toneladas de aço e 2.164 painéis acústicos foram instalados, sendo 1.280 difusores e 884 absorvedores²³.

Como o casco de um barco atracado na ladeira, a sala de concertos para 1.200 pessoas parece flutuar, encaixada na fachada oeste do edifício, em direção à pequena cidade de Troy, EUA. A platéia tem acesso por seis portais cônicos que penetram o casco, como se estivesse adentrando um instrumento musical. As placas de cedro foram dispostas em escama de peixe, estruturada por um sistema de steel-frame. A produção do casco foi dividida em doze partes e 1/4 das peças foram confeccionadas com o auxílio de um Comando Numérico Computadorizado (CNC).

O casco de cedro é um invólucro para os corredores de circulação técnica, quadros de luz e inúmeros dutos e cabos de fibra ótica ao redor da sala de concertos, aliando as necessidades práticas com o conceito arquitetônico anterior da habilidade e qualidade de um instrumento de cordas. A Figura 6.39 mostra a surpreendente infra-estrutura tecnológica que conecta a sala de concertos do EMPAC aos supercomputadores da universidade (the Computational Center for Nanotechnology Innovations). O casco assume também um papel estrutural, suportando o telhado de forma que o átrio fique visualmente livre de pilares.



Figura 6.39. Interior das placas de cedro da sala de concertos, durante a construção.
Fonte: www.empac.rpi.edu

²³ <http://empac.rpi.edu/>

O átrio com aproximadamente 30,5m de altura é encerrado por uma grande cortina de vidro com o mínimo de estrutura possível, criando uma grande visibilidade para a paisagem do entorno. Este elemento representava dois problemas: a perda de calor e a condensação no vidro no rigoroso inverno do estado de Nova York. Portanto, os projetistas elaboraram os sistemas de ventilação e aquecimento, baseados em uma condição de -23°C.

Na estrutura de cerca de 61m² de fechamento em vidro funciona um sistema de aquecimento que usa água dentro dos montantes que estruturam os vidros da fachada norte, para amenizar o frio do inverno, além de prevenir condensação nos vidros, permitindo a vista sempre limpa. A temperatura da água nos montantes é de 48°C (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Glycol foi adicionado à água como um agente anti-congelamento. Os reservatórios de armazenamento e distribuição dessa água são localizados na parte inferior da fachada e as saídas de ar estão localizadas no topo para permitir que o ar seja eliminado (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). As chapas de aço possuem orifícios de tamanhos variados para manter a água circulando no sistema. O átrio também possui um sistema de ventilação que movimenta o ar lentamente (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009).

A tecnologia de circulação de água na estrutura dos vidros foi primeiramente desenvolvida nos Estados Unidos para resfriar as estruturas de aço em caso de incêndio. Nos trinta anos seguintes, essa tecnologia foi aprimorada na Alemanha, onde era mais utilizada para aquecimento e resfriamento dos edifícios.

A fachada leste foi revestida por ETFE (Etileno tetrafluoretileno copolímero), uma película ligeiramente mais transparente do que o vidro, com alta resistência, tanto à radiação solar quanto a produtos químicos e baixa inflamabilidade, Figura 6.40. Este material está sendo largamente utilizado em grandes fachadas, tais como o Allianz Arena em Munique, Alemanha, e o Beijing National Aquatics Centre, na China.



Figura 6.40. Fachada sul do EMPAC.

Fonte: Imagem gentilmente cedida por Johannes Goebel.

Sustentabilidade era uma importante questão para o RPI. O EMPAC foi projetado com o objetivo de alcançar a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) na categoria prata e para ser uma referência mundial em espaços para performances com os mais altos padrões de conforto acústico e humano, utilizando o máximo de materiais mais eficientes possíveis para este tipo de edifício. 20% dos materiais utilizados na construção foram comprados de fornecedores locais e 75% do lixo gerado na obra foi reciclado. As Figuras 6.41 (b) e (c) mostram detalhes da construção do EMPAC.

A equipe de Buro Happold buscou um consumo de água 30% menor do que estruturas similares. O edifício é livre de CFC e possui um tanque subterrâneo de armazenamento de água com 6,1 mil m³. O sistema de condicionamento de ar é ajustado com discos de velocidade variada e controle para regular o volume de ar conforme a condição climática. Há também controles individuais de iluminação.

A climatização da sala de concertos é feita por um sistema de distribuição do ar sob o piso do palco, que penetra o ambiente silenciosamente e em baixa velocidade, por grelhas embaixo de cada poltrona, como mostra a Figuras 6.41. (a). Este tipo de ventilação é um sistema novo e está se tornando muito comum em espaços que exigem baixo nível de ruído de fundo, conforto da platéia e sustentabilidade, pois economiza energia (MINUTILLO, 2009). Ao invés de ser utilizado um grande ventilador, são utilizados vários menores multidirecionais, reduzindo cerca de 20% do ruído nesse sistema, especialmente ruídos de

baixas frequências, os quais são mais difíceis de serem eliminados (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). No teatro, a ventilação da platéia foi separada da do palco. Exaustores no palco foram instalados para eliminar a fumaça dos espetáculos e em caso de incêndio (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009).

Buro Happold criou uma análise dinâmica de fluidos para cada assento (YODERS, 2009). O ar quente é retirado na parte alta da sala de concertos, juntamente com o ar aquecido pelos equipamentos. Esse sistema de condicionamento de ar é muito mais silencioso do que os sistemas convencionais, sendo imperceptível à platéia. Também resulta em uma maior qualidade do ar, pois o ar caminha de baixo para cima, ao invés de ser soprado de cima para baixo, através do ar viciado. Os dutos de ventilação possuem dimensões de três a quatro vezes maiores do que os convencionais, para que o ar circule em baixa velocidade, evitando a produção de ruídos, porém ocupando mais espaço (MINUTILLO, 2009).



(a) Ventilação sob as poltronas.



(b) Estrutura externa da sala de concertos.



(c) Construção do bloco norte.

Figuras 6.41. (a), (b) e (c): Construção do EMPAC.

Fonte: GALLAGHER, HAPPOLD (2009).

As duas casas de máquinas também foram isoladas fisicamente e acusticamente. Embora seja mais favorável posicionar as casas de máquinas o mais longe possível dos locais de performance, uma delas precisou ser posicionada sob o palco da sala de concertos (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Para impedir a transmissão de ruído, os dutos de ventilação e a estrutura de aço que envolve toda a casa de máquinas foram isolados com

duas camadas de painéis de gesso, que não tem contato com as colunas nem com as lajes, além disso, o plenum atua como uma barreira de ar (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). A segunda casa de máquinas serve à área dos estúdios e está localizada no piso superior do edifício, próximo ao estúdio 2, que possui uma camada extra de material isolante para bloquear o ruído.

O teatro, Figura 6.42, possui 12,19m de largura, 20,38m de comprimento e 21,34m de altura. O palco possui uma “boca de cena”. O teatro funciona como uma única sala com platéia e palco variáveis, onde é possível trazer o público para a torre técnica, criando um teatro em círculo. Elegante, com suas paredes em vermelho, metais pretos e assento de couro e carvalho, pode certamente adaptar-se a todos os tipos de público e de artistas (MILLARD, 2009).

O teatro é tão silencioso quanto os estúdios e possui tecnologia e infra-estrutura para um estúdio de vídeo em alta definição, além de tecnologias teatrais e recursos que eram encontradas somente nos espetáculos mais avançados. O teatro possui câmeras móveis, projetores e uma tela de 56’, além do sistema de cabeamento controlado por computador e o sistema de elevação que pode suspender um piano.



Figura 6.42. Teatro do EMPAC.

Fonte: Imagem gentilmente cedida por Johannes Goebel.

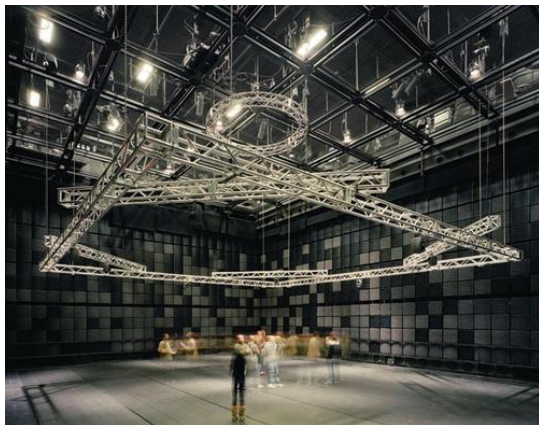
Os estúdios são espaços multiuso, tanto para ensaios como para pesquisa científica em uma variedade de campos como realidade virtual, visualização científica, e interação

homem/ máquina. Os estúdios e o teatro são excepcionalmente versáteis e para a integração da tecnologia digital com a expressão e percepção humana, permitindo ambientes “multimodais”. Um dos maiores desafios foi criar a flexibilidade necessária e ainda manter o mesmo padrão de qualidade acústica do resto do edifício (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009).

O estúdio 1 é utilizado para visualização científica, multi-screen e performances imersivas, além de dança. No estúdio 2, acontecem gravações e recitais. Os dois estúdios são reconfiguráveis para tradicionais teatros “caixa preta”, ou para espaços com layout totalmente livre (AARON, 2009). Os estúdios 1 e 2 são mostrados nas Figuras 6.43. (a), (b), (c) e (d).

A empresa consultora de acústica, Kirkegaard Associates, criou painéis móveis com perfurações em duas direções computados para que as superfícies fossem aleatórias para refletir e espalhar o som, inspirados nas cascas de árvores (Figuras 6.43. (e)), para eliminar qualquer característica repetitiva que criasse interferência sonora (MILLARD, 2009). A parede com esses painéis acústicos, com material absorvente por trás, oferece uma abordagem completamente nova à acústica de imersão em ambientes sonoros.

Múltiplos projetores são utilizados nos dois estúdios e, como produzem muito ruído e calor, precisaram ser isolados. Cada projetor foi colocado em uma caixa individual e conectado a dutos flexíveis que podem ser ajustados. Cada estúdio pode acomodar mais de dez projetores sendo usados ao mesmo tempo sem impacto negativo ao nível de ruído (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Treliças metálicas nos tetos dos estúdios permitem o trabalho dos técnicos, adequando o ambiente de acordo com a performance (pendurar difusores, telões para projeção, projetores, pontos de luz, etc.) (MINUTILLO, 2009).



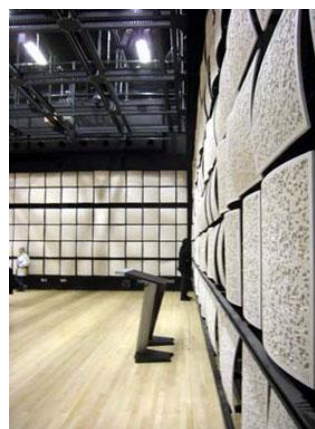
(a) Estúdio 1



(b) Revestimento do Estúdio 1



(c) Estúdio 2



(d) Revestimento do Estúdio 2



(e) Revestimento inspirado em cascas de árvores.



(f) Tela em 360°.

Figuras 6.43. de (a) a (f): Estúdios do EMPAC.

Fonte: Imagens gentilmente cedidas por Johannes Goebel.

Independentemente de como os estúdios estariam sendo utilizados em um dado momento, o padrão RC15 do *Room Criteria Curves*, abreviado como curvas RC, deveria

ser mantido, não importando se havia duas ou duzentas pessoas naqueles espaços. Para atingir esse objetivo, um sistema de ventilação introduz ar rápida e silenciosamente através de bicos especialmente projetados, localizados logo abaixo da grelha em que são instalados os equipamentos de som e iluminação (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Localizados dessa forma, evitam que o ar seja aquecido pelas lâmpadas. A exaustão do ar acontece bem acima desses equipamentos.

6.4.2. Implantação e Meio Urbano

O terreno em acentuado declive, com vista para a cidade de Troy e para o rio Hudson como mostra a Figura 6.44, apresentava desafios técnicos ao mesmo tempo em que criou oportunidades arquitetônicas.



Figura 6.44. EMPAC, vista para o rio Hudson.

Fonte: Imagem gentilmente cedida por Johannes Goebel.

A presença de argila mole e rocha profunda no terreno do EMPAC levou a uma complicada série de estudos interativos de projeto para uma distribuição otimizada do edifício na encosta, com diferentes configurações de estruturas de contenção. Metade do edifício está abaixo do nível da rua. Como cada ambiente é separado um do outro, os espaços possuem diferentes características de fundação e assentamento no terreno. O projeto previa um muro de arrimo de 21m de altura, a fim de se proteger contra a ladeira inclinada a quase 30° (LABARRE, 2009). Ao invés de lutar contra o terreno, o projeto final

tirou vantagem dele, maximizando as vistas para o rio (YODERS, 2009), representado pela Figura 6.45. Foram tomadas medidas extremas, como nos edifícios localizados em regiões em que há risco de grandes terremotos. O edifício está ancorado com 215 cabos que alcançam terreno rochoso, tornando EMPAC o edifício mais seguro sismicamente da região.



Figura 6.45. Elevação esquemática do EMPAC.
Fonte: GALLAGHER, HAPPOLD (2009).

Os arquitetos consideraram a câmara ressonante dos instrumentos de corda, na crença de que tradição e experimentação estão ligadas pela física invariável do som. Todos os vinte e quatro ambientes foram construídos nos mais altos padrões acústicos e podem ser utilizados simultaneamente. Para que isso fosse possível sem a interferência sonora de um ambiente para outro, os ambientes principais foram distribuídos escalonados no terreno para aumentar o isolamento e foram construídos com fundações separadas, complexas estruturas independentes e isolamento resiliente (SALMI, 2009).

Os espaços foram projetados para atingir o padrão normativo RC15 de ruído de fundo, próximo ao limite da audição humana. Para isso, cada ambiente foi construído estruturalmente e acusticamente separados um do outro, o que permite que todas as salas sejam utilizadas simultaneamente. Para amortecer outras vibrações, partes do edifício foram apoiadas em molas incorporadas na fundação. A preocupação era com os ruídos propagando pelo piso e estrutura. Todas as lajes, incluindo a do piso (30,4cm) e as paredes de 18,29m de altura foram concretadas e posteriormente erguidas sobre molas. O estúdio 2 possui fundações completamente independentes e acima dele há ambientes que não apóiam em sua laje (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009).

Cada ambiente do complexo é um caixa de concreto envolta em uma estrutura secundária (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). As estruturas impedem que o som seja transmitido de um ambiente a outro, interferindo nas atividades realizadas em cada um deles. Os estúdios e teatro também foram construídos com paredes reforçadas de concreto que são fisicamente separadas por um envelope externo de armações de aço lateralmente independentes. Cada ambiente é então um “prédio contendo outro”, ou seja, uma unidade acusticamente isolada com uma antecâmara, escritórios, estúdios de artistas residentes e casas de máquinas envoltas em uma estrutura separada. Com esse sistema de completa separação dos ambientes, um baixíssimo ruído de fundo foi conseguido, com espaços entre as paredes, pisos e tetos, para prevenir a condução de vibrações.

O controle de ruídos era crucial e para isso o sistema hidráulico e de condicionamento de ar foi inteiramente projetado para funcionar o mais silencioso possível, não interferindo no ambiente sonoro de cada espaço do complexo. O isolamento estrutural e o avançado sistema de ventilação eliminaram vibrações entre os componentes e o zumbido convencional do sistema de condicionamento de ar nos dutos. O número de orifícios para a entrada e saída de cabos e de sistemas de ventilação e iluminação foram minimizados para limitar o potencial de transmissão sonora entre os ambientes (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Uma combinação de barreiras acústicas físicas, atenuadores sonoros, parede ventilada, tratamento acústico dos dutos e suportes anti-vibração previnem a transmissão de diálogos, ruídos e sons de um ambiente para outro (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009).

6.4.3. Forma

A sala de concertos foi o principal gesto arquitetônico e acústico do EMPAC. O conceito de uma sala de concertos com o tradicional formato de caixa de sapato, do século XIX, foi solidificado após visitas técnicas dos projetistas pelos grandes espaços performáticos europeus (LABARRE, 2009). Possui 1.200 assentos em frente ao palco e um único balcão largo, Figuras 6.46. (a) e (b), além de assentos adicionais formando um coro ao redor das margens do palco.

Grimshaw e Kirkegaard Associates desenvolveram uma forma arquitetônica para este espaço que é acusticamente difusora, enquanto mantém o ambiente aberto e crescente. Isto foi conseguido por técnicas de modelagem e pela meta de utilizar novas tecnologias materiais, incluindo a aplicação de tecido parcialmente refletor acústico como forro, Figuras 6.46. (a) e (b). As paredes laterais de concreto são levemente curvas a fim de evitar ecos flutuantes, conforme a planta na Figura 6.47. As paredes são espessas, com 30,5cm em média, para melhorar o isolamento dos ruídos externos. Painéis convexos e côncavos de concreto fixados nas paredes superiores fazem com que a espessura do sistema chegue a 56 cm em alguns pontos (MINUTILLO, 2009).



(a) Balcão da sala de concertos do EMPAC.



(b) Forro de tecido.

Figuras 6.46. (a) e (b): Sala de Concertos do EMPAC.
Fonte: Imagens gentilmente cedidas por Johannes Goebel.

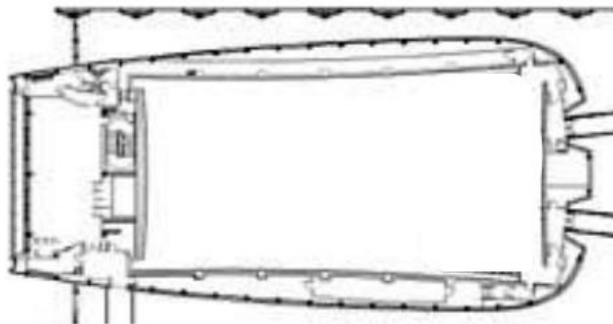


Figura 6.47. Planta da sala de concertos do EMPAC.
Fonte: GALLAGHER, HAPPOLD (2009).

6.4.4. Dimensões e Volume

Internamente, a sala de concertos do EMPAC assume as proporções básicas e o volume de grandes salas de concerto do século XIX. Inspirada na Vienna Musikverein, a sala de concertos possui o tempo de reverberação de dois segundos para grandes orquestras (MILLARD, 2009).

A sala de concertos do EMPAC mede aproximadamente 23m de largura, 44m de comprimento e 17m de altura do nível do palco até o teto. A altura do forro de tecido é 12,5m. O palco está a 1,2m do piso da platéia e mede 19,5m, com 10m de profundidade, podendo ser estendido até 13,5m²⁴. Essas dimensões são aproximadas, uma vez que a sala de concertos não é um retângulo perfeito. O volume da sala de concertos é aproximadamente 12.650m³, abaixo do forro.

²⁴ Informações gentilmente cedidas pelo consultor acústico Zackery Belanger, da Kirkegaard Associates, via email.

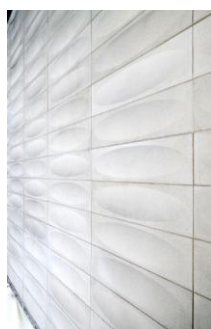
6.4.5. Materiais

A difusão sonora da sala de concertos do EMPAC é dada por diversos elementos. Atrás da orquestra há uma série de tiras de madeira. As paredes mais altas são revestidas de painéis pré-moldados extremamente pesados, feitas com agregado de calcário triturado. Cada painel possui um dispositivo acústico elíptico que alterna entre baixo e alto relevo e é organizado de forma aparentemente aleatória para tornar o som difuso na parte mais alta da sala de concertos, nas Figuras 6.48. (b) e (c). Os painéis são iluminados por baixo por mangueiras de led²⁶. Estes painéis são feitos de gesso reforçado com fibra de vidro e ondulados para atuar como difusor para médias a altas frequências. Existem sete tipos de painéis elípticos definidos pela profundidade: -3', -2', -1', 0, +1', +2', +3'. A colocação dos painéis foi definida por computador, tornando a sala de concertos menos difusora no fundo e mais difusora quanto mais próximo da área do palco²⁵.

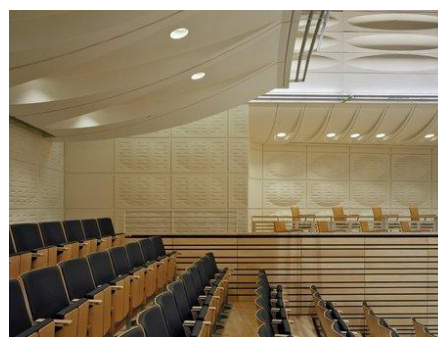
As paredes da platéia inferior são revestidas por faixas horizontais de pranchas de carvalho perfilado, separados por uma fina fita de wenge (madeira escura originária da África)²⁶, mostradas nas Figuras 6.48. (a) e (c). A profundidade e o espaçamento entre as madeiras foram calculados milimetricamente²⁷.



(a) Revestimento em madeira de carvalho com wenge.



(b) Revestimento com painéis de gesso em relevos.



(c) Revestimento das paredes da sala de concertos do EMPAC.

Figuras 6.48 (a), (b) e (c). Revestimento da sala do EMPAC.

Fonte: <http://www.metropolismag.com/story/20090121/the-improbable-act>

²⁵ Idem

²⁶ <http://www.worldbuildingsdirectory.com/project.cfm?id=1254>

²⁷ Conforme entrevista a Zackery Belanger, consultor acústico da Kierkegaard Associates

A consultoria acústica de Kirkegaard incluiu o planejamento extenso da infraestrutura de áudio/vídeo que permite a conexão de uma grande variedade de equipamentos, alguns com capacidade de transmitir apresentações em vídeo 3D e atividades imersivas com projeções em telas de 360°, Figuras 6.43. (f), vídeos interativos, robótica e outros. As recomendações acústicas foram feitas considerando as superfícies e materiais a serem utilizados nos compartimentos desses equipamentos e computadores²⁸.

Além da forma convexa das paredes laterais da sala de concertos, há painéis de gesso reforçados com fibra de vidro, no nível do balcão, onde a curvatura é mais acentuada. As formas das superfícies e dos painéis refletores se combinam para controlar a tonalidade e a vivacidade (MINUTILLO, 2009). As superfícies de formatos variados permitem que artistas e palestrantes se posicionem em qualquer lugar do hall, redefinindo o conceito de que a música venha somente do palco.

A superfície dos painéis de concreto possui uma leve porosidade, proporcionada pelo limestone pulverizado, que foi cuidadosamente calculada e analisada para absorver um pouco de altas frequências. Já sua forma geométrica foi idealizada para a difusão sonora (MINUTILLO, 2009).

Grimshaw e Billings Jackson projetaram as poltronas especialmente para otimizar a acústica e a ergonomia (MINUTILLO, 2009). Os assentos de carvalho e couro da sala de concertos foram projetados especialmente para o EMPAC e foram resultado de uma busca pela combinação ideal de conforto, resposta acústica e qualidade. As arestas em carvalho servem para minimizar a exposição acústica do estofado (MILLARD, 2009).

Ao invés de optar por um forro acústico comum, utilizado em diversas salas de concertos existentes, Kirkegaard propôs o forro com um tecido que poderia otimizar a qualidade acústica e ao mesmo tempo acomodar os equipamentos técnicos discretamente. Seu teto inovador foi desenvolvido pela primeira vez, tanto para atender propriedades acústicas como estéticas. É composto por painéis de tecido com menos de 1mm de

²⁸ <http://www.kirkegaard.com/index.php/archives/95>

espessura, suportado por uma delicada teia de aço inoxidável, em uma organização em espiral, como é representado em planta pela Figura 6.49.

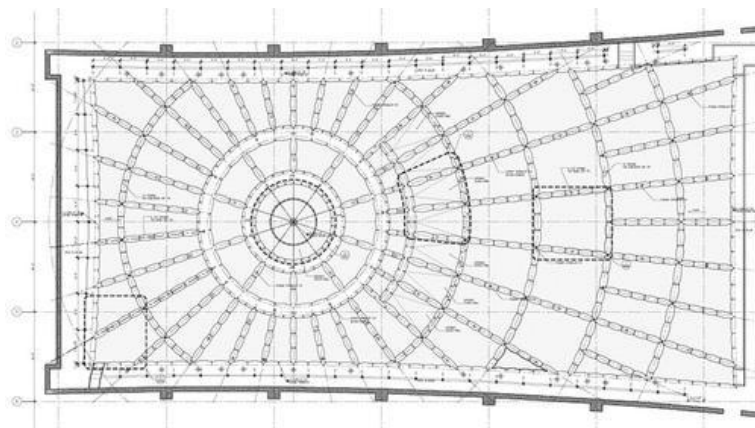


Figura 6.49. Planta do forro de Nomex do EMPAC.

Fonte: <http://www.metropolismag.com/story/20090121/the-improbable-act>

Kirkegaard pesquisou uma série de materiais têxteis na Universidade Estadual da Carolina do Norte. Foram quase cinco anos para desenvolver esse sistema (LABARRE, 2009). Cinquenta tipos de tecidos para o forro da sala de concertos foram testados pelos consultores da Kierkegaard Associates, até chegarem ao tecido Nomex, um tipo de lona resistente a chamas, que é utilizado nos macacões dos pilotos da NASCAR. Nomex reflete sons de alta frequências, permitindo que os sons de baixa frequência o atravessem, reverberando no espaço próximo ao teto. O tecido foi então instalado a partir do desenho de Grimshaw, esticado até as bordas do teto da sala de concertos, em um formato de mandala, até altura de 12,19 m. Fortemente trançado, este tecido permite que os músicos ouçam uns aos outros e a eles mesmos por meio de reflexões equilibradas de médias e altas frequências (MINUTILLO, 2009). O forro de Nomex, também possui o formato levemente convexo e esconde os equipamentos de luz e som (YODERS, 2009).

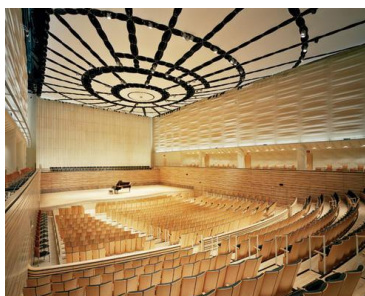
Segundo a equipe de Kirkegaard²⁹, o sucesso aural da sala de concertos é devido, em parte, pela interação entre o volume, as paredes côncavas, superfícies difusas e painéis absorvedores ajustáveis, e o forro do tecido NOMEX, que cobre a sala inteira. Essa combinação de atributos é responsável pelo suporte acústico aos músicos no palco,

²⁹ Conforme entrevista a Zackery Belanger, consultor acústico da Kierkegaard Associates

enquanto permite que o volume acima do forro de tecido contribua para a reverberação esperada para uma sala de concertos de primeira. Um estudo aural do projeto acústico foi realizado antes da construção para verificar a viabilidade (YODERS, 2009).

6.4.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica

O RPI exigia os mais altos padrões de desempenho para o prédio do EMPAC, inclusive o desempenho acústico. A acústica foi centro das atenções desde o início. Otimizada para música clássica da era romântica, a sala de concertos também possui versatilidade e tecnologia para variabilidade acústica, acomodando confortavelmente filmes, jazz, música amplificada eletronicamente e dança. Através de um sistema automatizado, cortinas absorvedoras podem ser estendidas em todas as paredes da sala de concertos, escondendo os difusores acústicos, de acordo com as exigências acústicas de cada tipo de espetáculo, Figuras 6.50. (a), (b) e (c).



a)



b)



c)

Figuras 6.50. (a), (b) e (c). Sistema de variabilidade acústica do EMPAC, através de painéis absorventes.

Fonte: <http://www.iastage.com/>

6.4.7. Metodologia Projetual

Após a seleção da equipe de arquitetos do EMPAC, iniciou-se um intenso processo de desenvolvimento de projeto (YODERS, 2009). O projeto arquitetônico foi realizado com a equipe de Grimshaw em conjunto com a presidente do RPI, Shirley Jackson e o diretor do EMPAC, Johannes Goebel. Ao serem contratados, todos os especialistas que compunham a equipe assinaram um compromisso de que participariam de modo interativo ao processo de projeto (YODERS, 2009).

Segundo Herskovitz, da consultora responsável pelas subcontratações AWI (Architectural Woodwork Industries), o mais importante era a metodologia de trabalho da equipe, e que todos os profissionais fossem envolvidos desde o início do processo de projeto (YODERS, 2009). AWI coordenou todos os trabalhos de subcontratação, integrando-os ao modelo 3D final, e colaborou também no detalhamento das complexas curvas do casco de cedro que envolve a sala de concertos. A equipe de projetistas era formada por centenas de profissionais, incluindo a equipe de Grimshaw, das equipes de engenheiros, vinte quatro membros da Kierkegaard Associates, sendo oito consultores acústicos com envolvimento direto no projeto do EMPAC, além de consultores de outras áreas.³⁰

Inicialmente, a empresa Arup, consultora acústica, foi contratada para o projeto acústico do EMPAC, porém, ainda no início do projeto, foi substituída pela Kierkegaard Associates. Essa troca de profissionais não é comum, no entanto, as equipes de projetistas devem estar em sintonia, trabalhando em conjunto.

O desafio do projeto era que seus múltiplos ambientes, com suas necessidades diversas, pudessem funcionar simultaneamente. Devido à complexidade do projeto, todos os detalhes foram discutidos exaustivamente, com toda a equipe. Essas sessões de discussão geraram algumas das características mais inovadoras do projeto: a separação acústica dos ambientes, como edifícios dentro de edifícios, um estúdio com piso elevado sobre molas

³⁰ Conforme entrevista a Zackery Belanger, consultor acústico da Kierkegaard Associates

absorvedoras sonoras; paredes com veios inspiradas no silêncio de uma clareira em uma floresta; um sistema de água quente correndo pelos montantes das esquadrias, evitando a condensação do vidro, para não atrapalhar a vista para o rio Hudson (LABARRE, 2009).

O software Rhinoceros foi utilizado para modelagem e análise das superfícies do edifício, como sugestão de Grimshaw. A equipe trocava modelos uns com os outros em uma base de dados diária. Segundo o diretor de projeto, Shane Burger, a utilização do Rhino como ferramenta contribuiu para atingir um objetivo comum estético, técnico e de construção. A equipe utilizou o BIM e um processo de projeto completamente integrado para entregar um grande projeto, algo que fosse além do trivial (YODERS, 2009).

Os projetos complementares do EMPAC também tiveram que equilibrar uma série de exigências acústicas, de qualidade do ar, conforto e eficiência energética, em todos os seus ambientes (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). A Simulação Computacional da Dinâmica de Fluidos (CFD) foi um instrumental utilizado para prever e solucionar problemas dos espaços críticos do EMPAC. Essa tecnologia foi especialmente útil para a sala de concertos e para o teatro. O software CFD foi utilizado para calcular a temperatura e velocidade do ar necessária, em conformidade com os rígidos critérios acústicos, além de mapear o movimento do ar e as condições de conforto ambiental, indicando como o ar deveria ser distribuído.

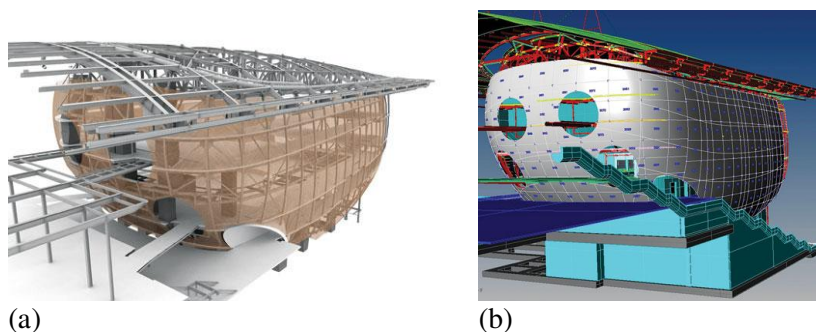
O software também foi imprescindível para o detalhamento da quantidade de ar necessária para contrabalancear o aquecimento provocado pelos equipamentos, que difere conforme o ambiente do edifício. O software CFD também é capaz de mostrar ao cliente como todo o sistema de condicionamento de ar irá funcionar, antes de ser instalado (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). O planejamento e fabricação do sistema de ventilação por baixo das poltronas da sala de concerto seria muito mais difícil e demorado sem o suporte da modelagem virtual (YODERS, 2009).

Durante a construção, o processo de colaboração entre os profissionais da equipe continuou. Com a participação do fornecedor de produtos de áudio e vídeo (a empresa AZCAR), foi incluído no projeto do EMPAC uma infra-estrutura com que há de melhor em

produção, performance ao vivo, pós-produção e tecnologias para pesquisa. Herskovitz, da empresa AWI (Architectural Woodwork Institute), recomendou que a toda a equipe de projetistas utilizasse o BIM e um software de construção virtual para solucionar os problemas de projeto. No entanto, a equipe de Grimshaw já estava há mais de um ano utilizando o software Rhino, que também pode calcular informações para formas complexas, como as superfícies NURBS (non-uniform rational B-splines) do EMPAC (YODERS, 2009).

O software Rhino é capaz de calcular qualquer ponto em uma curva complexa, com um alto grau de precisão, além de auxiliar na transformação dos traços artísticos de Grimshaw em painéis de aço, madeira e suas conexões. Cortes e plantas 2D também podem ser gerados através do Rhino. A utilização do software Rhino também permitiu à equipe de projetistas decompor as estruturas curvas em partes menores e organizá-las para a fabricação e instalação. Dessa forma foi possível a pré-fabricação na própria empresa fornecedora em Minneapolis (Radius Track).

A equipe de projetistas da empresa responsável pela estrutura de aço (Supermetals Structures, Quebec) modelou a estrutura externa do edifício no programa de 3D SDS/2, em que é possível exportar arquivos no formato IGES. O escritório do engenheiro Buro Happold criou em 3D todas as instalações e estruturas do edifício (YODERS, 2009), Figuras 6.51. (a) e (b).



Figuras 6.51. (a) e (b). Modelos em 3D do EMPAC.

Fonte: http://www.cgarchitect.com/news/Reviews/Review062_1.asp

Além do software CFD, o software BIM ajudou a equipe de projetistas a coordenar as complexas estruturas do edifício e a compatibilização exata dos projetos complementares, arquitetônico e estrutural. Todas as salas equipamentos e distribuição foram modeladas em 3D durante a fase projetual, o que ajudou a traçar a canalização através das estruturas. Os projetos complementares e estrutural foram realizados lado a lado no mesmo escritório, o que contribuiu para minimizar os problemas e facilitou a compatibilização durante todas as fases do projeto (GALLAGHER, HAPPOLD, 2009). Muitos confrontos foram encontrados no modelo final com todos os projetos unificados. A equipe de projetistas foi então capaz de visualizar e solucionar todos os problemas antes mesmo do início da construção.

Esse edifício é um exemplo de que, se os requisitos funcionais e de desempenho são atendidos, a beleza pode vir do projeto de um espaço verdadeiramente relacionado ao desempenho. O sucesso do edifício foi resultado do trabalho de Grimshaw, aliado a uma equipe dinâmica formada por arquitetos, engenheiros, técnicos, acústicos e projetistas de teatro. Tudo poderia estar desfeito sem a participação de algum desses especialistas (LABARRE, 2009).

Johannes Goebel³¹, diretor do EMPAC, considera que a qualidade acústica dessa obra só foi possível porque arquiteto e proprietário enxergavam acústica como mais do que um protocolo. Em suas palavras³², “...o arquiteto abraçou as limitações de forma e materiais exigidos para a performance acústica”.

6.4.8. Dados Acústicos

As medições acústicas da sala de concertos do EMPAC estavam sendo realizadas, pela primeira vez, concomitantemente à realização dessa pesquisa. Obteve-se contato com a empresa Kierkegaard Associates, responsável pelo projeto acústico e pelas medições

³¹ Informações obtidas por email.

³² Idem.

acústicas oficiais do EMPAC, porém o levantamento dos dados ainda não havia sido finalizado. Portanto, não estavam disponíveis os valores dos parâmetros acústicos objetivos dessa sala e assim não aparecem nos gráficos apresentados. A Tabela 8 apresenta os dados disponíveis sobre o EMPAC.

Tabela 8. Dados acústicos do EMPAC.

<i>Parâmetros</i>	Volume (m³)	Capacidade (assentos)	TR (s) (500Hz a 1000Hz)
EMPAC	12.650	1.200	2,0

Fonte: Dados fornecidos pelo consultor acústico Zackery Belanger, da empresa Kirkegaard Associates.

6.4.9. Ficha-síntese

Tabela 9. Ficha-síntese EMPAC

Centro de Mídia Experimental e Artes Performáticas - EMPAC	
Arquiteto:	Nicholas Grimshaw
Consultoria Acústica:	Kirkegaard Associates
Ano Projeto:	2001
Data Construção:	2002-2008
Data Inauguração:	03 de outubro de 2008
Custo aproximado:	US\$ 200 milhões
Capacidade:	1.200
Local:	Troy/NY - EUA
 Foto externa	 Foto interna

Fonte: <http://empac.rpi.edu/>

6.5. Walt Disney Concert Hall

O Walt Disney Concert Hall é um edifício inovador, desde o método utilizado para sua concepção até a maneira de aplicação dos materiais construtivos. Projetado pelo arquiteto Frank Gehry e equipe, o edifício é sede da Orquestra Filarmônica de Los Angeles – EUA (Figura 6.52).

Lillian B. Disney doou U\$50 milhões, em maio de 1987, para a criação de uma sala de concertos em homenagem ao seu falecido esposo Walt Disney. O objetivo era construí-la no subúrbio de Los Angeles, recuperando aquela área, que estava degradada. O edifício deveria ter excelente acústica e ser construído com o que havia de mais moderno em tecnologia. Um comitê foi criado a fim de estabelecer um programa de necessidades para o edifício. Visitas guiadas pelas principais salas de concerto do mundo foram realizadas pelo comitê, que concluiu que o edifício deveria ter fácil acesso da rua, criar uma intimidade entre músicos e platéia, preservando perfeita qualidade sonora (GERACE e WHITE, 2003).



Figura 6.52. Walt Disney Concert Hall.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>

6.5.1. Apresentação geral do projeto

Em agosto de 1987, foi realizado um concurso para a escolha do arquiteto, em que quatro arquitetos foram selecionados a partir de uma lista com 80 profissionais de todo o mundo. A seleção era feita através de entrevistas e análise de trabalhos anteriores. Em

março de 1988, o comitê anunciou Geoffried Böhm, Frank Gehry, Hans Hollein e James Stirling, como os quatro finalistas. Na época, todos exceto Gehry eram vencedores do Prêmio Pritzker (GERACE e WHITE, 2003).

Gehry era o único arquiteto local dos quatro competidores, internacionalmente reconhecido pelo uso de materiais pouco convencionais. Seu trabalho havia sido incluído em exposições de arquitetura desconstrutivista. Cada finalista recebeu um detalhado programa do comitê, com foco para três principais objetivos: criar uma ligação conceitual com o Centro de Música de Los Angeles; construir com foco no desenvolvimento do entorno no subúrbio de Los Angeles e fazer uma análise dos lotes vizinhos; e criar um espaço de excelente acústica, proporcionando uma sonoridade natural, forte, limpa e sem distorções.

Os arquitetos foram encorajados a projetar a favor dos parâmetros acústicos. O projeto deveria ainda ter um conceito inspirador, que honrasse a criatividade e integridade de Walt Disney, e representasse a excelência artística do Centro Musical de Los Angeles. Os arquitetos estavam sendo avaliados quanto a sua habilidade de resolver os problemas e de lidar com o grupo de clientes.

O comitê considerou que o projeto apresentado por Gehry evidenciou um completo entendimento do que o edifício deveria ser para Los Angeles, acessível a diferentes platéias culturalmente e economicamente. Frank Gehry foi anunciado como vencedor em 12 de Dezembro de 1988 (GERACE e WHITE, 2003).

Uma complexa mistura de política, planejamento, gerenciamento e problemas orçamentais levaram à paralisação da construção em Novembro de 1994. Os atrasos eram causados principalmente pelas complicadas negociações com a prefeitura e os inúmeros redesenhos relacionados ao projeto acústico. O edifício começou a ser construído em Dezembro de 1992, antes do detalhamento do projeto. Assim, Lillian Disney, já com 92 anos, poderia acompanhar o progresso da obra. O projeto resistiu a uma grande inquietação no início dos anos 90, um terremoto e uma recessão em Los Angeles. O terremoto de 1994

levou a uma alteração no tipo de estrutura da Walt Disney Concert Hall, aumentando os custos (GERACE e WHITE, 2003).

A Walt Disney Concert Hall é parte edifício, parte sala de concertos e parte escultura, com diversos jardins, dois anfiteatros ao ar livre, e superfícies côncavas e convexas de aço inoxidável escovado (GELDENHUYS, 2008), Figura 6.53 e Figura 6.54. A Walt Disney Concert Hall conta com completa infra-estrutura para os músicos da Filarmônica de Los Angeles, que se apresenta em torno de 150 vezes por ano. Além da sala de concertos para 2.265 pessoas, há uma biblioteca, salão de entrada, salas para ensaios, vestiários, depósitos para instrumentos, entre outros. Dois pavimentos de escritórios são integrados com a área dos bastidores. Para a equipe de projetistas, o lobby deveria se comunicar com a via pública, como uma ponte que liga a vida cotidiana com o interior da Walt Disney Concert Hall, que seria um centro de atividades cívicas.

O projeto foi sendo desenvolvido de dentro para fora, ao invés de tentar encaixar tudo em uma caixa simétrica. A forma escultural gerada pelo layout da sala pôde ser rotacionada, criando uma fachada dinâmica. Essa rotação liberou espaço para terraços e jardins e promoveu uma ligação com o Museu de Arte Contemporânea ao sul, a norte com o Centro de Música, e a Leste com um conjunto de torres comerciais (GERACE e WHITE, 2003).



Figura 6.53. Entrada da Walt Disney Concert Hall.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>



Figura 6.54. Vista aérea da WDCH.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>

No jardim atrás do palco da sala de concertos, Figura 6.55 (a) e (b), há um anfiteatro ao ar livre, com uma parede em forma de ferradura, de blocos de pedra calcária com uma arquibancada de concreto de seis níveis, como mostra a Figura 6.56. Uma cobertura de aço em balanço com defletores (baffles) de gesso arredondados foi projetada para uma ótima difusão sonora. Há também uma sala para música de câmara com 150 assentos abaixo das arquibancadas do anfiteatro, Figura 6.57.



(a) Fonte em formato de rosa em homenagem à Lilian Disney

Figura 6.55. (a): Jardim da Walt Disney Concert Hall.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>



Figura 6.56. Anfiteatro ao ar livre.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>



Figura 6.57. Sala para Música de Câmara.

Fonte: <http://www.laphil.com/visit/tours/>

Para o órgão da sala de concertos, Gehry queria fugir da imagem de um órgão de igreja e criou uma dramática composição de tubos de madeira com a colaboração de Manoel Rosales, Figura 6.58. Fabricado pela empresa alemã Glatter-Goetz Orgelbau, o órgão é um elemento marcante da sala de concertos.



Figura 6.58. Órgão da sala de concertos.

Fonte: <http://www.rosales.com/index.htm>

O projeto original previa um orçamento de U\$110 milhões, para ser inaugurado em 1997. Com alguns desentendimentos quanto ao complexo projeto e aos grandes custos, a obra parou em 1996 com apenas a estrutura do estacionamento do subsolo pronta.

O projeto estrutural da Walt Disney Concert Hall foi realizado pela John A. Martin & Associates Inc., uma das maiores empresas privadas de engenharia dos Estados Unidos. A estrutura do edifício consiste em duas partes: a primeira com sete níveis de estacionamento abaixo do solo, construída entre 1992 e 1996; e a segunda, acima do solo, que foi construída de 2000 a 2003.

O sistema estrutural do subsolo consiste em uma laje plana na qual lajes protendidas de concreto, com espessuras de 22,8 a 28cm são interconectadas com colunas. A laje do nível da rua possui mais de 1,15m de espessura para acomodar o peso do equipamento de construção e para funcionar como um rígido diafragma que transfere as cargas laterais, sísmicas e o peso de todo o edifício. A estrutura acima do piso é em aço e projetada para resistir a abalos sísmicos (REMILLARD *et al.*, 2004).

Uma característica particular dessa estrutura é o uso de espessas lajes e paredes de concreto para obter o isolamento sonoro desejado, além do teto com mais de 30,5cm de espessura de concreto armado. Essa grande quantidade de massa era somente um dos desafios do projeto estrutural.

Muitos outros desafios também fizeram parte da construção dessa obra singular. A forma fluida do edifício demandou o desenvolvimento de novas técnicas construtivas. No interior da Walt Disney Concert Hall, a iluminação foi utilizada para destacar as curvas das paredes altas. O hall ainda incorpora telões para vídeo e um sistema sonoro no lobby aberto, para que o público escute enquanto espera.

Foram 15 anos do concurso ao final da construção. O projeto da Walt Disney Concert Hall é anterior ao do Museu Guggenheim de Bilbao, porém este último foi concluído primeiro. Muitas mudanças ocorreram no projeto, como notável consequência do conhecimento obtido com a construção do museu. O museu de Bilbao e a Walt Disney

Concert Hall compartilham uma pele metálica curvilínea e representam um símbolo inspirador às cidades onde estão. A pele de aço inoxidável apresenta alguns inconvenientes, como o aquecimento e brilho excessivo em dias ensolarados, que provocam desconforto visual aos pedestres, edifícios vizinhos, podendo até mesmo interferir na segurança do trânsito.

6.5.2. Implantação e Meio Urbano

Em 2000, com o edifício ainda em construção, a Walt Disney Concert Hall se tornou centro de um projeto muito maior de reconstrução do entorno em um centro cultural unificado, com um custo total de U\$1.8 bilhões, em 33,5 hectares, incluindo a construção de parques, restaurantes, hotéis e casas de entretenimento (GERACE e WHITE, 2003).

O edifício foi construído em um terreno de mais de 14.500 m² na colina Bunker na Grand Avenida, em Los Angeles. A Figura 6.59 mostra a Walt Disney Concert Hall em seu entorno.



Figura 6.59. Walt Disney Concert Hall em Los Angeles, EUA.

Fonte: <http://www.laphil.com/>

O projeto da Walt Disney Concert Hall valeu-se do completo isolamento estrutural de seus ambientes para a proteção contra os ruídos urbanos. Dessa maneira, a implantação e a topografia do terreno não foram aspectos acusticamente relevantes a esse projeto.

6.5.3. Forma

Na WDCH, os consultores acústicos Nagata e Toyota recomendaram o formato caixa de sapato com paredes paralelas como nas salas européias. Sua análise científica estava combinada com a sensibilidade em psicoacústica. Embora os computadores possam ditar quanto som refletido irá alcançar cada assento, algumas características não podem ser medidas com precisão. As paredes internas são inclinadas para fora para melhorar a acústica e contribuir para a qualidade dinâmica do hall.

Os projetistas se esforçavam para retomar o aspecto orgânico do projeto ganhador do concurso, buscando maneiras de aproximar a orquestra da platéia. Gradualmente, suas idéias convergiram ao conceito de poltronas em blocos que lembram barcos. Os assentos escalonados foram inspirados pelos teatros da Renascença em que a platéia era acomodada em uma pirâmide invertida de estreitos balcões para ficar o mais próximo possível do palco. Os balcões foram mantidos rasos para evitar o bloqueio do som refletido nos assentos posicionados abaixo do balcão. A platéia é dividida em blocos por uma divisória baixa que contribui para as primeiras reflexões.

O teto é composto por nove faixas onduladas inspiradas em velas de barcos, Figura 6.60. Essas faixas são precisamente espaçadas e contornadas para maximizar a reflexão sonora. As idéias e conceitos que Nagata usou pela primeira vez no Sapporo Concert Hall foram incorporados à WDCH. Paredes baixas foram adicionadas próximas ao palco para equilibrar sons refletidos e som direto nas primeiras fileiras.

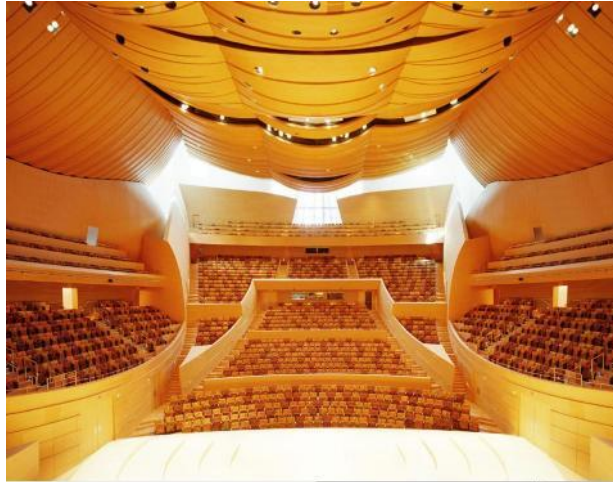


Figura 6.60. Vista interna da Walt Disney Concert Hall.

Fonte: <http://www.laphil.com/>

Enquanto a maioria dos arquitetos cria uma caixa simétrica para depois tentar encaixar o auditório nela, Gehry iniciou o projeto da Walt Disney Concert Hall pelos requisitos acústicos, como prioridade de projeto. A consultoria acústica apresentou ao arquiteto todos os requisitos acústicos que a sala deveria atender para obter a melhor sonoridade. Os dois requisitos mais difíceis de atender foram o teto baixo e a sala estreita (GERACE e WHITE, 2003). A planta da sala de concertos é mostrada na Figura 6.61.

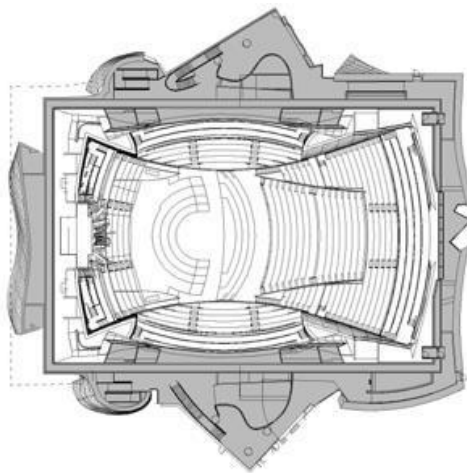


Figura 6.61. Planta da sala de concertos da Walt Disney Concert Hall.

Fonte: TOYOTA, OGUCHI, NAGATA (2004).

6.5.4. Dimensões e Volume

O tamanho era um ponto crítico na sala de concertos da Walt Disney Concert Hall (GERACE e WHITE, 2003). Um acordo precisou ser feito para que a sala se tornasse larga o bastante para acomodar os assentos e estreita o suficiente para permitir o movimento das ondas sonoras. Na sala de Boston, as fileiras de assentos são tão apertadas que não seriam permitidas hoje. O objetivo da WDCH era alcançar a máxima densidade que o conforto e a segurança permitissem e maximizar a exposição ao som direto e refletido em todos os lados do palco. Isso iria aumentar a sensação de unidade entre platéia e músicos. Os 2.265 assentos são dispostos em arquibancada ao redor do palco e, com volume de 30.600m³, representam 13,50m³ por pessoa.

Enquanto os acústicos desejavam que a sala fosse mais estreita, os arquitetos queriam aumentar a largura para alocar mais poltronas. Dessa maneira, o teto foi um grande desafio de projeto, para que se conseguissem as reflexões adequadas. A necessidade de um teto baixo, porém, conflitava com a arquibancada da platéia. O teto é o elemento mais representativo da integração entre acústica e arquitetura neste projeto (GERACE e WHITE, 2003). Sobre a orquestra foi definida a altura de 6,71m. A equipe de Gehry criava o teto, que então era analisado pela Nagata Acoustics, que por sua vez representava a distribuição do som com pontos vermelhos. A partir daí, os projetistas o reconfiguravam.

6.5.5. Materiais

A maioria das boas salas de concertos Européias é revestida em madeira, que gera um sentimento de intimidade e calor sonoro, tornando a platéia mais próxima da música. No entanto, Nagata (consultor acústico da Nagata Acoustics) descobriu que na Concertgebouw (Amsterdam) a madeira era meramente decorativa, pois quem melhorava o desempenho acústico eram os 10cm de reboco por trás. Isso levou à decisão de utilizar

somente uma fina camada de uma espécie de pinus sobre rígidas paredes rebocadas e no teto da Walt Disney Concert Hall (GERACE e WHITE, 2003).

As madeiras escolhidas para o revestimento dos pisos (carvalho) e teto (pinus) foram selecionadas pela aparência, exceto o cedro amarelo do Alasca colocado no palco para obter a ressonância necessária. Segundo Toyota, o violoncelo, contra baixo e piano são instrumentos que encostam diretamente no piso, daí a importância do material, espessura e da estrutura sob o piso (uma câmara ressonante).

Nagata sugeriu que, como os cantos da sala são acusticamente insignificantes, fossem feitas aberturas para a iluminação natural nas apresentações durante o dia. As aberturas são vedadas com caixilhos de aço com vidros duplos com 5 e 7cm de espessura separadas por 2,15m e que foram içados por um helicóptero. As janelas de vidro duplo, Figura 6.62, também podem ser revestidas por cortina de material absorvedor sonoro.



Figura 6.62. Iluminação natural no interior da WDCH.
Fonte: TOYOTA, OGUCHI, NAGATA (2004).

6.5.6. Mecanismos de Variabilidade Acústica

Fleischmann (diretor musical da Orquestra Filarmônica de Los Angeles) definiu que o auditório seria destinado a um único uso, em que os músicos se sentiriam totalmente à vontade em intimidade com a platéia. Para ele, balcões reforçariam a hierarquia social e arcos de proscênio separariam os artistas dos ouvintes, assim ambos deveriam ser eliminados (GERACE e WHITE, 2003).

Para Fleischmann, a sala modelo era a de Berlim e não queria nenhum tipo de variabilidade acústica. Sua intenção era ter a sala sempre pronta para a apresentação, sem necessidade de ajustes (GERACE e WHITE, 2003). Dessa maneira, não foi criado nenhum mecanismo de variabilidade acústica para a Walt Disney Concert Hall.

6.5.7. Metodologia Projetual

Frank Gehry, ao projetar o Walt Disney Concert Hall, idealizou que as pessoas na platéia olhassem as suas formas arquitetônicas e sentissem que estas harmonizam com a música que estão ouvindo (GERACE e WHITE, 2003). A escolha do consultor acústico era um fator crítico no projeto da Walt Disney Concert Hall. O consultor e o arquiteto, juntamente com o diretor musical da Orquestra Filarmônica de Los Angeles, Ernest Fleischmann, deveriam se tornar verdadeiros parceiros colaborativos durante o projeto e seu bom relacionamento era crucial. Durante sua visita ao Japão, o comitê ficou bastante impressionado com a acústica do Suntory Hall, construído em 1986, em Tóquio, cujo projeto acústico era de Minori Nagata, consultor acústico com mais de 60 projetos de salas e 40 anos de carreira. Desde o início do projeto, muito foi discutido com Minoro Nagata e seu sócio Yasuhisa Toyota. Eles viajavam mensalmente para Los Angeles e trabalhavam por fax com Gehry (GERACE e WHITE, 2003).

Gehry também teve a preocupação em entender os músicos, tirar suas dúvidas com eles, entender como eles pensavam os espaços, como se acomodavam aos espaços e o que

pensam quando se apresentam. A partir dessas discussões com os músicos da Filarmônica de Los Angeles, surgiram vários princípios que guiaram as decisões do arquiteto na estética do projeto.

Após o resultado do concurso, Gehry e sua equipe reiniciaram o projeto a partir de croquis e fizeram 82 modelos na escala 1:16 com quatro protótipos iniciais: as salas de Berlim, Viena, Amsterdam e Boston (GERACE e WHITE, 2003), mostrado na Figura 6.63. Gehry, Nagata e Fleischmann escolheram os modelos viáveis (nenhum com balcões, caixas ou assentos VIP's).

Após ganhar o Prêmio Pritzker em 1989, o escritório de Gehry passou por uma grande reformulação, aumentando o número de profissionais colaboradores de 30 para 75, além da implementação de novos softwares. Em 1991, o escritório passou a utilizar o aplicativo CATIA (Computer-Aided Tri-Dimensional Interactive Application) que foi desenvolvido inicialmente para a indústria aeronáutica francesa (GERACE e WHITE, 2003).

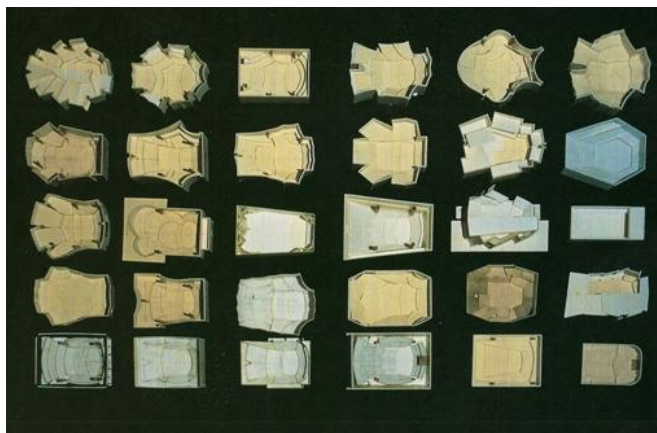


Figura 6.63. Alguns modelos em escala produzidos pelo escritório de Gehry para a WDCH.

Fonte: GERACE e WHITE, 2003.

A ferramenta preferida de Gehry são os modelos em escala. Somente quando Gehry sente que todas as suas dúvidas foram resolvidas é que ele leva o projeto para que os especialistas escaneem os modelos e produzam os desenhos técnicos (GERACE e WHITE, 2003). A construção de diversos modelos em escala ajudou no entendimento dos problemas

técnicos e construiu uma relação de confiança com os consultores da Nagata Acoustics. O objetivo era entender os princípios acústicos de forma que passassem a guiar o projeto.

Cada requisito fornecido pelos consultores acústicos era analisado de vários ângulos para que os arquitetos interpretassem a acústica e criassem boa arquitetura. Gehry reconhecia que não importava o quão espetacular o edifício fosse, se não funcionasse acusticamente seria um fracasso. Segundo Toyota, os arquitetos chegaram aos consultores acústicos com uma imagem pronta do espaço, pedindo-lhes que faça funcionar acusticamente. Ao contrário, Gehry começou a partir de um papel em branco e o processo de criação se deu integrado com os requisitos acústicos (GERACE e WHITE, 2003).

A equipe de Nagata testou as diferentes configurações modelando-as virtualmente em 3D. Posteriormente, testes foram feitos com modelos em escala 1:10, preenchidos por nitrogênio que expelle o oxigênio e o vapor d'água, que absorvem sons de alta frequência (GERACE e WHITE, 2003).

Observou-se nessa obra, a utilização do método *bottom-up*, citado no Capítulo 3, pois a sala de concertos foi o ponto de partida do projeto. O arquiteto iniciou a composição a partir de um ambiente específico e mais importante, desenvolvendo-o até chegar ao conjunto geral da edificação.

A sala de concertos e o lobby eram os maiores espaços externos, agrupados com outros ambientes menores. A equipe de projetistas tinha o desafio de criar uma forma externa fluída que pudesse unir esses elementos desassociados. Gehry então pensou no conceito de embrulhos. A transformação dos blocos ortogonais em uma composição em camadas de planos curvilíneos na linguagem de Gehry levou vinte meses. Essa linguagem teve início com o Vitra Design Museum, na Alemanha.

Inspiração e tecnologia caminham lado a lado. A adoção do software CATIA, no escritório de Gehry, em 1991, permitiu aos arquitetos escanear as maquetes com laser e alimentar com informação digitalizada um programa que seria usado para desenhar, projetar e construir o edifício. Os programas CAD são exaustivamente utilizados em

projetos arquitetônicos tradicionais, porém, prédios com projetos menos convencionais são difíceis de serem manipulados com os métodos comuns de CAD (MAHONEY, 1994). CATIA ajudou Gehry a abstrair as sinuosas formas curvilíneas de barcos à vela e peixes, que foram as formas utilizadas como partido arquitetônico. Para estudos da forma externa, finas folhas de papel eram modeladas para expressar as curvas. O CAD 4D foi utilizado como ferramenta para unir a geometria curvilínea ao cronograma planejado. O resultado foi uma animação que demonstrava a sequência de construção. Essa visualização era apresentada nas reuniões mensais da obra, onde eram planejados os próximos 90 dias, além de facilitar a visualização da construção.

Este era um projeto com múltiplos clientes: a Orquestra Filarmônica de Los Angeles, o Município, o Centro Musical, a família Disney e o comitê da Walt Disney Concert Hall, todos apontando para múltiplas direções. O gerenciamento das decisões se tornou muito complicado, pois cada grupo tinha sua própria idéia sobre o projeto.

6.5.8. Dados Acústicos

Os dados acústicos da Walt Disney Concert Hall foram extraídos do artigo “Acoustical Design of Walt Disney Concert Hall”, escrito pelos consultores acústicos da Nagata Acoustic, responsáveis pelo projeto acústico do edifício (TOYOTA, OGUCHI, NAGATA, 2004). As medições foram realizadas pela empresa, alguns meses antes da inauguração do edifício.

Obteve-se contato com o consultor acústico Yasuhisa Toyota, que disponibilizou o artigo em questão, apresentado no Congresso Internacional de Acústica (ICA) de 2004, em Kyoto – Japão. Não foi disponibilizada, porém, a descrição do método dos procedimentos de medição acústica, que resultaram nos valores dos parâmetros objetivos acústicos apresentados. A Tabela 10 apresenta os valores dos parâmetros acústicos da Walt Disney Concert Hall, extraídos de Toyota, Oguchi, Nagata (2004).

Tabela 10. Parâmetros Acústicos Objetivos da Walt Disney Concert Hall.

<i>Parâmetros</i>	Volume (m³)	Capacidade (assentos)	TR (s)	EDT (s)	C80 (dB) (500Hz)
Walt Disney C. H.	30.600	2.265	2,2	1,99	1,22

Fonte: Toyota, Oguchi, Nagata, 2004.

6.5.9. Ficha-síntese

Tabela 11. Ficha-síntese Walt Disney Concert Hall

Walt Disney Concert Hall	
Arquiteto:	Frank Gehry
Consultoria Acústica:	Nagata Acoustics
Ano Projeto:	1987-1988
Data Construção:	1988-2003
Data Inauguração:	23 de outubro de 2003
Custo aproximado:	US\$ 240 milhões
Capacidade:	2.265
Local:	Los Angeles - EUA
	
Foto externa	Foto interna

Fonte: GERACE e WHITE, 2003.

7. ANÁLISE

A seguir são apresentadas as análises dos quatro edifícios que compõem os estudos de caso nos aspectos implantação, forma, dimensões e volume, materiais, mecanismos de variabilidade acústica, metodologia projetual e dados acústicos. As análises foram realizadas sob o ponto de vista dos conceitos acústicos, investigando as soluções de projeto adotadas em cada um dos casos. As análises foram feitas considerando os projetos das salas de concertos de cada edifício, uma vez que é seu ambiente principal.

Esse capítulo traz também uma análise sintetizada da relação entre os parâmetros acústicos objetivos com os parâmetros acústicos subjetivos, com sugestões de respectivas estratégias arquitetônicas para atender a cada um desses parâmetros, organizada em forma de tabela.

7.1. Implantação e Meio Urbano

Os edifícios da Sala São Paulo, Casa da Música e Walt Disney Concert Hall estão localizados em áreas urbanas movimentadas, que ganharam nova vida após sua implantação, parte de um programa maior de revitalização urbana. Sendo um projeto de revitalização, a Sala São Paulo já tinha sua posição estabelecida no prédio existente da Estação Sorocabana, enfrentando, além dos ruídos do tráfego urbano, os ruídos da estação de trem em funcionamento no mesmo prédio. A solução foi a utilização dos salões como grandes camadas de ar, isoladas por painéis de vidro duplo e a completa vedação da sala de concertos, além do isolamento completo de toda a fundação.

O edifício da Casa da Música recria o entorno do que antes era uma via abandonada, com depósitos desocupados e comércio em decadência, na Praça da Boa Vista, do século XIX, com ruas em forma radial. No projeto da Casa da Música foram criados relevos no piso externo como tentativa de barrar os ruídos das ruas mais movimentadas.

Em todos os edifícios estudados, foi utilizado o sistema de piso flutuante, com isolamento por materiais resilientes entre os elementos estruturais, a fim de evitar a transmissão de ruídos e vibrações para o interior das salas de concerto. O EMPAC foi o único caso estudado em que a topografia natural do terreno foi utilizada para “proteger” os ambientes dos ruídos da rua. No edifício do EMPAC, fundações independentes, isolamento por materiais resilientes e o aproveitamento da topografia natural do terreno foram recursos utilizados para obter o maior isolamento acústico possível. A implantação das demais salas de concerto nos seus respectivos terrenos, portanto, não representou um aspecto que favorecesse o projeto acústico. Por outro lado, os estudos de caso deixaram evidente a confiança depositada na proteção contra ruídos externos, obtida por meio das tecnologias construtivas, desde vidros duplos a estruturas flutuantes.

7.2. Forma

Os casos estudados foram unânimes quanto ao formato retangular. Apesar de mostrarem ousadia em seus projetos, Grimshaw, Koolhaas e Gehry sentiram-se mais seguros ao conceber salas de concertos seguindo o formato já largamente estudado e utilizado na história das salas para música. Ao realizarem visitas a outras salas semelhantes, os arquitetos e consultores acústicos ficaram convencidos de que este seria o melhor formato a ser utilizado.

No projeto da Sala São Paulo, a forma estava pré-determinada pelo formato do “grande hall” existente. As salas de concertos do EMPAC e da Walt Disney Concert Hall tiveram suas paredes laterais inclinadas para fora, a fim de otimizar o espalhamento das ondas sonoras e evitar ecos flutuantes, que poderiam surgir com o paralelismo das paredes. Koolhaas inova ao adicionar vidros ondulados nas extremidades da caixa da sala principal da Casa da Música.

Os arquitetos deveriam descobrir qual a flexibilidade escultural disponível na “caixa de sapatos”. A colocação de balcões na platéia representou uma questão delicada nos

projetos estudados. Na Sala São Paulo, pequenos balcões retangulares foram adicionados entre as colunas existentes para permitir uma leitura mais limpa da arquitetura do edifício original. Há também um balcão maior ao fundo da sala. Os balcões da Sala São Paulo assumem importante papel na difusão sonora do ambiente. A Sala Suggia na Casa da Música possui dois pequenos balcões, um em cada parede lateral, que funcionam como camarotes.

No EMPAC, um único balcão largo foi colocado no fundo da sala. Outros assentos foram colocados nas laterais, “embutidos” nas paredes. Na Walt Disney Concert Hall, Gehry valeu-se dos balcões para dar dinâmica ao formato da platéia, separando-os por baixas paredes refletoras sonoras, remetendo à imagem de barcos. O teto da sala de concertos Walt Disney também foi um elemento cuja forma foi cuidadosamente estudada para o melhor desempenho acústico e estético.

7.3. Dimensões e Volume

No estudo inicial do dimensionamento das salas de concertos estudadas foram considerados os programas de necessidades e o número de assentos na platéia. Na Sala São Paulo, tanto as dimensões quanto a quantidade de poltronas foram consequência das dimensões pré-existentes do antigo jardim da Estação Sorocabana. Apesar disso, o projeto da Sala São Paulo foi realizado para que fosse possível a alteração de seu volume, pela altura variável do teto, principal aspecto do projeto para a manipulação das características acústicas.

Os programas das salas de concertos do EMPAC e da Casa da Música já previam o número aproximado de assentos. Já na Walt Disney Concert Hall, os arquitetos foram definindo as dimensões da sala conforme as orientações dos consultores acústicos. Após terem definido a quantidade de assentos em função da largura e comprimento desejados, o desafio foi a modelagem do teto e das alturas adequadas às demais dimensões da sala, a favor das reflexões sonoras. De acordo com as informações disponíveis para a realização

dessa pesquisa, o processo de projeto da Walt Disney Concert Hall mostrou-se coerente quanto ao processo de estabelecimento das dimensões, em conjunto com os consultores acústicos, após diversas simulações virtuais e através de modelos em escala.

A crescente preocupação com a segurança contra incêndio e pânico nos espaços públicos fechados fez com que aumentasse o rigor nos projetos desses ambientes, tanto na distância entre as poltronas como no dimensionamento das áreas de circulação. Esse foi um dos principais fatores que ocasionaram o aumento do volume por assento dos auditórios ao longo dos anos.

Foi possível fazer uma comparação do parâmetro volume por pessoa das salas estudadas com o de algumas das melhores salas de concertos existentes, através da Tabela 12, com dados extraídos de Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

Tabela 12. Comparação de volume e TR das salas estudadas com salas de concertos consagradas.

Sala de Concertos	Volume (m ³)	Volume por assento (m ³)	TR (s)
Vienna Musikvereinsaal	15.000	8,9	2,0
Boston Symphony Hall	18.750	7,1	1,8
Tokyo Suntory Hall	21.000	10,5	2,1
Sala São Paulo	de 7.680 a 24.960	de 5,1 a 16,54	2,0 a 3,2
Casa da Música	18.225	14,72	1,8 a 2,3
EMPAC	12.650*	10,55	2,0*
Walt Disney C. H.	30.600	13,50	2,2

Fonte: Oliveira (2005), Laurentius *et al.* (2007) e Santiago e Inácio (2008), Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

*Dados fornecidos pelo consultor acústico Zackery Belanger, da empresa Kirkegaard Associates.

A Tabela 12 demonstra que as salas de concerto estudadas possuem volume por pessoa maior do que as salas na qual foram inspiradas, porém com os tempos de reverberação bem próximos. Conforme foi pesquisado e apresentado ao longo deste trabalho, o tempo de reverberação, assim como os demais parâmetros acústicos, depende do conjunto das características arquitetônicas das salas, e não apenas do volume. Os materiais das superfícies, portanto, tiveram importante papel na concepção das salas de concertos, conforme é analisado no item 7.4, a seguir.

7.4. Materiais

Em todos os casos estudados, o foco sempre esteve em tornar as salas o mais difusoras possível acusticamente. Em geral, nas salas estudadas quase não foram utilizados materiais com elevado coeficiente de absorção, exceto pelas poltronas, feitas sob encomenda para cada projeto. Os elementos refletores nas salas foram aplicados com muita cautela e estudo, os materiais absorvedores foram utilizados em pouca quantidade e os materiais difusores foram utilizados de forma abundante. Os materiais difusores fornecem maior uniformidade sonora, brilho, vivacidade, além de preservarem a energia sonora. Essa é uma visão mais recente no campo da acústica, pois se acreditava que a absorção sonora era a melhor solução para a correção acústica dos ambientes.

Cada arquiteto, à sua maneira, revestiu as superfícies das salas de concerto com criatividade, criando seus próprios difusores em função da estética desejada. Na Sala São Paulo, além dos ornamentos originais do edifício existente, pequenas placas de pau-marfim foram adicionadas, em diversos tamanhos e espessuras, tornando as superfícies ainda mais difusoras, inclusive do teto móvel. Na Casa da Música foram utilizados difusores de Schroeder, na parte inferior das paredes, que contribuem para o espalhamento sonoro e diminuem o IACC (ANDO, 1998). No EMPAC, foram utilizados difusores de painéis de gesso côncavos e convexos, e madeira ondulada. Cortinas com elevado coeficiente de absorção acústica são utilizadas na Sala Suggia, da Casa da Música, e na sala de concerto do EMPAC, quando se deseja anular o efeito de reflexão ou difusão sonora das superfícies nesses espaços.

Os forros das salas de concertos analisadas foram alguns dos elementos mais inovadores desses projetos. As equipes de projetistas vislumbraram nesse elemento soluções únicas a favor da qualidade acústica e da estética arquitetônica, seja provendo difusão sonora, variabilidade acústica e até mesmo o desenvolvimento de novos materiais. O teto móvel da Sala São Paulo foi feito para otimizar a difusão sonora desse espaço, além de permitir a variabilidade acústica que a torna ímpar. O teto da Sala Suggia acompanha o mesmo acabamento das paredes com painéis difusores de madeira compensada sobre os

painéis estruturais de concreto. O forro de Nomex do EMPAC é refletor para altas frequências e permite a passagem de baixas frequências, o que fornece maior sensação de calor, contribui para a reverberação e para a sensação do tamanho da sala. Ao refletir altas frequências, contribui para a clareza musical tanto para os músicos como para a platéia. O teto ondulado da Walt Disney Concert Hall, feito em madeira, foi projetado para refletir o som de volta para a platéia, espalhando-o.

7.5. Mecanismos de Variabilidade Acústica

A variabilidade acústica de espaços performáticos tem se mostrado uma tendência muito forte na arquitetura contemporânea, principalmente para sua viabilidade econômica. Os projetos arquitetônicos e acústicos tornam-se desafios ainda maiores, pois vários ambientes acústicos são projetados num mesmo espaço, ao mesmo tempo.

Com exceção da Walt Disney Concert Hall, que não possui variabilidade acústica, as salas estudadas apresentaram vários elementos para a alteração da sonoridade em seu interior, desde simples cortinas absorventes a grandes mecanismos de forro e concha acústica, móveis verticalmente. Esses sistemas fazem sutis ajustes acústicos para cada tipo de música e de apresentação, ainda que o tempo de reverberação médio da sala continue o aproximadamente o mesmo, por meio da variação das características sonoras das superfícies.

Esses elementos de variabilidade podem promover diferentes decorações a uma mesma sala ou até serem imperceptíveis. O papel do arquiteto, em conjunto com os especialistas acústicos, é fundamental na criação de elementos que modifiquem as características acústicas do ambiente sem prejudicar o conceito estético de cada obra.

7.6. Metodologia Projetual

Os estudos de casos mostraram como é fundamental, na prática, a sistematização do trabalho projetual para a máxima integração da equipe multidisciplinar. Nos projetos de todas as salas de concertos analisadas, arquitetos e consultores acústicos examinaram os requisitos acústicos em conjunto, desde a concepção inicial do projeto. Os resultados satisfatórios obtidos se devem em grande parte a essa abordagem. Isso demonstra que boa arquitetura pode ser um processo dirigido. Muitos escritórios de arquitetura e empresas de construção estão adotando o processo de projeto integrado, em que profissionais, sistemas, estruturas empresariais participam de um processo colaborativo que explora os talentos e idéias de todos os participantes para reduzir o desperdício e otimizar a eficiência em todas as fases do projeto, fabricação e construção. Esse foi o conceito metodológico básico dos projetos dos casos estudados. O resultado foi a construção de espaços com excelente qualidade acústica e que fazem jus à ousadia e à veia tecnológica da arquitetura contemporânea.

Os quatro edifícios analisados foram concebidos com a utilização de métodos de projeto em que o desempenho, mais especificamente a qualidade acústica, era o guia da composição arquitetônica, seja na forma, no dimensionamento ou na funcionalidade. Outra característica comum aos quatro projetos foi o intenso uso da tecnologia da informação, tanto a favor do desenvolvimento do projeto, quanto para a comunicação e integração no trabalho dos especialistas que compunham as equipes.

As simulações computacionais e o uso de modelos reduzidos foram importantes ferramentas de projeto das salas estudadas. Na fase de projeto, essas são as únicas maneiras de estudar acusticamente um espaço, porém, essas técnicas apresentam limitações, pois são procedimentos indiretos e a precisão dos dados obtidos vai depender das limitações de cada modelo.

Na simulação computacional, as limitações estão nas medições deficientes para baixas frequências e à imprecisão dos dados de entrada referentes ao coeficiente de

espalhamento de materiais e formas. Os modelos físicos em escala são menos práticos, mas permitem resultados mais confiáveis com relação a baixas frequências.

7.7. Dados Acústicos das salas estudadas

Baseada no sentido humano da audição é comum que haja diferentes opiniões sobre a qualidade acústica dos espaços. Essa avaliação subjetiva é um fator de extrema importância para o sucesso de espaços performáticos. No entanto, para caracterizar objetivamente a acústica desses ambientes, é inevitável a medição dos parâmetros acústicos, seguindo as normas técnicas. Essa caracterização acústica permite a análise da adequação do ambiente ao seu uso, além da comparação entre diferentes salas. Como o objetivo desta pesquisa é investigar os parâmetros acústicos relacionados à composição dos espaços contemporâneos no processo de projeto, são apresentados os valores de alguns parâmetros objetivos de cada estudo de caso, para uma avaliação mais palpável com a realidade.

Esta pesquisa valeu-se de dados acústicos obtidos por medições *in loco* realizadas anteriormente por diferentes pesquisadores e publicadas no meio científico. Os dados são referentes às salas de concerto, principal ambiente nos edifícios estudados. A Tabela 13 apresenta um resumo dos parâmetros objetivos disponíveis para cada estudo de caso da presente pesquisa. Para a Sala São Paulo e a Casa da Música, são apresentados os intervalos dos valores dos parâmetros acústicos, em que podem ser ajustados, por meio de seus sistemas de variabilidade acústica

Em 1996, Leo Beranek³³ publicou os resultados de uma investigação da qualidade acústica de cinquenta e oito salas para música sinfônica, por todo o mundo. Essa pesquisa foi realizada através de consultas a músicos e ouvintes especializados, visando uma avaliação subjetiva das salas de concertos. Beranek comparou as avaliações subjetivas aos

³³ Nessa dissertação, foi utilizada a 2ª edição do livro “Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics and Architecture”, de Leo Beranek, 2004.

parâmetros objetivos e propôs estabelecer os valores ideais para cada um deles. Os valores recomendados por Beranek (2004) para os parâmetros Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Clareza (C80) são também apresentados na Tabela 13, como referencial de comparação.

Tabela 13. Parâmetros acústicos objetivos das salas estudadas.

<i>Parâmetros/ Salas</i>	<i>Sala São Paulo</i>	<i>Casa da Música</i>	<i>EMPAC*</i>	<i>Walt Disney C. H.</i>	<i>Beranek (2004)</i>
Volume (m³)	8.000 a 25.000	18.225	12.650	30.600	-
Capacidade (assentos)	1.509	1.238	1.200	2.265	-
TR (s) (500Hz)	2,0 a 3,2	1,75 a 2,22	2,0	2,2	1,5 a 2,1
EDT (s) (500Hz)	1,7 a 3,3	1,55 a 2,40	-	1,99	2,2 a 2,6
C80 (dB) (500Hz)	-0,4 a +1,0	-0,14 a 2,16	-	1,22	-0,3 a 0
BR	0,95 a 1,15	0,85 a 0,99	-	1,09**	-
IACC (500Hz)	0,06 a 0,22	-	-	-	

Fonte: Oliveira (2005), Laurentius *et al.* (2007) e Santiago e Inácio (2008), Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

*Dados fornecidos pelo consultor acústico Zackery Belanger, da empresa Kirkegaard Associates.

**Calculado pela autora, a partir dos dados do Tempo de Reverberação extraídos de Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

Em ambientes projetados para música sinfônica, Beranek (2004) considera adequados tempos de reverberação de 1,5s a 2,1s, faixa na qual estão inseridas as salas estudadas, exceto por uma pequena diferença da Walt Disney Concert Hall, com 2,2s. As demais salas de concerto dispõem de sistemas de variabilidade acústica e podem ter seus tempos de reverberação ajustados.

Conforme Beranek (2004), o Tempo de Decaimento Inicial (EDT) indica melhor a qualidade acústica do que o Tempo de Reverberação (TR) para concertos sinfônicos, em que as notas musicais são tocadas rapidamente, uma após a outra, pelos violinistas. Beranek (2004) observou que, nas melhores salas de concertos, o parâmetro EDT varia entre 2,25s e 2,75s e nos espaços com qualidade um pouco menor, esses valores estão entre 1,4s e 2,0s. A Sala São Paulo, assim como a Casa da Música e o EMPAC, pode ter seu Tempo de

Decaimento Inicial ajustado para o valor que melhor convém à apresentação musical, podendo se enquadrar na faixa de valores recomendada por Beranek (2004). A Walt Disney Concert Hall também apresentou um valor muito próximo aos valores recomendados (1,99s).

Exceto em algumas salas de concertos, a clareza diminui na medida em que o tempo de reverberação é maior, e vice-versa (BERANEK, 2004). Se não há reverberação, a música será bem clara e o C_{80} terá um alto valor positivo, em dB. Se há muita reverberação, a música não terá clareza e o valor de C_{80} será negativo. O C_{80} igual a zero representaria que a energia inicial é igual à energia reverberante. Beranek (2004) recomenda que os valores de C_{80} para música sinfônica devem estar entre -0,3dB e 0dB. A sala de concertos Walt Disney pode ser considerada uma sala com bastante clareza, com C_{80} igual a 1,22, porém não está entre os valores recomendados por Beranek (2004). A faixa de valores em que as demais salas podem ajustar seu C_{80} responde aos valores recomendados.

A Razão dos Graves (BR) é o parâmetro objetivo que representa o parâmetro subjetivo de “calor” de um ambiente para a música. Quanto maior o BR, maior será a resposta do ambiente aos sons graves e maior será a sensação de calor sonoro da sala. O BR não foi considerado um parâmetro significativo para a classificação das salas de concertos na pesquisa de Beranek (2004). As salas estudadas possuem os valores de razão dos graves bem próximos, sendo a Walt Disney Concert Hall a sala com maior “calor” sonoro.

A seguir, são apresentados gráficos e tabelas dos parâmetros mais comuns para espaços musicais, disponíveis para as salas estudadas, em função de frequência. A Tabela 14 e a Figura 7.1 referem-se ao Tempo de Reverberação, a Tabela 15 e a Figura 7.2 apresentam os valores referentes ao Tempo de Decaimento Inicial (EDT), e a Tabela 16 e a Figura 7.3 demonstram os valores do parâmetro Clareza (C_{80}), todos em função de frequência. Para a elaboração dessas tabelas e gráficos, foram considerados para a Sala São Paulo os valores dos parâmetros obtidos com o forro móvel na posição denominada “E” (Figura 6.12) e, para a Casa da Música, foram considerados os valores das medições com as cortinas totalmente abertas. Conforme explicado anteriormente, até então não havia dados dos parâmetros acústicos objetivos do EMPAC, que não aparece nas tabelas e gráficos a seguir.

Tabela 14. Tempo de Reverberação (TR), em função de frequência.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Casa da Música	2,11	1,89	2,22	2,50	2,51	1,99
Walt Disney Concert Hall	2,13	2,24	2,24	2,11	1,99	1,75
Sala São Paulo	2,25	2,16	2,08	1,98	1,63	1,50

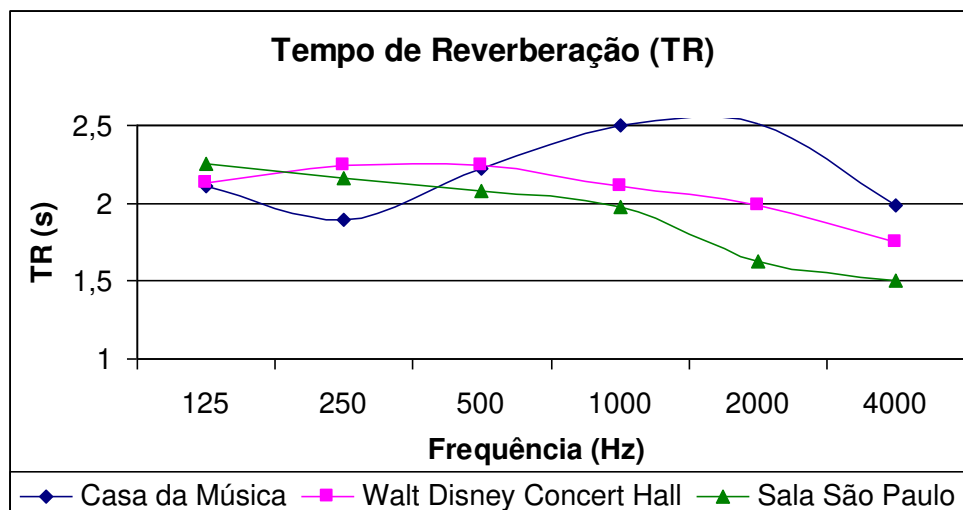


Figura 7.1. Tempo de Reverberação (TR) em função de frequência.

Fonte: Gráfico e tabela elaborados pela autora, com base em Oliveira (2005), Laurentius *et al.* (2007) e Santiago e Inácio (2008), Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

Tabela 15. Tempo de Decaimento Inicial (EDT), em função de frequência.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Casa da Música	2,00	2,12	2,40	2,35	2,39	1,98
Walt Disney Concert Hall	2,29	2,26	1,99	1,99	1,90	1,76
Sala São Paulo	1,62	1,88	1,84	1,79	1,65	1,41

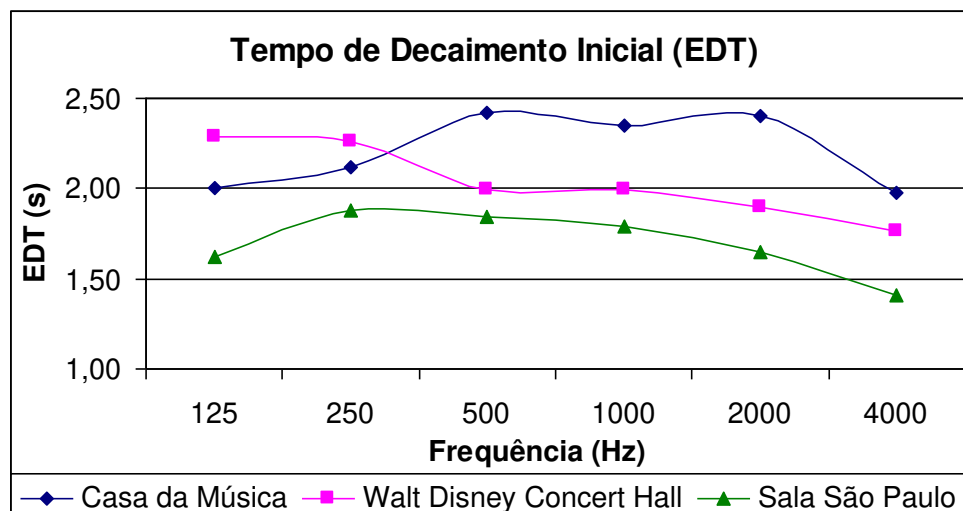


Figura 7.2. Tempo de Decaimento Inicial (EDT) em função de frequência.

Fonte: Gráfico e tabela elaborados pela autora, com base em Oliveira (2005), Laurentius *et al.* (2007) e Santiago e Inácio (2008), Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

Tabela 16. Clareza (C_{80}), em função de frequência.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Casa da Música	-2,65	-0,68	-0,12	-0,15	-0,15	1,05
Walt Disney Concert Hall	-2,4	-0,08	1,22	1,08	0,81	1,26
Sala São Paulo	-2,86	-1,04	0,11	0,48	0,18	1,47

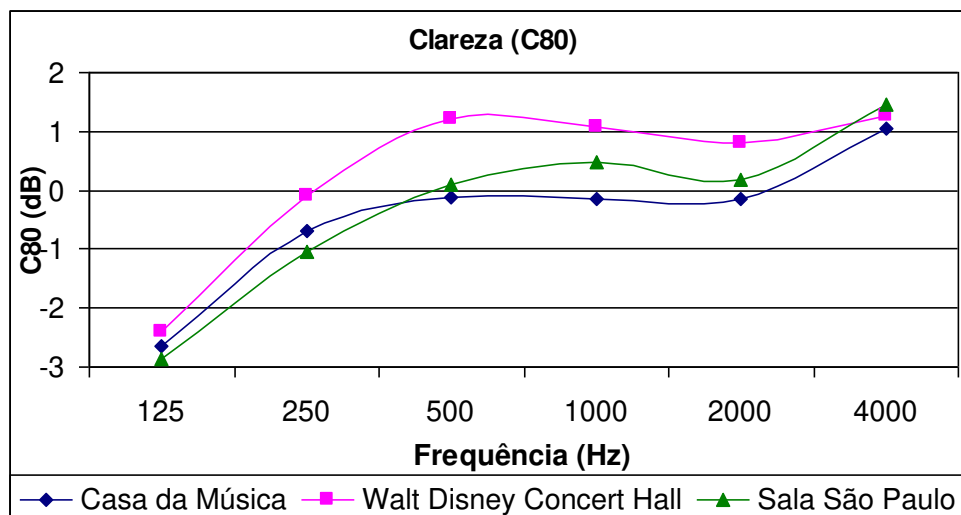


Figura 7.3. Clareza (C_{80}) em função de frequência.

Fonte: Gráfico e tabela elaborados pela autora, com base em Oliveira (2005), Laurentius *et al.* (2007) e Santiago e Inácio (2008), Toyota, Oguchi e Nagata (2004).

As salas de concertos estudadas mostraram coerentes valores dos parâmetros acústicos aos requisitos acústicos em salas para música sinfônica. Isso representa que os projetos, assim como suas metodologias, tiveram resultados positivos quanto ao seu objetivo principal de desempenho acústico.

Optou-se por apresentar os valores dos parâmetros acústicos da Casa da Música referentes às medições com as cortinas abertas, para a análise desse espaço da maneira como foi concebido: com comunicação visual para a cidade de Porto, em Portugal. Os gráficos comparativos mostraram que, na ausência das cortinas absorvedoras sonoras, a Sala Suggia possui TR e EDT elevados, e Clareza favorável. Portanto, a utilização das cortinas nessa sala é fundamental quando se deseja menor reverberação, o que por sua vez anula sua característica mais marcante: a transparência.

Para uma síntese dos resultados, é apresentada a Tabela 17, que relaciona alguns parâmetros acústicos objetivos com os parâmetros subjetivos e as respectivas estratégias arquitetônicas para atendê-los. Essa tabela foi elaborada com base nos autores consultados

e na análise dos estudos de casos, sem a pretensão de determinar regras projetuais, mas com o intuito de indicar o caminho inicial para o projeto acústico-arquitetônico.

Tabela 17. Parâmetros acústicos e estratégias arquitetônicas.

Parâmetros objetivos	Parâmetros subjetivos	Estratégias arquitetônicas
Baixo TR_{60}	Vivacidade (pouca ou nenhuma)	Diminuir o volume e aumentar a área de superfícies absorvedoras e difusoras. Evitar os materiais refletores.
Alto TR_{60}	Vivacidade (alta)	Aumentar o volume e a área de superfícies refletoras. Evitar materiais absorvedores.
EDT	Som Direto/ Som Reverberante	Garantir a difusão do som de maneira uniforme no ambiente, através de painéis difusores e superfícies irregulares.
C_{80}	Clareza e Definição	Definido de acordo com a atividade (fala ou música), o volume do ambiente e o revestimento das superfícies são o foco de atenção na obtenção de clareza e definição sonora.
ITDG	Intimidade	Garantir a chegada das primeiras reflexões até 20ms. A colocação de painéis refletores, com dimensões e posicionamento devidamente calculados e o volume diminuído da sala podem ajudar na sensação de intimidade.
IACC e LFC	Impressão Espacial	O edifício deve garantir reflexões laterais uniformes, desde que tenham atraso menor que 50ms para fala, e 80ms para a música. Isso pode ser conseguido com adequada forma do ambiente e os materiais de revestimento.
BR	Calor	Utilizar materiais que absorvam bem as altas frequências e difusores projetados para espalhar os sons graves.
TR	Brilho	Utilizar painéis ressonantes para absorver as baixas frequências e materiais que sejam bons refletores de alta frequência.
G	Audibilidade	Garantir a chegada do som direto e de reflexões úteis para o reforço sonoro, para todos os ouvintes.

8. CONCLUSÕES

Ao longo desse trabalho foi possível observar como os conceitos da acústica interferem na composição arquitetônica durante a fase projetual. A acústica dos espaços construídos faz parte de um conjunto de requisitos, para o conforto e bem estar do usuário, que podem ser considerados guias do projeto arquitetônico, ao invés de limitações. Dessa maneira, a busca pelo melhor isolamento contra ruídos externos e pela qualidade sonora interna compõem uma gama de decisões que o arquiteto deverá tomar ao longo do desenvolvimento do projeto.

Muitas vezes, os projetistas lutam contra a forma e materiais corretos, pois o conceito arquitetônico formulado inicialmente é pobre acusticamente e isto torna o processo de projeto frustrante, o que na maioria das vezes resulta em salas com acústica deficiente. Para que se obtenha a qualidade acústica, é preciso o envolvimento e a cooperação do consultor acústico tão logo é iniciado o processo de projeto, pois a implantação, a forma, o volume, a estrutura, os materiais e o layout importam e é difícil fazer modificações a esses fatores, uma vez integrados ao conjunto de um projeto.

Para iniciar um projeto para salas de concertos, devem-se ter muito bem definidas algumas questões, como para que tipo de música o espaço será destinado, para quais instrumentos, se haverá também óperas, e outras especificidades. Para cada opção haverá uma série de parâmetros ideais para que a sala tenha a função adequada, tanto para músicos como para os ouvintes. No projeto de salas para música, além das exigências acústicas, existem também os aspectos musicais, pois a interpretação dos músicos está relacionada com as características acústicas do ambiente.

Os estudos de caso mostraram que é possível a criação de espaços com excelente qualidade acústica, aliada à funcionalidade e, principalmente, à qualidade estética e formal, inerente à manifestação arquitetônica. As equipes de projetistas dos edifícios estudados buscaram nos requisitos acústicos oportunidades de expressão visual e geométrica dos elementos arquitetônicos. Implantação, dimensões, volume, forma, materiais e os sistemas de variabilidade acústica e metodologia projetual são os principais fatores em que acústica

e arquitetura devem dialogar. Esses itens foram escolhidos para uma análise global da relação entre acústica e projeto arquitetônico.

Somente no projeto de uma das salas de concertos estudadas, a *implantação* no terreno representou um aspecto favorável ao projeto acústico, pela proteção contra os ruídos externos. Por outro lado, os projetos foram unânimes quanto ao uso das tecnologias construtivas para o completo isolamento sonoro dos ambientes, desde vidros duplos a estruturas flutuantes.

Quanto à *forma*, os casos estudados foram unânimes na adoção do formato retangular, largamente utilizado nas salas para música já consagradas. No entanto, ao invés de representar uma restrição, os arquitetos descobriram soluções criativas para o aprimoramento da concepção arquitetônica, seja com a colocação de balcões, de abertura, ou com modelação ousada do forro.

Os dimensionamentos dos espaços estudados foram estabelecidos em conjunto com os consultores acústicos, com o auxílio de modelos digitais e modelos físicos em escala. Apesar da importância das *dimensões* e do *volume* das salas para música, as análises mostraram que a obtenção dos valores adequados dos parâmetros acústicos depende do conjunto das características arquitetônicas das salas.

O tratamento das superfícies por meio dos *materiais* empregados a favor da qualidade acústica foi o aspecto no qual a criatividade arquitetônica se revelou mais expressiva. No tocante aos materiais construtivos, os requisitos acústicos interferiram de maneira altamente positiva na concepção arquitetônica.

Os *mecanismos de variabilidade acústica*, uma exigência crescente nos edifícios contemporâneos, ainda representam desafios projetuais, pois diferentes conceitos acústicos são necessários para diferentes tipos de atividades. O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de novos sistemas para a variação no volume e nas características das superfícies dos auditórios.

Apesar de não ter sido o foco principal dessa pesquisa, a análise dos *métodos de projeto* arquitetônico mostrou ser um tema prolífero no que diz respeito aos projetos que envolvem acústica. O número de especialistas envolvidos junto à complexidade dos requisitos acústicos e ainda os cuidados com a estética e a funcionalidade do edifício demandam uma sistematização do trabalho nos escritórios de arquitetura, além de um grande apoio tecnológico. Dentre as metodologias projetuais apresentadas pelos autores estudados, o método de projeto baseado no desempenho foi identificado como um método que pode tratar a obtenção da qualidade acústica como prioridade na composição da arquitetura contemporânea. Outros métodos de projeto a favor do conforto acústico podem ser propostos e desenvolvidos.

A importância da análise da metodologia projetual dos estudos de caso reside na investigação da atitude dos grandes escritórios de arquitetura contemporânea perante os projetos com inúmeras exigências acústicas. Investigações como essas podem contribuir para estimular arquitetos para uma nova maneira de projetar, em busca da qualidade no desempenho dos edifícios. A participação de um consultor acústico especializado provou-se fundamental na composição da equipe de projetistas.

A variedade de parâmetros acústicos empregados para se avaliar uma sala, como as de concerto, faz com que sejam poucos os escritórios de arquitetura que demonstrem disposição ou capacidade de enfrentar os problemas envolvidos. Consequentemente, os espaços que exigem maior cuidado com a qualidade sonora muitas vezes são projetados por profissionais segundo determinações estritamente funcionais, quando a criatividade e o cuidado estético e formal poderiam, e deveriam estar sendo aplicados.

As salas estudadas são exemplos de que os requisitos acústicos não restringem a criatividade no projeto arquitetônico, mas permitem a criação de elementos inovadores, sejam difusores, texturas, forros, painéis, na busca pelos adequados valores dos parâmetros acústicos. Os estudos de caso também mostraram que as ferramentas computacionais estão se tornando inseparáveis dos processos de projeto e criação arquitetônica. Além disso, a habilidade de gerenciar grandes equipes, integrando o trabalho de cada profissional ao conjunto, deve ser uma qualidade inerente ao arquiteto contemporâneo.

Como sugestão para reflexão sobre o assunto, é cabível o desenvolvimento de um método de projeto em que os requisitos acústicos também sejam tomados como fatores determinantes, por meio de estratégias arquitetônicas que enriqueçam visualmente a arquitetura. Futuras pesquisas sobre o tema podem dar um passo adiante no aprofundamento da análise acústica durante o processo de projeto arquitetônico, onde os aspectos técnicos e estéticos devem ser tomados de maneira equilibrada e inseparável. Nesse sentido, serão valiosos os estudos que proponham aprimoramento na formação do arquiteto, como profissional competente para a ampla abordagem desses aspectos técnicos no projeto arquitetônico.

O custo das decisões acústicas, ou seja, o valor a ser investido nos edifícios para a obtenção da qualidade acústica é um tema interessante para ser investigado, conhecimento que auxiliaria a prática da aplicação da acústica no projeto arquitetônico. O universo da pesquisa foi delimitado somente à arquitetura de edifícios, eliminando-se a abordagem quanto aos aspectos urbanísticos. A influência dos requisitos acústicos na conformação do perfil urbano é também uma sugestão futuras pesquisas.

Espera-se que os requisitos acústicos não sejam somente uma fração da técnica de qualidade sonora, mas também um elemento que enriqueça o partido arquitetônico e a composição da arquitetura contemporânea.

REFERÊNCIAS

AARON, Peter. **Totally Wired.**

<http://www.chronogram.com/issue/2009/2/Community+Notebook/Totally-Wired?page=2>

29 de janeiro de 2009. ABEL, Chris. **Architecture, Technology and Process.** Oxford:

Elsevier, 2004.

AKEN, Joan Ernst van. **Valid knowledge for the professional design of large and complex design processes.** Design Studies Vol 26 nº 4, Julho, 2005.

ANDO, Yoichi. **Architectural Acoustics – Blending Sound Sources, Sound Fields, and Listeners.** Japan: Aip Press, Springer, 1998.

ANDO, Y. TAKATSU, A. SAKAI, H. **Blending Architectural and Acoustical Factors in Designing a Round Event Hall.** Journal of Sound and Vibration (2002) 258(3), 499–515.

ARANTES, Otilia B. F. **O Lugar da Arquitetura Depois dos Modernos.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 3ª Ed.

ARQUITECTURA VIVA. Madrid: Avisa, 1988. Mensal. ISSN 0214-1256.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento.** Rio de Janeiro: Junho, 2000.

BAMFORD, G. **From analysis/ synthesis to conjecture/ analysis: a review of Karl Popper's influence on design methodology in architecture.** In Design Studies Vol. 23 nº 3, Maio, 2002.

BANAVALKAR, P. V. **Walt Disney Concert Hall, Los Angeles, California.** Structural Engineering International, Volume 5, Number 1, 1 February 1995 , pp. 28-30(3)

BANHAM, Reyner. **Teoria e projeto na primeira era da maquina.** 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 1979.

BARRON, Michael. **Auditorium acoustics and architectural design.** London; New York: Spon, 1993.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna.** Trad. Ana M. Goldberger. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1998. 3ª Ed.

BENEVOLO, Leonardo. **A Arquitetura no Novo Milênio.** Trad. Letícia Martins de Andrade. São Paulo: Estação Liberdade, 2007.

BERANEK, Leo L. **Acoustics.** New York: Acoustic Society of America, 1993.

BERANEK, Leo L. **Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics and Architecture.** 2ª Ed. New York: Springer, 2004.

BERTENS, Hans. **The Idea of the Postmodern**. London; New York: Routledge, 1996.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BISTAFA, Sylvio R. **The acoustics for speech of eight auditoriums in the city of São Paulo**. First Pan-American/ Iberian Meeting on Acoustics 2-6 Dec. 2002 Cancún, Q.R. México.

BISELLI, Mário. **Cuidadosa Descontinuidade**. AU. Ed. 138. Set/ 2005.

BLESSER, Barry. SALTER, L. **Spaces Speak, Are You Listening?: Experiencing Aural Architecture**. Cambridge: MIT Press, 2007.

BRAAT-EGGEN, P. E. LUXEMBURG, L. C. J. van. BOOY, L. G. **A New Concert Hall for the City of Eindhoven – Design and Model Tests**. Applied Acoustics 40, 1993.

BRAWNE, Michael. **From Idea to Building: Issues in Architecture**. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1992.

BROADBENT, G. **Design in architecture: architecture and the human sciences**. London: John Willey & Sons, 1973.

BRUAND, Yves. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 1981.

CARVALHO, António Pedro. **Effect of Architectural Styles on Objective Acoustical Measures in Portuguese Catholic Churches**. Westprac 1994 – 5th Western Pacific Westprac – 5th Western Pacific Regional Acoustics Conference. Seoul, Korea. August 23-25, 1994.

CARVALHO, A. P. O. **Casa da Música do Porto: Oportunidade perdida ou desastre acústico?** Jornal de Notícias, 19/08/1999, pg. 16. Extraído de: <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/>

Casa da Música, Porto, Portugal. OMA Projects Recents. L'Architecture d'aujourd'hui nº361. France, Nov./ Dec. 2005. Pgs. 38-47.

CASTELNOU, António Manuel Nunes. **Sentindo o Espaço Arquitetônico**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 7, p. 145-154, jan/jun. 2003. Ed. UFPR.

CASTRO, Michelle Jean de. **Bloco sólido é escavado para criar vazios isolados**. PROJETO DESIGN. Edição 308 Outubro de 2005.

CAVANAUGH, William J. WILKES, Joseph A. (Edited by). **Architectural Acoustics: Principles and Practice**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

CELANI, M. G. C. **Recuperando o tempo perdido: porque recusamos o método e como ele ainda poderia nos ajudar**. In: Projetar 2003, 2003, Natal, RN. Projetar 2003 - Anais. Natal, RN : UFRN, 2003.

- CHOURMOUZIADOU, K. KANG, J. **Acoustic evolution of ancient Greek and Roman theatres.** *Applied Acoustics* 69, 2008. p. 514–529.
- CIRILLO, Ettore. MARTELOTTA, Francesco. **Worship, Acoustics, and Architecture.** UK: Multi-Science Publishing, 2006.
- COLLINS, Peter. **Los ideales de la arquitectura moderna: su evolucion (1750-1950).** 5. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- COLQUHOUN, A. **Essays in Architectural Criticism.** Cambridge: MIT Press, 1981.
- COOK, Martin. **The Design Quality Manual: improving building performance.** Oxford: Blackwell, 2007.
- COTANA, Franco; GORETTI, Michele. **Tools for building acoustics design and experimental performances.** Internoise: Rio de Janeiro, 2005.
- COX, Trevor J. D'ANTONIO, Peter. **Surface characterization for room acoustic modelling and design.** International Symposium on Room Acoustics: Design and Science, Hyogo, Japan, 2004.
- COX, Trevor J. D'ANTONIO, Peter. **Engineering art: the science of concert hall acoustics.** *Interdisciplinary Science Reviews*, 2003, vol 28 n° 2.
- CROSS, Nigel. **Science and Design Methodology: A Review.** *Research in Engineering Design* Vol. 5 p. 63-69. London, 1993.
- CROSS, Nigel. CHRISTIAANS, Henri. DORST, Kees (Edited by). **Analysing Design Activity.** New York: John Wiley & Sons, 1996.
- DEMO, Pedro. **Metodologia do Conhecimento Científico.** São Paulo: Atlas, 2000.
- DI MARCO, A. R., ZEIN, R. V. **Sala São Paulo de Concertos.** São Paulo, Alter Market, 2001.
- DI MARCO, A. R., ZEIN, R. V. **Sala São Paulo: a arquitetura da musica = the architecture of musica.** São Paulo, Alter Market, 2007.
- DUANQUI, Xiang. ZHENG, Wang. JINJIN, Chen. YANGANG, Ge. **Acoustic Design of Beijing Theater.** *Applied Acoustics* 37, 1992, p. 15-30.
- EDDY, Michael S. **Immersive Art: Surrounded by Science, Art Flourishes.** *Stage Directions*, February 2009
- EGAN, M. David. **Architectural Acoustics.** New York: McGraw-Hill, 1988.
- EISENMAN, Peter. **Post-functionalism.** In: NESBITT, Kate (Ed.) *Theorizing a new agenda for architecture: an anthology of architectural theory 1965-1995.* New York: Princeton Architectural Press, 1996. p. 80-83.

EMERY, Osvaldo. RHEINGANTZ, Paulo Afonso. **Saber ouvir a arquitetura (O ouvido do Arquiteto)**. Conforto no Ambiente Construído. III Encontro Nacional I Encontro Latino Americano. Gramado, 1995.

EVEREST, F. Alton. **The Master Handbook of Acoustics**. 4ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

FAHY, Frank. **Foundations of Engineering Acoustics**. London: Academic Press, 2003.

FEATHERSTONE, Mike. **Cultura de Consumo e Pós-modernismo**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FIGUEIREDO, Fábio Leão. **Parâmetros Acústicos Subjetivos: critérios para avaliação da qualidade acústica de salas de música**. Dissertação de Mestrado em musicologia. São Paulo: USP - Escola de Comunicação e Artes, 2005.

FIGWER, J. Jacek. **Sound Reinforcement Systems** in CAVANAUGH, William J. WILKES, Joseph A. (Edited by). **Architectural Acoustics: Principles and Practice**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

FILIPPI, Paul. HABAULT, Dominique. LEFEBVRE, Jean-Pierre. BERGASSOLI, Aimé. **Acoustics: Basic Physics, Theory and Methods**. London: Academic Press, 1999.

FRAMPTON, Kenneth. **Historia critica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

FRICKE, Fergus R. **Visual assessments of the surface diffusion properties of concert halls**. *Applied Acoustics* 60, 2000, p. 253±261.

FRIEDMAN, Ken. **Theory construction in design research: criteria: approaches, and methods**. *Design Studies* Vol. 24, nº 6, Novembro, 2003.

FURTADO, R. OLIVEIRA, R. MOÁS, L. P. **Casa da Música, Porto, Portugal**. 2º Congresso Internacional da Federação Internacional do Concreto. Naples, Itália, 5-8 Junho, 2006.

GALLAGHER, Denzil, HAPPOLD, Buro. **Stringent acoustical performance requirements for five performance spaces in one building are addressed by innovative architecture and HVAC design**. New York City, September 1, 2009.

GARCIA, Danielly Borges. VECCI, Marco Antônio de Mendonça. RODRIGUES, Francisco Carlos. **Avaliação do isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação na construção civil**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, Vol. 8, nº 1, p. 49-63, jan./mar. 2008.

GELDENHUYS, Daniel G. **Empathy as perception in downtown Los Angeles and the Walt Disney Concert Hall as an act of architecture**. *SAJAH*, ISSN 0258-3542, volume 23, number 3, 2008: 9–19.

GERACE, Gloria. WHITE, Garrett. Edited by. **Symphony: Frank Gehry's Walt Disney Concert Hall**. New York: Harry N. Abrams, 2003.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 1992.

GHIRARDO, Diane Yvonne. **Arquitetura Contemporânea: uma história concisa**. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

GLANCEY, Jonathan. **A História da Arquitetura**. Trad. Luis Carlos Borges e Marcos Marcionilo. São Paulo: Edições Loyola, 2001.

GLANCEY, Jonathan. **C20th architecture: the structures that shaped the century**. London: Carlton, 1999.

GODMAN, Rob. **Extended Abstract: Recreating the real, realizing the imaginary – a composers preoccupation with acoustic space**. First Pan-American/ Iberian Meeting on Acoustics 2-6 Cancún, Q.R. México, Dez. 2002.

GRAÇA, Valéria A. C. da; KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; PETRECHE, João R.D. **O uso de metodologia de projeto axiomático para a integração de aspectos de conforto ambiental no desenvolvimento de projetos para a tipologia escolar no Estado de São Paulo**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano do Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007.

GRAEFF, Edgar Albuquerque. **Cadernos Brasileiros de Arquitetura – Edifício**. Volume 7. São Paulo: Projeto, 1979.

GUEDES, Ítalo C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

HARVEY, David. **A condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. São Paulo: Edições Loyola, 1992.

HARVEY, David. **A produção capitalista do espaço**. São Paulo: Annablume, 2005.

HEARN, F. **Ideas that shaped buildings**. Cambridge: MIT Press, 2003.

HÖCKER, Christoph. **Architecture: An illustrated historical overview**. Crash Couse Series. New York: Barron's, 2000.

HUAQUÍN M., Mario. **National television of Chile new headquarters buildings acoustic project (Phase I 1999, and II 2002)**. First Pan-American/ Iberian Meeting on Acoustics 2-6 Cancún, Q.R. México, Dec. 2002.

- IAZZETTA, Fernando. FIGUEIREDO, Fábio Leão. MASIERO, Bruno Sanches. **Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical**. Portugal: Acústica, 2004.
- ISBERT, Antoni Carrión. **Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos**. Barcelona: Alfaomega, 1998.
- IZENOUR, George C. **Theater Technology**. 2ª Ed. London: Yale University, 1996.
- JENCKS, Charles. **Post-modernism: the new classicism in art and architecture**. London: Academy, 1987.
- JENCKS, Charles. **Movimentos modernos em arquitetura**. Lisboa: Edições 70, 1992.
- JENCKS, Charles. **The architecture of the jumping universe: a polemic: how complexity science is changing architecture and culture**. London: Academy, c1997.
- JONES, J. C. **Design Methods: Seeds of Human Factures**. New York: John Wiley, 1970.
- KIPNIS, Jeffrey. **Towards a New Architecture in AD Architecture and Science**. Edited by Giuseppa Di Cristina. England: Wiley-Academy, 2001.
- KOLAREVIC, Branko. MALKAWI, Ali M. Edited by. **Performative Architecture. Beyond Instrumentality**. New York: Spon Press, 2005.
- KOTZEN, Benz. ENGLISH, Colin. **Environmental Noise Barriers. A Guide to their Acoustical and Visual Design**. London: E & FN Spon, 1999.
- KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. MOREIRA, Daniel de Carvalho. CELANI, Maria Gabriela C. PINA, Silvia A. M. G. Ruschel, Regina C. SILVA, Vanessa G. LABAKI, Lucila C. PETRECHE, João Roberto D. **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico**. Ambiente Construído, Porto Alegre, vol. 6, nº 2, p. 07-19, abr/ jun. 2006.
- LABARRE, Suzanne. **The Improbable Act - Working with a diverse cast of engineers, acousticians, and technical consultants, Grimshaw Architects transformed an inhospitable hillside into a state-of-the-art performance center**. Posted January 21, 2009.
- LANG, J.T., **Design for human behavior: architecture and behavioral sciences**. Pennsylvania: Dowden, Hutchinsos & Ross, Inc., 1974.
- LAURENTIUS C.J. VAN LUXEMBURG, CONSTANT C.J.M. HAK, BEN H.M. KOK, Elisabeth W.M. VAN DEN BRAAK. **Transparent Concert Hall Acoustics**. 19th International Congresso n Acoustics - ICA. Madrid, 2-7 September, 2007.
- LAWSON, B. **How Designers Think: the design process demystified**. Oxford: Architectural Press, 1997.

LEHFELD, N.A.S. e BARROS, A.J.P. (Orgs.) **Projeto de Pesquisa: Propostas metodológicas**. Rio de Janeiro: Ed. Vozes, 2003.

LUCCAS, Luís Henrique Haas. **Arquitetura Contemporânea no Brasil: da crise dos anos setenta ao presente promissor**. Vitruvius Arqutexto nº 101, 2008 In: http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq101/arq101_00.asp acessado em 19/04/2009

MALAFIA, Cristina. SANTOS, Maria Julia Oliveira. NIEMEYER, Maria Lygia. **Elements for the design of acoustic barriers: some cases in Rio de Janeiro city**. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

MARQUES, Sônia. **Arquitetura Brasileira, uma pós-modernidade mais do que contraditória**. Revista de Urbanismo e Arquitetura vol. 5 nº1, 1991.

MARSHALL, A.H. BARRON, M. **Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spatial impression**. Applied Acoustics 62, 2001.

MARSHALL, L. Gerald. KLEPPER, David L. **Acoustical Design: Places for Listening** in CAVANAUGH, William J. WILKES, Joseph A. (Edited by). Architectural Acoustics: Principles and Practice. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

MARTIN, Ricardo San, ARANA, Miguel. **Predicted and experimental results of acoustic parameters in the new Symphony Hall in Pamplona, Spain**. Applied Acoustics 67, 2006, p. 1-14.

MEHTA, Madan. JOHNSON, James. ROCAFORT, Jorge. **Architectural Acoustics: Principles and Design**. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

MILLARD, Bill. **Built for High Performance: RPI's EMPAC**. 16 Jan 2009. <http://www.designbuild-network.com/features/feature46477/>

MINDLIN, Henrique E. **Arquitetura Moderna no Brasil**. Tradução: Paulo Pedreira. Organização: Lauro Cavalcanti. Rio de Janeiro: Aeroplano Editora/ IPHAN, 2000. Original em inglês de 1956.

MINUTILLO, Josephine. **And the award for best sound effects goes to... Acoustics get a starring role in the desing of a new performing arts center**. Architecture Record, 02/ 2009. McGraw Hill Construction. P. 100-106.

MITCHELL, William J. (William John). **A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Tradução de Gabriela Celani. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

MONEO, R., **Theoretical Anxiety and Design Strategies in the Work of Eight Contemporary Architects**. Cambridge: MIT Press, 2004.

MOORE, J. E. **Design for good acoustics and noise control**. London: Macmillan, 1978.

MONTANER, Josep Maria. **Después Del Movimiento Moderno: Arquitectura de la segunda mitad del siglo XX.** Barcelona: GG, 1999.

MONTANER, Josep Maria. **La modernidad superada:** arquitectura, arte y pensamiento del siglo XX. 4. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

MORFEY, Christopher L. **Dictionary of Acoustics.** UK: Academic Press, 2001.

MUNARI, Bruno. **Como nacen los objetos? Apuntes para uma metodologia proyectual.** Barcelona: GG Diseño, 1983.

NOBRE, Ana Luiza. MILHEIRO, Ana Vaz. WISNIK, Guilherme. **Coletivo: Arquitetura Paulista Contemporânea.** São Paulo: Cosac Naify, 2006.

NORTHWOOD, Thomas D. **Architectural Acoustics. Pennsylvania.** EUA: Dowden, Hutchingon & Ross Inc., 1977.

OLIVEIRA, Lenine Vasconcellos de. **Estudo da Acústica Ajustável da Sala São Paulo e sua Relação com Aspectos Musicais.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

OUROUSSOFF, NICOLAI. **Rem Koolhaas Learns Not to Overthink It.**
http://www.nytimes.com/2005/04/10/arts/design/10ouro.html?_r=1&scp=1&sq=casa%20da%20musica&st=cse April 10, 2005.

PASSERI JR., Lineu. **Subsídios para o projeto de teatros e auditórios multifuncionais: recursos de variabilidade acústica.** Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP, 2008.

PEVSNER, Nikolaus. **Os pioneiros do desenho moderno:** de William Morris a Walter Gropius. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1995.

PEVSNER, Nikolaus. **Origens da arquitetura moderna e do design.** Trad. Luiz Raul Machado. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

PINTO, Armando de Andrade. **Valores Arquitetônicos.** Dissertação de mestrado. Brasília: UNB, 1965.

PIRN, Rein. **Acoustical Materials and Methods.** In CAVANAUGH, William J. WILKES, Joseph A. (Edited by). **Architectural Acoustics: Principles and Practice.** New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

POLLI, Tatiana. VIVEIROS, Elvira B. **Quando o preço não faz diferença: A Relação entre Custo do Imóvel e Conforto Acústico.** IX Encontro Nacional e V Latino Americano do Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007.

REMILLARD, T., MARTIN, T., CANGAS, B., & CLOKE, S. **Finished With a Flourish**. Civil Engineering, 2004.

ROWE, P. **Design Thinking**. Cambridge: MIT Press, 1997.

SALMI, Laura. **Technological adaptability creates ideal performance and research spaces**.

http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=10370

SANTIAGO, Francisco. INÁCIO, Octávio. **An Acoustical Overview on Portuguese Concert Halls**. Acústica 2008. 20 - 22 de Outubro , Coimbra, Portugal

SAKAI, H. ANDO, Y. **Temporal and spatial acoustical factors for listeners in the boxes of historical opera theatres**. Journal of Sound and Vibration vol. 258, nº 3, 2002, p. 527–547.

SEEP, Benjamin; GLOSEMEYER, Robin; HULCE, Emily; LINN, Matt; AYTAR, Pámela. **Acústica de Salas de Aula**. Versão traduzida por Stephanie L.B. Mondl. Revista de Acústica e Vibrações - nº 29 – Julho, 2002.

SCHIMID, Aloísio Leoni. **A Idéia de Conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica**. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1971.

SIMON, H. **The science of artificial**. Cambridge: MIT Press, 1998.

Singular geometria. AU. Ed. 138. Set/2005.

SORIANO, Susana Moreno. **Arquitectura y Música en el siglo XX**. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, 2008.

SOUZA, Lea Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-a-bá da Acústica Arquitetônica, Ouvindo a Arquitetura**. Bauru: L.C.L. de Souza, 2003.

SUAREZ, R. SENDRA, J.J. NAVARRO, J. LEÓN, A.L. **The sound of the cathedral-mosque of Córdoba**. Journal of Cultural Heritage 6, 2005, p. 307–312.

SZALAPAJ, Peter. **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**. Amsterdam: Elsevier, 2005.

TEMPLETON, Duncan (Edited by). **Acoustic in the Built Environment. Advice for the Design Team**. Oxford: Architectural Press, 1999.

TOCCI, Gregory C. **Building Noise Control Applications** in CAVANAUGH, William J. WILKES, Joseph A. (Edited by). Architectural Acoustics: Principles and Practice. New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

TOYOTA, Yasuhisa. **Acoustical design of the Walt Disney Concert Hall in Los Angeles (A)**. J. Acoust. Soc. Am. Volume 105, Issue 2, pp. 987-987 (February 1999).

TOYOTA, Yasuhisa. OGUCHI, Keiji. NAGATA, Minoru. **Acoustical Design of Walt Disney Concert Hall**. The 18th International Congress on Acoustics – ICA, 2004. Kyoto, Japan.

VAN LUXEMBURG, L. C. J. HAK, C. C. J. M. MARTIN, H. J. KOK, B. H. M. BIJSTERBOSCH, K. B. A. **Casa da Música – Porto**. Forum Acusticum Sevilla, 2002.

VAN LUXEMBURG, L.C.J. **Casa da Música: Room Acoustic Measurements**. Office for Metropolitan Architecture. Porto: DHV Building and Industry, 2005.

VENTURI, Robert. **Complexidade e Contradição em Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 1995.

YIN, R. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YODERS, Jeff. **BIM + IPD: Three Success Stories Building Design & Construction**, http://www.bdcnetwork.com/article/381001-BIM_IPD_Three_Success_Stories.php
4/1/2009 12:00:00 AM

YODERS, Jeff. **Team Tames Impossible Site**. BUILDING DESIGN+CONSTRUCTION, May, 2009. págs S3,S4,S5

ZWICKER, E. FASTL, H. **Psyco-acoustics: Facts and Models**. 2ª Ed. New York: Springer, 1999.

<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura629.asp>, acessado em agosto de 2008.

<http://www.360portugal.com/Distritos.QTVR/Porto.VR/Patrimonio/CasaDaMusica/>,
acessado em agosto 2008.

<http://www.arcoweb.com.br/debate/debate83.asp>, acessado em agosto 2008.

<http://www.durisol.com/page1.htm> , acessado em 14 de maio de 2009.

<http://arquitectura.pt/forum/f123/produtos-engra-ados-de-ac-stica-11143.html> , acessado
em 29 de maio de 2009.

http://www.auber.pt/4910.html?*session*id*key*=session*id*val*, acessado em 29 de
maio de 2009.

http://www.isar.com.br/index.php?/produtos_sub/isolantes-acusticos/la-vidro , acessado em
31 de maio de 2009.

<http://www.jocaviacousticpanels.com/pt/produtos/dif.effectfuser/> , acessado em 31 de maio
de 2009.

www.sonex.com.br , acessado em 31 de maio de 2009.

<http://www.lambri.com> , acessado em 31 de maio de 2009.

http://www.lafargegypsum.com.br/g_prod_sistema_paredes_text.htm , acessado em 31 de
maio de 2009.

http://www.knauf.com.br/protecao_acustica.php , acessado em 31 de maio de 2009.

<http://www.durisol.com> , acessado em 1 de junho de 2009.

<http://www.phiieland.ie> , acessado em 1 de junho de 2009.

<http://braga.geradordeprecos.info/QAB/QAB020.html> , acessado em 1 de junho de 2009.
<http://www.neoprene.com.br/produtos.htm> , acessado em 3 de junho de 2009.
<http://www.thresholdacoustics.com/projects.htm> , acessado em 3 de junho de 2009.
<http://www.salasaopaulo.art.br/> , acessos em maio de 2009.
<http://www.arcspace.com/architects/grimshaw/dbba/dbba.html> , acessos em agosto de 2009.
<http://www.salasaopaulo.art.br/eventos/espacos/salaConcertos/infoConcertos.aspx>,
 acessado em 20 de agosto de 2009.
<http://www.iastage.com/news/empac>, acessado em novembro de 2009.
<http://empac.rpi.edu/research/ceiling.html>, acessado em novembro de 2009.
www.architecturalrecord.com/tech/, acessado em novembro de 2009.
<http://www.metropolismag.com/story/20090121/the-improbable-act>, acessado em
 dezembro de 2009.
<http://www.kirkegaard.com/index.php/archives/95>, acessado em dezembro de 2009.
http://www.burohappold.com/BH/NWS_2008_RPI_opens_NY.aspx, acessado em
 dezembro de 2009.
<http://www.worldbuildingsdirectory.com/project.cfm?id=1254>, acessado em dezembro de
 2009.
<http://www.oma.nl/>, acessado em dezembro de 2009.
<http://www.archidose.org/Mar04/030804.html>, acessado em dezembro de 2009.
<http://broadcastengineering.com/excellence-awards/rensselaer-polytechnic-institute/>,
 acessado em dezembro de 2009.
http://www.csemag.com/article/354026-HVAC_design_for_a_performing_arts_center.php
www.BDCnetwork.com/article/ca6650149.html), acessado em dezembro de 2009.
<http://www.modernhometheater.com/virtualtours/wdch/index.html>, acessado em janeiro de
 2010.
<http://www.rosales.com/index.htm>, acessado em janeiro de 2010.
<http://sampacentro.terra.com.br/textos.asp?id=109&ph=9>, acessado em junho de 2010.

APÊNDICE

QUESTIONÁRIO APLICADO A PROJETISTAS E CONSULTORES ACÚSTICOS

Nome do Entrevistado:

Projeto:

1. Em que fase do projeto iniciou a preocupação com a acústica?
2. Quantas pessoas compunham a equipe de projetistas?
3. Em que fase do projeto foi contratada a consultoria acústica?
4. As reuniões com o(a) consultor(a) acústico eram periódicas ou foram só algumas reuniões isoladas?
5. Como era a organização do trabalho de projeto? Qual era a metodologia de projeto utilizada?
6. Como os requisitos acústicos eram abordados no projeto arquitetônico?
7. Em que medida os requisitos acústicos impuseram limitações ao projeto arquitetônico?
Foram muitas limitações?
8. No projeto, houve alguma dificuldade específica para conciliar acústica x arquitetura?
Como foi solucionado?
9. Em algum momento a composição estética arquitetônica (da obra como um conjunto ou de algum elemento específico) foi definida pelo atendimento dos requisitos acústicos?
Como e por quê?
10. Em sua opinião, como deveria ser a interação entre acústica e arquitetura no desenvolvimento do projeto?

INTERVIEW:

Name:

Project:

1. At what stage of the design process started the concern about the acoustics?
2. How many people participated in the design team?
3. At what stage of the design process the Kirkegaard Associates was contracted?
4. The meetings between the architect and acoustic consultants were periodic or were only a few isolated meetings?
5. How was the organization of the work? What was the design method used?
6. How were the acoustic requirements addressed in the architectural project?
7. Do the acoustic requirements impose many limitations on the architectural design? Example?
8. Is there any difficult to combine acoustic and architecture in EMPAC's design ?
9. There was some specific architectural element whose composition was defined by the care of acoustic requirements?
10. In your opinion, how should it be the interaction between acoustic and architecture in the design process?