



**ALEXANDRE VIRGINELLI MAIORINO**

**INFLUÊNCIA ACÚSTICA DE CONCHA  
ORQUESTRAL NA ÁREA DA PLATEIA DE TEATRO  
DE MÚLTIPLO USO**

**Campinas, SP**

**2013.**





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

**ALEXANDRE VIRGINELLI MAIORINO**

**INFLUÊNCIA ACÚSTICA DE CONCHA  
ORQUESTRAL NA ÁREA DA PLATEIA DE TEATRO  
DE MÚLTIPLO USO**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Stelamaris Rolla Bertoli**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Arquitetura e Construção.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO ALEXANDRE VIRGINELLI MAIORINO E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. STELAMARIS ROLLA BERTOLLI

---

**CAMPINAS**

**2013**

iii

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M258i      Maiorino, Alexandre Virginelli, 1972-  
Influência acústica de concha orquestral na área da plateia de teatro de múltiplo uso / Alexandre Virginelli Maiorino. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Acústica arquitetônica. 2. Arquitetura acústica. 3. Arquitetura de teatros. 4. Música - Acústica e física. 5. Orquestra sinfônica. I. Bertoli, Stelamaris Rolla, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Acoustic influence of orchestra shell at audience area in a multipurpose theater

**Palavras-chave em inglês:**

Architectural acoustics  
Buildings acoustics  
Theater architecture  
Music acoustics and physics  
Symphony orchestras

**Área de concentração:** Arquitetura e Construção

**Titulação:** Mestre em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Stelamaris Rolla Bertoli [Orientador]  
Stelamaris Rolla Bertoli  
Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta  
Núbia Bernardi

**Data de defesa:** 24-06-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

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

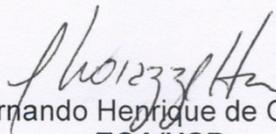
**INFLUÊNCIA ACÚSTICA DE CONCHA ORQUESTRAL NA  
ÁREA DA PLATEIA DE TEATRO DE MÚLTIPLO USO**

**Alexandre Virginelli Maiorino**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli  
**Presidenta e Orientadora - FEC/UNICAMP**



Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta  
**ECA/USP**



Profa. Dra. Nubia Bernardi  
**FEC/UNICAMP**

Campinas, 24 de junho de 2013.



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer inicialmente à minha esposa Paula e minha filha Andreyana pelo apoio em todas as etapas desta jornada. À Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli pela oportunidade de ser seu orientando e por todo conhecimento oferecido. Aos meus pais pelo suporte incondicional, à toda minha família e amigos pelo incentivo e carinho. À meu sogro e minha sogra Marcelino Barrantes Filho e Ieda Barrantes pela paciência e compreensão durante o período deste mestrado. Agradeço à Secretaria de Cultura de Paulínia, ao Sr. Bruno Vitelo, a todos os colaboradores do Teatro Municipal de Paulínia, em especial à Sra. Vanilda, a todos da empresa Telem, Sr. Ezequiel Moreira, Sr. Alex, Sr. Ricardo Fracção e ao Sr. Djalma Coutinho por toda colaboração e interesse pela pesquisa. Ao arquiteto André Khul da Solé Associados pela ajuda com as plantas do Teatro. Gostaria de expressar minha imensa gratidão pela ajuda inestimável durante as medições dos meus amigos Obadias Jr., Daniel Celente, Delourdes Lorenzetti Smiderle, Roberta Smiderle e Rodolfo Thomazelli. A todos os amigos que direta ou indiretamente estiveram presentes apoiando este trabalho. À CAPES pelo financiamento desta pesquisa e ao Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp por todas as facilidades oferecidas.



## RESUMO

MAIORINO, Alexandre V. Influência Acústica de Concha Orquestral na Área da Plateia de Teatro de Múltiplo Uso. Campinas, 2013. 207 f. Defesa (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

A construção de Teatros para Múltiplo uso tem se tornado cada vez mais comum devido a necessidade de abrigar diversos tipos de espetáculos em um único espaço. Para adequar a acústica destes espaços para a música orquestral é necessário o uso de elementos que possibilitem a variação acústica do espaço como é o caso de conchas de orquestra. O principal objetivo das conchas de orquestra é melhorar a acústica no palco para os músicos e para o maestro, melhorando a sensação de conjunto e fazendo com que os músicos ouçam melhor seus instrumentos e o grupo em geral. Entretanto, a concha de orquestra pode também melhorar o desempenho acústico da área da plateia. A hipótese deste trabalho foi o de analisar a diferença do desempenho acústico percebido na área da plateia devido a inclusão de uma concha de orquestra no palco de um teatro de múltiplo uso. Medições acústicas foram realizadas em cinco diferentes tipos de montagem da concha de orquestra no palco. As medições foram feitas de acordo com a norma ISO 3382-1 (2009). Os parâmetros acústicos medidos foram o Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento e Índice de Clareza. Os resultados mostraram que a concha de orquestra pode de fato mudar o desempenho acústico na área da plateia, modificando a percepção acústica subjetiva do ambiente.

Palavras-chave:

Concha de orquestra, Teatro de Múltiplo Uso, Desempenho acústico



## ABSTRACT

MAIORINO, Alexandre V. Influence of an Orchestra Shell at Audience Area in a Multipurpose Theatre. Campinas, 2013. 207 f. Master of Science (Msc in Civil Engineering) – School of Civil Engineering, Architecture and Planning, State University of Campinas, São Paulo, Brazil.

The construction of multiple use theatres is becoming more common due to the need to accommodate different kinds of performances at the same space. In order to acoustically adequate this space to concert music, the inclusion of an orchestra shell becomes necessary. The main objective of an orchestra shell is to improve the acoustic quality on stage, both for musicians and for the conductor. The goal is to improve balance of the group allowing musicians to hear themselves and the orchestra better. However, the orchestra shell can also improve the acoustic quality for the audience. The objective of this study was to analyse the difference of the acoustic performance perceived at the audience area with the inclusion of a lightweight orchestra shell with diffuse surface in a proscenium theatre. Acoustic measurements were done in five different assemblies of the orchestra shell. Measurements were done using the impulse response technique according do ISO3382-1 (2009). Measured parameters were Reverberation Time, Early Decay Time and Clarity index. Results showed that the orchestra shell can in fact modify the acoustic performance at audience area, changing the subjective acoustic perception of the space.

Keywords: Acoustic performance, multipurpose theatre, orchestra shell



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Trecho inicial de Toccata e Fuga em Ré menor de J. S. Bach.....	6
Figura 3.1: Subdivisão do decaimento sono .....	14
Figura 3.2: Curvas simplificadas de decaimento sonoro. (a) Curva com decaimento linear (b) Curva com decaimento inicial menor que o tempo de reverberação (c) Curva de decaimento inicial maior que o tempo de reverberação. ....	18
Figura 3.3: Diagrama de reflexões mostrando o ITDG .....	21
Figura 3.4: Curva de Audibilidade Fletcher Munchen .....	26
Figura 3.5: Comparação entre valores de Razão de Graves - BR com Ranking das melhores salas de concerto.....	27
Figura 3.6: Relação entre a percepção de baixa frequência e $G_w$ .....	28
Figura 4.1: Tempo de reverberação adequado para diversos usos.....	35
Figura 4.2: Efeito de mascaramento causado pela reverberação.....	36
Figura 4.3: Diferença entre reflexão especular e difusa.....	41
Figura 4.4: Vista interna da Sala São Paulo, São Paulo, Brasil.....	43
Figura 4.5: Formatos mais comuns de salas destinadas a execução musical .....	46
Figura 4.6: Planta baixa do Concert Hall do Sydney Opera House, Austrália .....	47
Figura 4.7: Planta baixa do Alberta Jubilee Hall, Canadá.....	48
Figura 4.8: Análise da reflexão do formato leque.....	48
Figura 4.9: Formato Leque com paredes em degraus .....	49
Figura 4.10: Vista interna do Berlin Philharmonie, Alemanha.....	50
Figura 4.11: Recomendação para projeto de balcões. ....	53
Figura 4.12: Vista interna do Symphony Hall em Boston, MA. ....	54
Figura 4.13: McDermott Concert Hall em Dallas, Texas, USA.....	55
Figura 4.14: Inclinação vertical nas paredes laterais do Queens Hall, Dinamarca. ....	56
Figura 4.15: Praticáveis curvos no Danish Radio Concert Hall, Dinamarca. ....	57
Figura 4.16: Reflexões provenientes da angulação do teto. ....	59
Figura 4.17: Painéis suspensos no teto do Deutsch Oper em Berlin.....	60
Figura 4.18: Corte lateral do Philharmonic Hall, Nova Iorque, USA.....	60
Figura 4.19: Corte lateral do Alla Scala de Milão mostrando o fosso aberto. ....	61
Figura 4.20: Vista lateral de fosso semiaberto. ....	62
Figura 4.21: Dimensões gerais de fosso.....	63
Figura 4.22: Detalhe do fosso fechado do Festspielhaus, Alemanha. ....	64
Figura 4.23: Vista interna do Grosser Musikvereinsaal, Áustria .....	66
Figura 4.24: Teatro Alla Scala em Milão, Itália.....	68

Figura 4.25: Angulo de visão do palco em relação à plateia.....	69
Figura 4.26: Direções Principais de radiação da voz de um cantor em bandas de oitava.....	70
Figura 4.27: Vista lateral de um teatro de ópera mostrando o pequeno ângulo de incidência em que os sons reverberantes podem chegar nas poltronas abaixo dos balcões. ....	71
Figura 4.28: Vista interna com teto rebaixado da Sala São Paulo, Brasil.....	75
Figura 4.29: Seção lateral do Milton Keyes Theatre, mostrando as possíveis alturas do teto móvel. ....	76
Figura 4.30: Representação da curva de decaimento de espaços acoplados.....	77
Figura 4.31: Detalhe das portas móveis que acoplam a sala com a câmara reverberante em Lucerne, Suíça. Fonte: <a href="http://www.artecconsultants.com">www.artecconsultants.com</a> . Acesso em 29 de Setembro de 2012. ....	78
Figura 4.32: Teatro "de Speigle", Holanda e suas várias configurações. ....	79
Figura 4.33: Vanaja Hall, Finlândia com as cortinas laterais abaixadas. ....	80
Figura 4.34: Corte Lateral do Albert Concert Hall em Londres. Detalhe nos painéis de teto.....	81
Figura 5.1: Boston Symphony Hall, USA. ....	85
Figura 5.2: La Maison Symphonique em Montreal, Canadá.....	86
Figura 5.3: Concha do Tanglewood Music Shed, USA. ....	87
Figura 5.4: Concha de contenção na Salle Wilfrid Pelletier, Montreal, CA. ....	89
Figura 5.5: Legacy Acoustical Shell - Wenger. ....	95
Figura 6.1: Modelo em 3D do Teatro de Paulínia. ....	99
Figura 6.2: Vista interna da platéia do Teatro de Paulínia. ....	100
Figura 6.3: Vista interna dos balcões no Teatro de Paulínia.....	101
Figura 6.4: Proporção entre os tipos de grupos musicais apresentados na Série Concertos de Paulinia entre 2009 e 2012 .....	103
Figura 6.5: Gráfico mostrando os compositores mais executados na série Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012. ....	104
Figura 6.6: Gêneros musicais mais executados na série Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012. ....	105
Figura 6.7: Desenho técnico de uma torre da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.....	106
Figura 6.8: Vista superior de uma torre da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.....	107
Figura 6.9: Vista superior da montagem da concha em forma de trapézio.....	107
Figura 6.10: Vista de um painel de teto da concha de orquestra do Teatro de Paulínia. ....	108
Figura 6.11: Transporte e montagem da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.....	109
Figura 6.12: Planta baixa da plateia do Teatro de Paulinia.....	110
Figura 6.13: Mapa de assentos com pontos de medição do Teatro de Paulínia. ....	111
Figura 6.14: Posição das fontes sonoras no palco .....	113
Figura 6.15: Configuração 1 - Palco sem concha de orquestra, apenas com cortina.....	115
Figura 6.16: Configuração 2 - Concha completa sem o teto.....	115

Figura 6.17: Vista superior da Configuração 3 - Concha completa com teto.....	116
Figura 6.18: Vista lateral da Configuração 3 - Teto com angulo negativo em relação à plateia ....	117
Figura 6.19: Vista superior da Configuração 4 - Concha completa com teto.....	117
Figura 6.20: Configuração 4 - Concha completa com teto angulado em direção à plateia.....	118
Figura 6.21: Vista superior da Configuração 5 - Concha de orquestra reduzida a 2/3 do tamanho inicial .....	119
Figura 6.22: Vista lateral da Configuração 5 - Altura e inclinação do teto mantidas como na Configuração 4 .....	119
Figura 7.1: Gráfico do Ruído de Fundo na área da plateia nas 5 configurações.....	123
Figura 7.2: Gráfico do Ruído de Fundo na área do palco nas 5 configurações.....	124
Figura 7.3: Gráfico comparativo do Tempo de Reverberação das Configurações 1, 2 e 3 .....	126
Figura 7.4: Comparativo de cada posição de Fonte do Tempo de Reverberação das Configurações 1, 2 e 3 .....	127
Figura 7.5: Gráfico da comparação do Tempo de Reverberação entre as posições de fonte na Configuração 3 .....	129
Figura 7.6: Gráficos da média do Tempo de Reverberação das 3 fontes por setor .....	132
Figura 7.7: Gráfico do comparativo do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 1, 2 e 3 .....	135
Figura 7.8: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 1 .....	136
Figura 7.9: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 2 .....	138
Figura 7.10: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 3 .....	139
Figura 7.11: Gráfico da diferença entre as configurações 1 e 3 nos três setores do Teatro .....	140
Figura 7.12: Gráfico da comparação entre o Tempo Inicial de Decaimento e o Tempo de Reverberação nas Configurações 1 e 3.....	142
Figura 7.13: Gráfico da comparação dos valores médios do Índice de Clareza entre as Configurações 1,2 e 3 .....	144
Figura 7.14: Gráfico da diferença de valores do Índice de Clareza entre as Configurações 1 e 3 nos três setores do Teatro .....	146
Figura 7.15: Gráfico comparativo do Tempo de Reverberação entre as Configurações 3 e 4 .....	147
Figura 7.16: Comparação do Tempo de Reverberação entre as configurações 3 e 4 em função das diferentes posições de fonte .....	148
Figura 7.17: Gráfico Comparativo do Tempo Inicial de Decaimento entre as configurações 3 e 4. ....	149

Figura 7.18: Comparação entre o Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do teatro nas configurações 3 e 4 .....	150
Figura 7.19: Comparação do Índice de Clareza entre as Configurações 3 e 4 .....	152
Figura 7.20: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 3 e 4 nos diferentes setores do teatro .....	152
Figura 7.21: Comparação do Tempo de Reverberação entre as Configurações 4 e 5.....	153
Figura 7.22: Comparação do Tempo de Reverberação entre as Configurações 4 e 5 em relação às três posições de Fonte .....	154
Figura 7.23: Comparação do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 4 e 5.....	155
Figura 7.24: Tempo Inicial de Decaimento das Configurações 3, 4 e 5 nos diferentes setores do teatro em função da posição da fonte. ....	156
Figura 7.25: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 4 e 5 .....	157
Figura 7.26: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 4 e 5 nos 3 setores do teatro .....	158

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros Objetivos em relação a atributos subjetivos segundo a norma ISO 3382-1(2009) .....	31
Tabela 2: Área proposta para os diversos instrumentos de orquestra.....	58
Tabela 3: Indicações de tamanho de auditório e tempo de reverberação em função do tipo de programa. ....	74
Tabela 4: Quantidade de apresentações por série dos Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012. ....	102
Tabela 5: Associação dos pontos de medição estabelecidos com as poltronas do Teatro .....	112



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Área de absorção média
$a_i$	coeficiente de absorção de objetos
$\alpha_i$	coeficiente de absorção
a.C.	Antes de Cristo
ASW	Aparent Source Width
BR	Bass Ratio
C	Celcius
$C_{80}$	Clarity Index
CD	Compact Disc
dB	Decibel
$D_{50}$	Definição
d.C.	Depois de Cristo
DVD	Digital Video Disc
$E_{80}$	Energia Sonora Inicial
ECA	Escola de Comunicações e Artes
EDT	Early Decay Time
$E_{late}$	Energia Sonora Final
FEC	Faculdade de Engenharia Civil
G	Strenght
$G_{early}$	Early Strenght
$G_{late}$	Late Strenght
$G_{mid}$	Mid Frequency Strenght
$G_w$	Bass Strenght Weightened
Hz	Hertz
IACC	Interaural Cross Correlation Index
ISO	International Standard Organization
ITDG	Initial Time Delay Gap
JND	Just Noticeable Difference
Kg	Quilograma
$L_{aeq}$	Nível de Pressão Sonora Equivalente
LEV	Listener Envelopment
LF	Lateral Fraction
$LG_{80}$	Relative Level of Late Sound Energy
$LQ_{7-40}$	Conductor's Acoustics Parameter
log	Logaritmo
m	Metros
$m^2$	metro quadrado
$m^3$	metro cúbico
ms	milissegundo
mm	milímetro
NBR	Norma Brasileira
NC	Noise Criteria
Osesp	Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo
$p(t)$	Pressão Sonora Instantânea
$p_{10}(t)$	Pressão sonora instantânea a uma distância de 10m em campo livre
$p_d$	Pressão da resposta impulsiva no entrada direita

$p_e$	Pressão da resposta impulsiva no entrada esquerda
$p_\infty$	pressão sonora instantânea em um determinado ponto de medição medido com um microfone bi-direcional
RT	Reverberation Time
s	Segundos
SDI	Sound Diffusion Index
Séc.	Século
$S_i$	Área de absorção
SPL	Sound Pressure Level
ST	Suporte
$ST_{early}$	Suporte inicial
$ST_{late}$	Suporte Final
$t_1$	Tempo Inicial do intervalo analisado
$t_2$	Tempo Final do intervalo analisado
TR	Tempo de Reverberação
$TR_{125}$	Tempo de Reverberação na frequência de 125Hz
$TR_{250}$	Tempo de Reverberação na frequência de 250Hz
$TR_{500}$	Tempo de Reverberação na frequência de 500Hz
$TR_{1000}$	Tempo de Reverberação na frequência de 1000Hz
Ts	Tempo Central
V	Volume do Ambiente
x	coeficiente de absorção do ar

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>XXI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>3 PARÂMETROS ACÚSTICOS PARA AVALIAÇÃO DE SALAS.....</b>	<b>13</b>
3.1 Tempo de Reverberação.....	15
3.2 Tempo Inicial de Decaimento .....	18
3.3 Índice de Clareza.....	19
3.4 Tempo de Atraso Inicial .....	20
3.5 Força Sonora.....	21
3.6 Índice de Correlação Cruzada Interaural .....	22
3.7 Fração Lateral .....	23
3.8 Nível Relativo da Energia Sonora Final .....	24
3.9 Índice de Difusão Sonora .....	25
3.10 Razão de Graves .....	25
3.11 Força Sonora Ponderada em Baixa Frequência.....	27
3.12 Suporte .....	28
3.13 Medidas dos Parâmetros Acústicos.....	29
<b>4 ACÚSTICA DE SALAS PARA MÚSICA .....</b>	<b>33</b>

4.1	Atributos Subjetivos .....	33
4.1.1	<i>Reverberância</i> .....	34
4.1.2	<i>Clareza</i> .....	35
4.1.3	<i>Conjunto e Equilíbrio</i> .....	37
4.1.4	<i>Intimidade</i> .....	38
4.1.5	<i>Espacialidade</i> .....	39
4.1.6	<i>Envolvimento do Ouvinte</i> .....	39
4.1.7	<i>Vivacidade, Textura e Timbre</i> .....	40
4.1.8	<i>Audibilidade (Loudness)</i> .....	41
4.1.9	<i>Faixa Dinâmica</i> .....	42
4.1.10	<i>Calor</i> .....	44
4.2	Características Arquitetônicas .....	45
4.2.1	<i>Formato da Sala</i> .....	46
4.2.2	<i>Balcões</i> .....	52
4.2.3	<i>Assentos</i> .....	53
4.2.4	<i>Palco</i> .....	54
4.2.5	<i>Teto</i> .....	59
4.2.6	<i>Fosso de Orquestra</i> .....	61
4.2.7	<i>Diferenças Arquitetônicas entre Salas destinadas à Música</i> .....	64
<b>5</b>	<b>CONCHAS DE ORQUESTRA</b> .....	<b>83</b>
5.1	Conchas de Contenção .....	88
5.2	Conchas Articuladas.....	92
5.3	Conchas Combinadas.....	95
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>97</b>
6.1	Equipamento de Medição .....	97
6.2	Objeto de Estudo .....	98
6.2.1	<i>Teatro Municipal de Paulínia</i> .....	98
6.2.2	<i>Concha de Orquestra</i> .....	105

6.3	Procedimento de Medição .....	109
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE .....</b>	<b>121</b>
7.1	Ruído de Fundo.....	122
7.2	Comparação entre as Configurações 1, 2 e 3 .....	125
7.2.1	<i>Tempo de Reverberação - TR</i> .....	125
7.2.2	<i>Tempo inicial de decaimento – EDT</i> .....	134
7.2.3	<i>Índice de Clareza – C<sub>80</sub></i> .....	143
7.3	Comparação entre a Configuração 3 e a Configuração 4 .....	147
7.3.1	<i>Tempo de Reverberação</i> .....	147
7.3.2	<i>Tempo Inicial de Decaimento - EDT</i> .....	149
7.3.3	<i>Índice de Clareza</i> .....	151
7.4	Comparação entre as Configurações 4 e 5 .....	153
7.4.1	<i>Tempo de Reverberação</i> .....	153
7.4.2	<i>Tempo Inicial de Decaimento</i> .....	155
7.4.3	<i>Índice de Clareza</i> .....	157
7.5	Considerações.....	158
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>161</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>167</b>
	<b>APÊNDICE A – LISTA DE COMPOSITORES, PERÍODO E QUANTIDADE DE PEÇAS MUSICAIS EXECUTADAS NA SÉRIE CONCERTOS DE PAULÍNIA ENTRE OS ANOS DE 2009 A 2012 .....</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE B – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS TEMPO DE REVERBERAÇÃO (TR), TEMPO INICIAL DE DECAIMENTO (EDT) E ÍNDICE DE CLAREZA (C80) EM CADA UMA DAS CONFIGURAÇÕES DE PALCO MEDIDA.....</b>	<b>177</b>



# 1 Introdução

O estudo sistemático da Acústica de Salas é uma ciência recente se comparada ao estudo da música. Entretanto, desde os primórdios, o estudo de ambas disciplinas caminham juntos e por vezes se confundem. Compreender como essas duas disciplinas caminharam lado a lado ao longo do tempo pode ser de grande valia na compreensão do estudo atual dos espaços acústicos destinados à música.

Os primeiros estudos de Acústica estavam relacionados com a música e buscavam explicar como os instrumentos musicais produziam seus sons, as propriedades acústicas das notas musicais e sua relação de intervalos, timbre e características dos instrumentos. Pitágoras (570 a.C) e Aristóteles (384 a.C) foram talvez os primeiros a estudar os fenômenos musicais. A arte teatral na Grécia antiga também era bastante sofisticada e prestigiada. Os anfiteatros gregos eram construções grandiosas que abrigavam quase 20.000 pessoas sentadas. Os teatros eram construídos ao ar livre em formato semicircular, porém com um ângulo de abertura maior que  $180^\circ$ , eram localizados em áreas com baixo nível de ruído. Possuíam arquibancadas anguladas com degraus em distâncias propícias para plena visualização da plateia o que ajudava consideravelmente no fator acústico, especialmente na inteligibilidade. Acredita-se que os atores usavam máscaras com um cone saindo do orifício da boca com a intenção de amplificar e direcionar o som, como um megafone. Usavam-se também grupos corais, não apenas como suporte musical como nos dias de hoje, mas também como num jogral melódico, cantando as palavras. Os gregos possuíam conhecimento de princípios acústicos como os fenômenos de geração, propagação e percepção do som. Havia também certa noção de princípios básicos como a diferença entre frequência e velocidade do som e a compreensão que, independente da frequência, o som se propagava com a mesma velocidade (LONG, 2006).

Os romanos a partir da tecnologia obtida com os gregos foram responsáveis por grandes avanços no projeto e construção de anfiteatros. Graças ao engenheiro e arquiteto romano Marcus Vitruvius Pollio (Séc I a.C), engenheiro

militar de Júlio César, muitas informações foram registradas sobre a arquitetura e a acústica dos teatros gregos e romanos por volta de 50 a.C. Em seu tratado *De Architectura*, Vitruvius deixa um verdadeiro manual do como projetar e construir um bom teatro romano. Vitruvius mostra pontos importantes como a escolha adequada do local para a construção do teatro e linhas de visão apropriadas, o que beneficiaria não só a visão como a audição. A partir dos ensinamentos gregos, os romanos também acreditavam que a música era regida por princípios matemáticos, assim como a acústica. Desta maneira, o projeto dos teatros deveria também seguir os princípios da harmonia musical de acordo com a tradição grega. Vitruvius também deixa registrado o uso de um artefato curioso relacionado a acústica de teatros. Com o objetivo de amplificar a voz dos atores, uma série de vasos fabricados em bronze eram instalados em cavidades, equidistantes na plateia. Os vasos eram afinados de acordo com a escala grega e quando entravam em ressonância com as notas musicais de uma melodia cantada, por exemplo, reforçavam o som produzido (LONG, 2006). Talvez tenham sido os romanos também quem proliferaram alguns mitos acústicos que vêm se propagando até a atualidade como o de que a madeira é um material acústico melhor que o concreto. Vitruvius deixa especificado que os vasos citados anteriormente, deveriam ser usados especialmente se o palco fosse construído de alvenaria, uma vez que esta não ressoa como a madeira (IZENOUR, 1997).

Um importante transmissor da cultura musical greco-latina para a idade média foi o filósofo romano Boécio (480-524 d.C.). As teorias filosóficas de Boécio causaram impacto tão profundo na cultura medieval que seus tratados foram lidos e publicados por mais de 10 séculos. Os clérigos medievais transpuseram seus compêndios sobre música, arquitetura, filosofia e política a serviço da igreja. Boécio organiza seu pensamento “em torno da ideia de que, por obra da razão divina, estabeleceu-se a harmonia de todas as coisas segundo a ordem dos números” (MASSIN e MASSIN, 1997). E claro, a música era a ciência dos números. Podia-se então transpor essa afirmação para todas as áreas do saber, inclusive a Arquitetura. Seus pensamentos influenciaram arquitetos medievais que traçavam plantas de catedrais segundo proporções numéricas e geométricas

como a do quadrado e de retângulos proporcionais. Assim a música deveria privilegiar tais proporções como a de 2:1 como o intervalo de oitava, 3:2 no intervalo da quinta justa e 4:3 no intervalo da quarta justa. A música medieval deveria ser composta por estas diretrizes e executada dentro de edificações com tais proporções, as mesmas que regiam o universo (MASSIN e MASSIN, 1997). A música no período medieval pode ser dividida de maneira bastante genérica em duas vertentes, a dos trovadores considerada como popularesca e a música litúrgica que na época era o canto gregoriano. As grandes catedrais ou monastérios de pedra eram palcos para o desenvolvimento desta forma de arte que ainda era monofônica. O canto gregoriano acabou se desenvolvendo no chamado “canto chão”, que era basicamente um espelho da melodia cantada um intervalo de quarta abaixo da melodia principal. A polifonia ainda iria se desenvolver apenas no meio da idade média. O *organum*, ou “canto chão”, aos poucos se desenvolveu para três e quatro vozes, e não mais acompanhava estritamente a melodia. Algumas notas eram cantadas com ritmos diferentes, porém em andamentos lentos. Muito provavelmente, o próprio espaço acústico das catedrais propiciava as notas longas e os pequenos saltos em tessitura. Devido ao grande tempo de reverberação das igrejas medievais, as notas monofônicas ao serem entoadas seriam remontadas umas nas outras propiciando uma estética polifônica. O clima não apenas visual das enormes catedrais góticas, mas também sonoro com seu grande tempo de reverberação, propiciava aos fiéis uma atmosfera propícia à contemplação (LONG, 2006). Um dos grandes mistérios acústicos medievais remonta o passado grego: em diversas igrejas por toda Europa medieval, foram encontrados vasos similares aos descritos por Vitrúvius. Embora parecidos, pouco se sabe sobre sua real utilidade por que ao contrário de Vitruvius, os projetistas medievais não deixaram sequer um escrito sobre sua utilidade, construção ou posicionamento. Os vasos medievais funcionavam de maneira oposta à pretensão de uso dos vasos romanos. Enquanto para os romanos o objetivo dos vasos era entrar em ressonância para amplificar a voz, os vasos medievais funcionam como absorvedores. Estes vasos foram encontrados especialmente em pequenas igrejas e não em grandes templos como as catedrais.

Estes espaços pequenos são os mais propícios a problemas em baixa frequência. Mais tarde, o físico Alemão, Hermann Von Helmholtz, explicaria o funcionamento de dispositivos como os vasos, na absorção sintonizada de baixa frequência (CRUNELLE, 1993).

A partir do século XV com o final da Idade Média, o Renascimento trouxe enormes mudanças no panorama político e musical. A reforma de Lutero, o Concílio de Trento, a *Ars Nova*, a nova estética musical, o desenvolvimento da polifonia e do contraponto revigoraram o período. As ideias iluministas e a nova ordem cultural propiciaram um grande desenvolvimento nas artes, que na música, estabeleceu uma estética própria, a qual se estende até os dias de hoje no ocidente. O mesmo aconteceu com a Arquitetura, a Construção e aos projetos de teatros (LONG, 2006). A arte deixa de ter cunho apenas religioso, abrindo espaço para o que se chama hoje de arte laicisante. Os primeiros teatros em forma de ferradura surgiam, embora já existissem salas retangulares nos palácios utilizadas para diversos fins e que mais tarde seriam transformadas em teatros ocasionais. Neste período também surgem os primeiros teatros públicos e proliferam os teatros com proscênio, uma área estendida à frente do palco deixando os atores envolvidos pela plateia lateral. Uma grande extensão na área do proscênio pode ser vista nos teatros Ingleses que na época encenavam peças do período Elisabetano e as peças de William Shakespeare, chamados então de teatros Shakespearianos. A arte renascentista, com suas esculturas rebuscadas, fazia parte da decoração dos salões e teatros da época, onde eram encenadas peças, música instrumental e balés (IZENOUR, 1997). A Renascença também se apropriou das teorias numéricas de Boécio e em 1436, o compositor Guillaume Dufay escreveria o moteto *Nuper rosarum flores* para a inauguração da cúpula de Brunelleschi, na catedral de Florença, utilizando cuidadoso estudo matemático das proporções do edifício para ser transposto na forma e duração das notas em sua música (MASSIN e MASSIN, 1997).

O final da Renascença e o início do período Barroco no século XVII foi palco para o início de uma nova forma de arte que unia teatro e música, a ópera. Vindo de um estilo chamado *camerata*, a ópera se tornou um dos estilos mais

importantes do período Barroco especialmente na Itália, onde proliferaram as construções de teatros especificamente para este gênero musical. Foi nesta época que proliferou o proscênio italiano que se encarregava de separar a área da plateia da área do palco. Assim, o palco não seria mais visto em sua totalidade, possibilitando a entrada lateral dos artistas além da montagem e troca de cenários (LONG, 2006). A orquestra, que antes ficava ao fundo do palco ganhou seu lugar característico até hoje nos teatros modernos de ópera, na frente do palco e em um fosso. O formato em U da plateia se fortaleceu, mais tarde sendo adaptado para o formato ferradura, tradicional das casas de ópera dos períodos seguintes. Neste período, trabalhos de acústica influenciavam teorias sobre música e vice-versa. Destacam-se trabalhos como o de Galileu-Galilei (1564-1642) sobre a dedução da lei das cordas, do francês Marin Mersenne (1588-1648) sobre harmonia universal baseada em ressonâncias, do Italiano Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) sobre intervalos musicais e do francês Isaac Beeckman (1588-1637) sobre vibrações das cordas (LINDSAY, 1966). Baseado na obra de Mersenne, René Descartes (1596-1650) também formula tratados sobre ressonância e harmonia que influenciaram cem anos mais tarde o compositor Jean-Phillipe Rameau (1682-1764), que teoriza as bases do sistema tonal em seu *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturelles* (MASSIN e MASSIN, 1997). A música no período barroco teve uma evolução técnica e estética considerável. Aos poucos, desde a Renascença, a música deixou de ser apenas religiosa, ganhando força a música secular como forma de entretenimento. Com o advento da ópera, Claudio Giovanni Antonio Monteverdi (1567-1643) foi possivelmente um dos mais famosos compositores de ópera do período, assim como Antonio Vivaldi (1678-1741) na música instrumental. Outro nome de destaque na música do período Barroco, foi Johann Sebastian Bach (1685-1750). Bach compôs tanto música secular como música religiosa. A percepção aguçada dos compositores fazia com que suas composições se adequassem à acústica do ambiente em que deveria ser executada. Boa parte dos trabalhos de órgão de Bach foi composto em Weimar (1703-1717) em uma igreja bastante reverberante. Em seu célebre trabalho, a Toccata e Fuga em Ré menor, destaca-se uma pausa logo em seguida ao

ornamento inicial e uma pausa com fermata após o segundo grupo de notas (Figura 1.1). Isto mostra a intenção do compositor em deixar que a nota soasse após ser executada devido ao tempo de reverberação da igreja (DART, 1990).



Figura 1.1: Trecho inicial de Toccata e Fuga em Ré menor de J. S. Bach  
Fonte: [www.imsl.org](http://www.imsl.org)

Salas destinadas exclusivamente à prática musical são relativamente raras no início da história da música. As igrejas por muito tempo foram os espaços mais utilizados, assim como na renascença e posteriormente no período barroco, os salões e salas dos palácios. Historicamente os teatros foram crescendo gradativamente a partir do barroco, paralelamente ao surgimento da ópera, atingindo seu auge no romantismo com o crescimento das orquestras e de seu público. Os primeiros teatros destinados a apenas um tipo de espetáculo musical foram os teatros de ópera no período Barroco. Somente no século XVIII com o período Clássico, apareceram, na Inglaterra, as primeiras salas de concerto dedicadas exclusivamente à música instrumental (LONG, 2006). Na música, o período Clássico, trouxe à tona o estilo “*galante*”, com melodias leves acompanhadas por uma harmonia, oposto ao Barroco com seus intrincados contrapontos. Na Arquitetura, o chamado período Neoclássico retoma a arquitetura clássica grega. Deste período destacam-se compositores como Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791), Joseph Haydn (1732-1809) e Ludwig von Beethoven (1770-1827). A partir do período Clássico, muitos instrumentos

sofreram evolução em seu processo de construção. Neste período surgiu o *fortepiano*, o antecessor do piano moderno, bastante utilizado por Mozart.

A transição do período Clássico para o período Romântico é um tanto difícil de ser delimitada na história da música. Beethoven provavelmente é o compositor que mais exemplifica esta transição. As últimas obras de Beethoven, a partir de sua 6ª. Sinfonia são consideradas por muitos como um prenúncio do Romantismo, especialmente seus últimos quartetos para cordas. Ao contrário do Classicismo, a música Romântica era menos restrita à forma, característica do período Clássico. Com a evolução construtiva dos instrumentos, a orquestra da época passou a emitir maiores volumes sonoros e ao longo do tempo também foi crescendo em tamanho. Compositores como Wagner (1813-1883) e Mahler (1860-1911) chegaram a utilizar orquestras de tamanhos excepcionais. Orquestras maiores, com maior sonoridade necessitam de um público maior. É neste período que cresce o tamanho das salas de espetáculos destinadas à música. Salas maiores também podem trazer maiores problemas acústicos e o estudo sistematizado de acústica de salas ainda se restringia ao conhecimento da época. Salas de sucesso eram copiadas e pequenas mudanças de projetos eram realizadas e o sucesso acústico destas salas ainda não era totalmente compreendido. Entretanto, algumas das salas de concerto que até hoje são consideradas de excelente acústica de acordo com Beranek (2003) datam do final do século XIX. O final do século XIX é, por sinal, um período bastante prolífico tanto na publicação de trabalhos científicos relacionados à acústica como no desenvolvimento de equipamentos que seriam o estopim inicial para uma transformação na sociedade do século XX. Dos trabalhos científicos, merecem destaque os trabalhos de Hermann von Helmholtz (1821-1894) e Lord Rayleigh (1842-1919) (LINDSAY, 1966). Dentre os equipamentos que revolucionariam o século XX estão o telefone de Alexander Graham Bell (1847-1922), o fonógrafo de Thomas Edison (1847-1931) e o transdutor de bobina móvel de Ernst Siemens (1816-1892) que viria a ser o alto-falante mais tarde (LONG, 2006). Foi também no final do século XIX que se atribui o início do estudo da Acústica de salas com Wallace Clement Sabine (1869-1919). É de Sabine o estudo e teorização sobre o conceito de tempo de reverberação e sua importância

na acústica de salas. Sabine percebeu que o tempo de reverberação é diretamente proporcional ao volume do ambiente e inversamente proporcional à área de absorção contida neste ambiente. Cortinas pesadas, móveis e estofados fazem com que o ambiente se torne mais “seco” e portanto contribuem para a absorção do som. Quanto maior a área de absorção no ambiente, menor seu tempo de reverberação.

A partir das descobertas de Sabine e da evolução tecnológica do século XX, a acústica de salas passou a um novo estágio de conhecimento. O desenvolvimento de equipamentos de medição e de materiais específicos para controle acústico tornaram o século XX o período onde mais se avançou no conhecimento do assunto em menor espaço de tempo. A evolução nas técnicas da construção civil, desenvolvimento de novos materiais e o avanço da tecnologia de simulação por computador fizeram o final do século XX um dos períodos onde a tecnologia e o conhecimento acumulado são diferenciais no projeto adequado de ambientes destinados à prática e execução musical. O século XX também é o período da explosão cultural, da indústria cultural de massa, da globalização, da explosão dos meios de comunicação e do imperialismo cultural. Fatores econômicos e culturais fizeram de gêneros musicais como a ópera e a música instrumental de concerto, produtos destinados a uma camada restrita da população. Estilos provenientes da música popular alcançam grande destaque especialmente devido à indústria cultural dividindo o espaço antes destinado à ópera e à música orquestral. Por razões econômicas, teatros de múltiplo uso passaram a ser construídos especialmente em cidades menores. Normalmente, estas cidades não possuem grupos musicais estáveis e portanto não comportam a construção de salas específicas como salas de concerto (BARRON, 2003).

O maior desafio na construção de teatros de múltiplo uso é a adequação acústica que os vários tipos de espetáculos exigem. A acústica destinada à fala possui requisitos diferentes da acústica destinada à música de concerto. A solução para este tipo de dilema é o projeto de salas com variabilidade acústica. A variabilidade acústica pode ser alcançada de diversas maneiras, como através de sistemas eletroacústicos, mudança das superfícies de determinados materiais em

certas áreas do teatro, até variações mais drásticas e mais eficazes como o aumento ou a diminuição do volume total da sala.

Um dos aparatos utilizados para a variabilidade acústica de salas de múltiplo uso são as conchas de orquestra. Utilizadas principalmente em teatros com arco de proscênio e caixa cênica, as conchas de orquestra tem como principal objetivo melhorar as condições acústicas no palco para os músicos. Elas provém uma quantidade grande de primeiras reflexões, importantes para que os músicos possam ouvir seu próprio instrumento e os instrumentos do resto do grupo musical. Mas as conchas de orquestra podem beneficiar também a área da plateia. Parte do som refletido nas superfícies das conchas pode ser projetado para a plateia, modificando o desempenho acústico da sala. Jaffe (1974) divide as conchas em 3 tipos: conchas de contenção, articuladas e mistas. As conchas de contenção tem por objetivo isolar a acústica da caixa cênica do teatro, fazendo com que o som percebido pelos músicos no palco seja uma extensão da área da plateia. Para isso, são utilizados materiais de alta densidade e com espessura considerável. A desvantagem deste tipo de concha é seu peso elevado, dificuldade na montagem e armazenamento das placas. As conchas articuladas, por sua vez, tem como objetivo melhorar as primeiras reflexões no palco para os músicos mas também aproveitar o ambiente acústico da caixa cênica, melhorando a sensação de reverberancia no palco e projetando parte da reverberação da caixa cênica para a área da plateia. As conchas articuladas tem a vantagem de serem construídas com materiais mais leves, sendo mais fácil sua montagem e armazenamento. As conchas mistas são feitas a partir de uma mistura dos dois conceitos, como por exemplo uma concha com teto leve e articulável e paredes laterais e de fundo com materiais mais pesados. Alguns estudos mostram a influência de alguns tipos conchas de orquestra na área da plateia, entretanto o assunto ainda necessita de pesquisa, devido à grande variedade de conchas disponíveis no mercado com formatos, possibilidade variada de montagem e materiais diversos. A análise da influência da concha de orquestra na área do palco já é bastante estudada, entretanto, a influencia acústica de concha de orquestra na área da plateia possui ainda poucos trabalhos na literatura. A

possibilidade de estudar e compreender a variação acústica provocada pelas diversas formas de montagem de um tipo específico de concha, como o caso da concha articulada encontrada no Teatro Municipal de Paulínia, de baixa densidade superficial e com superfície em formato policilíndrico, motivou este trabalho.

Este trabalho está dividido em oito capítulos, sendo o primeiro uma introdução que contextualiza historicamente a acústica de salas relacionada à história da música. O segundo capítulo apresenta o objetivo desta pesquisa. O terceiro capítulo descreve os principais parâmetros utilizados para a avaliação de acústica para salas. O quarto capítulo aborda a acústica de salas englobando as questões subjetivas para avaliação acústica, elementos arquitetônicos que influenciam na acústica e as diferenças básicas entre os três principais tipos de salas destinadas à música. O quinto capítulo destina-se à descrição dos principais tipos de conchas de orquestra. O sexto capítulo apresenta a metodologia da pesquisa. O sétimo capítulo destina-se à apresentação e avaliação dos resultados obtidos e o oitavo capítulo às conclusões deste trabalho.

## **2 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência da utilização de uma concha de orquestra confeccionada com material de baixa densidade superficial e na forma de painéis policilíndricos, na qualidade acústica da área da plateia de um teatro multidisciplinar.



### **3 Parâmetros Acústicos para Avaliação de Salas**

Até o início do século XX, o sucesso relacionado à acústica de ambientes destinados à prática musical estava alicerçado nos conhecimentos adquiridos até o momento. Construtores e arquitetos baseavam-se em modelos consagrados para suas novas criações. A compreensão sobre a influência acústica de elementos arquitetônicos em salas ainda era motivo de pesquisa. A partir do início do século XX, com os estudos de Sabine, o primeiro parâmetro acústico objetivo foi proposto, o tempo de reverberação. Na década de 50, com o surgimento de equipamentos confiáveis de gravação e reprodução sonora, foi possível a medição e avaliação do tempo de reverberação. A partir deste momento, foi possível compreender as limitações deste parâmetro e surgiu a necessidade para o desenvolvimento de novos parâmetros que pudessem avaliar de maneira mais completa a acústica de salas. Até as descobertas de Sabine, o estudo da acústica de salas se restringia à tentativa de conectar aspectos subjetivos sobre a percepção de determinados ambientes a elementos arquitetônicos. Os parâmetros objetivos podem ser vistos como a ponte de ligação entre estes elementos arquitetônicos e as avaliações subjetivas dos ambientes. A partir da análise de dados medidos em um ambiente quando comparados a análises subjetivas, pode-se estabelecer diretrizes específicas e compreender de fato a influência de elementos construtivos na acústica de ambientes destinados à fala e à música.

Em pouco mais de sessenta anos, uma série de novos parâmetros são ainda hoje propostos na tentativa de estabelecer relações quantitativas cada vez mais específicas para que se possa auxiliar no projeto de ambientes destinados à música. Atualmente, uma das técnicas utilizada para a medição de parâmetros acústicos é a técnica da resposta impulsiva. A resposta impulsiva de um ambiente pode ser definida como a resposta do ambiente a um impulso ideal, conhecido como uma função Delta de Dirac. Quase todos os parâmetros acústicos podem ser obtidos a partir da observação e análise deste sinal.

Para melhor compreender e relacionar atributos subjetivos com seus parâmetros objetivos, percebeu-se que o ouvido humano consegue distinguir o som de maneira diferenciada de acordo com o tempo em que determinadas reflexões chegam ao ouvinte. A partir desta constatação, costuma-se dividir o decaimento de um som em duas partes: *primeiras reflexões* e *reflexões tardias* (Figura 3.1).

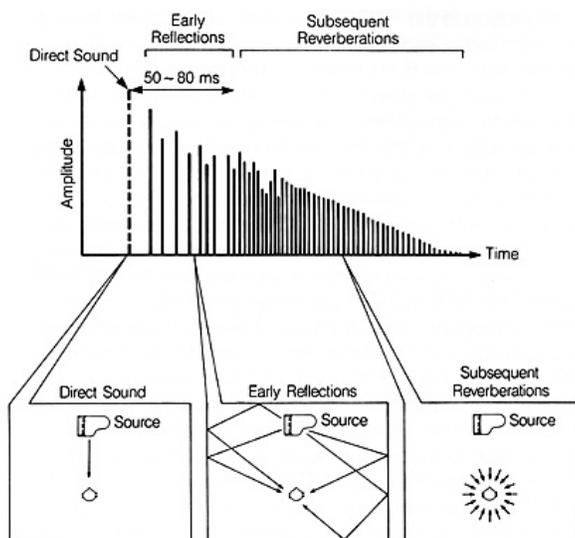


Figura 3.1: Subdivisão do decaimento sono

Fonte: [http://www.torgny.biz/Room%20acoustics\\_1.htm](http://www.torgny.biz/Room%20acoustics_1.htm). Acesso em 13 de Junho de 2012.

As primeiras reflexões são aquelas que compreendem o som direto e os sons refletidos e que chegam ao ouvinte com um atraso entre 50ms e 80ms. Há uma distinção no tempo de atraso das primeiras reflexões caso se esteja analisando sons da fala ou sons musicais. Para a fala, considera-se como primeiras reflexões os sons que chegam com atraso de até 50ms ao ouvinte e para a música, as primeiras reflexões são aquelas que chegam com atraso de até 80ms. Dentro do campo das primeiras reflexões, foram estudados vários parâmetros que contribuem efetivamente com a qualidade dos fenômenos acústicos em salas destinadas à música. Os sons iniciais são sensíveis ao formato da sala uma vez que as primeiras reflexões são provenientes de superfícies

identificáveis ao passo que o som reverberante é composto de todas as reflexões posteriores e de praticamente todas as superfícies da sala.

Este capítulo apresenta e define, dos itens 3.1 a 3.12, alguns dos principais parâmetros acústicos utilizados nos dias de hoje na avaliação de ambientes destinados à música. O item 3.13 apresenta a metodologia para a medição dos parâmetros acústicos, bem como a norma que estabelece as diretrizes para as medições.

### 3.1 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação (TR) é definido como o tempo que o som leva para decair em 60dB após cessar o som direto emitido (EGAN, 2007).

Nos estudos conduzidos no final do século XIX, Sabine percebeu que o tempo do decaimento do som em um determinado ambiente era influenciado por dois fatores importantes, o volume do ambiente e a quantidade de área de material de absorção dentro deste ambiente. O tempo de reverberação de acordo com Sabine pode ser expresso pela Equação 1:

$$TR = 0,16 \frac{V}{A} \text{ (s)} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

TR= Tempo de reverberação em função da frequência

V= Volume interno do ambiente

A= Área de absorção média dada por:

$$A = \sum S_i \alpha_i + \sum a_i + xV$$

onde:

$S_i$  = Área de absorção

$\alpha_i$  = coeficiente de absorção

$a_i$  = coeficiente de absorção de objetos

$x$  = coeficiente de absorção do ar

V = Volume da sala

O tempo de reverberação varia com a frequência, ou seja, para um determinado ambiente, o tempo de reverberação tem valores diferentes para frequências diferentes devido à diferença de absorção dos materiais para essas frequências. Instruções normativas atuais como a ISO 3382-1 (2009) propõe o estudo do tempo de reverberação em bandas de oitava entre as faixas de 125Hz a 4.000Hz. Como opção para um estudo mais aprofundado, pode-se aumentar a faixa de frequência e utilizar bandas de frequência de 1/3 de oitava. Entretanto em algumas circunstâncias, é necessário apenas um único número. Alguns pesquisadores propõem uma média aritmética dos valores do Tempo de Reverberação nas frequências de 500Hz e 1.000Hz (BERANEK, 2003), outros consideram que apenas o valor do tempo de reverberação na frequência de 500Hz é suficiente para uma avaliação genérica (MEHTA *et al.*, 1998).

Para compreender o significado do tempo de reverberação, pode-se imaginar um impulso sonoro de curta duração emitido dentro de uma sala e chegando aos ouvidos de um ouvinte. A primeira informação recebida pelo ouvinte será a do som proveniente diretamente da fonte sonora. Em seguida, as ondas que não foram em direção direta ao ouvinte encontrarão superfícies como o teto, o chão e as paredes da sala. Dependendo do tipo de superfície encontrada, o som irá refletir em diversas direções até chegar novamente ao ouvido do ouvinte. Para cada reflexão desta onda sonora, parte de sua energia irá se refletir novamente em intensidade menor, parte será transmitida e parte será absorvida. Enquanto a onda sonora refletir nas superfícies do ambiente e atingir o ouvinte, o som irá se perpetuar até que se cesse por completo. A esse residual sonoro que aparenta ser uma continuação do som direto produzido podemos chamar de reverberação. Dentre os métodos de medição do tempo de reverberação, pode-se citar dois como os principais: o método da fonte interrompida e o método da resposta impulsiva. No método da fonte interrompida, um ruído emitido por uma fonte sonora omnidirecional é interrompido e o tempo de decaimento do residual sonoro do ruído é medido em função de frequência. No método da resposta impulsiva, a

curva de decaimento é extraída a partir da resposta acústica de um determinado ponto de uma sala a partir da emissão de um impulso de Dirac em um outro ponto da sala (ISO, 2009).

O tempo de reverberação foi considerado por algum tempo como o parâmetro mais importante na acústica de salas. Entretanto percebeu-se que apenas o tempo de reverberação não era suficiente para avaliar qualitativamente a acústica de um ambiente. O decaimento total sonoro foi então analisado em partes, sendo dividido entre primeiras reflexões, e em sons reverberantes. As primeiras reflexões, são aquelas consideradas a partir da emissão do som direto até aproximadamente 80ms caso a avaliação seja destinada à música, ou 50ms caso a avaliação seja destinada à fala. Os sons reverberantes, são os sons finais, a partir de 50ms ou 80ms até seu decaimento total. Embora outros parâmetros como o Tempo Inicial de Decaimento possam ter melhor relação com a sensação subjetiva de reverberancia percebida pelo ouvinte, Barron (2003) mostra que o tempo de reverberação determina o tempo inicial de decaimento, o índice de clareza e juntamente com o volume da sala, o nível total de pressão sonora. Desta maneira, ele continua sendo o parâmetro mais importante que descreve a qualidade percebida em salas destinadas à música.

Uma questão de grande importância relacionada a todos os parâmetros acústicos e ainda até o presente momento estudada é a diferença do limite do observável (Just Noticeable Difference – JND). A diferença no limite do observável é a menor diferença percebida como variação em um determinado parâmetro pelo ouvido humano. Estes valores são obtidos através de testes subjetivos onde são isolados determinados elementos do decaimento sonoro e apresentados à avaliação de um determinado público. Embora existam pesquisas na área, os valores de JND ainda são discutíveis e pesquisas nesta área ainda são necessárias (BRADLEY, 2011). A norma ISO 3382-1 (2009) não propõe valores do limite do observável para o parâmetro Tempo de reverberação, mas pesquisas mostram que o assunto ainda necessita de maiores estudos, não havendo consenso sobre os valores do limite do observável, que podem variar de 4% a 30% (BRADLEY, 2011; MENG *et al.* 2006)

### 3.2 Tempo Inicial de Decaimento

A principal crítica a respeito do Tempo de Reverberação é a de que quando relacionado à música, o tempo de reverberação pode ser melhor percebido quando o som é interrompido. Entretanto, a percepção da reverberação enquanto o som está sendo executado, entre a transição de uma nota teria maior importância subjetivamente. Com a divisão do decaimento sonoro em dois componentes, sons iniciais e sons reverberantes, um novo parâmetro foi proposto para a medição dos sons iniciais, e é considerado mais adequado para medir a sensação de reverberancia enquanto os sons estão sendo executados. O Tempo Inicial de Decaimento - *Early Decay Time* (EDT), é o tempo de decaimento dos sons iniciais em 10 dB a partir do momento em que a fonte é cessada. O valor obtido em segundos é então multiplicado pelo fator 6 para compará-lo ao tempo de reverberação (BERANEK, 2003).

Em um ambiente difuso, o tempo inicial de decaimento deve ser igual ou muito próximo ao tempo de reverberação. Isto acontece porque o decaimento será totalmente linear (BARRON, 2003). Na prática, este comportamento é observado apenas em algumas salas. A Figura 3.2 mostra as possíveis curvas de decaimento sonoro que podem acontecer quando o Tempo Inicial de Decaimento difere do Tempo de Reverberação.

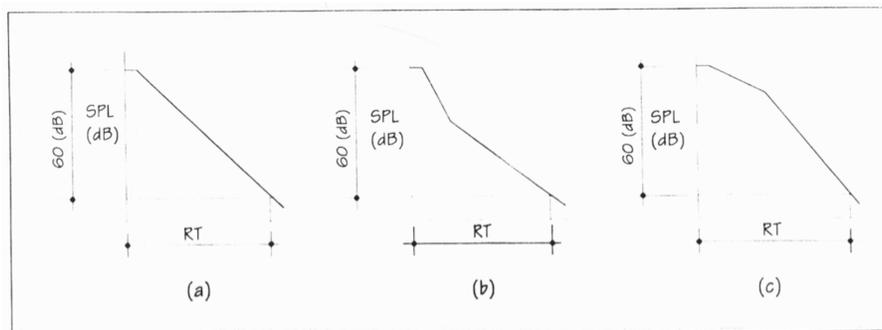


Figura 3.2: Curvas simplificadas de decaimento sonoro. (a) Curva com decaimento linear (b) Curva com decaimento inicial menor que o tempo de reverberação (c) Curva de decaimento inicial maior que o tempo de reverberação.

Fonte: (MEHTA et al. 1998)

Na Figura 3.2, o desenho (a) mostra uma curva de decaimento linear, onde o valor do tempo de reverberação coincide com o valor do tempo inicial de decaimento, como aconteceria em ambientes de grande difusão. Os desenhos (b) e (c) da Figura 3.2 mostram dois comportamentos adversos que resultam em sensações diferentes para o ouvinte. Pesquisas recentes reafirmam que o Tempo Inicial de Decaimento é o parâmetro que melhor explica a sensação subjetiva de reverberância percebida pelos ouvintes (KAHLE e JULLIEN, 1994). Neste caso, pode-se concluir que em (b), o tempo inicial de decaimento é menor que o tempo de reverberação e subjetivamente os ouvintes terão a sensação de um ambiente menos reverberante e com maior clareza. O oposto corre em (c), onde o tempo inicial de decaimento é maior que o tempo de reverberação. Neste ambiente, embora o tempo de reverberação seja igual ao de (b), a sensação de reverberância é maior, diminuindo a clareza e aumentando a sensação de conjunto do grupo musical.

Algumas pesquisas mostram que o parâmetro EDT pode ser bastante influenciado pela direção do som direto. Quando medido próximo à fonte, há uma tendência do tempo inicial de decaimento cair abruptamente em alguns casos, o que significa que ele pode variar de acordo com a posição do ouvinte (BRADLEY, 2011). Assim como outros parâmetros, há uma certa divergência com o método para se obter um valor único. A norma ISO 3382-1 (2009) recomenda a média dos valores em médias frequências. Outros pesquisadores como Barron (2003) propõe uma média entre os valores das bandas de 125 Hz a 2000 Hz. Assim como o tempo de reverberação, pouco se sabe sobre a diferença no limite do observável (*Just Noticeable Difference* - JND) em relação ao tempo inicial de decaimento embora a norma ISO 3382 (2009) aponte uma variação em torno de 5%.

### **3.3 Índice de Clareza**

De uma maneira simplificada, o parâmetro Índice de Clareza – *Clarity Index* ( $C_{80}$ ) é uma comparação entre energias. O objetivo é comparar a energia das primeiras reflexões com a energia do campo reverberante. Como o parâmetro é destinado à análise de ambientes destinados a música, a energia inicial é medida

a partir do som direto até 80ms e a energia reverberante a partir de 80ms até o decaimento total da energia sonora.

O parâmetro Índice de Clareza –  $C_{80}$  é dado em dB e pode ser calculado pela Equação 2:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (dB)} \quad \text{Equação 2}$$

onde,

$p(t)$  é a pressão sonora instantânea de uma resposta impulsiva em um determinado ponto de medição.

O parâmetro pode ser zero se ambas energias forem idênticas, será positivo se o ambiente tiver a maior parte da energia nas primeiras reflexões e negativo caso a maior parte da energia estiver no campo reverberante. Desta maneira, o parâmetro  $C_{80}$  está relacionado com o tempo de reverberação. Quanto maior o tempo de reverberação, menor o valor do parâmetro  $C_{80}$ . O parâmetro também está relacionado ao atributo subjetivo de clareza. Quanto maior o valor de  $C_{80}$ , maior a quantidade de energia inicial e portanto maior a clareza.

### 3.4 Tempo de Atraso Inicial

Beranek (2003) propõe o parâmetro Tempo de Atraso Inicial – *Initial Time Delay Gap* (ITDG) que corresponde ao intervalo de tempo entre o som direto e a primeira reflexão conforme indica a Figura 3.3.

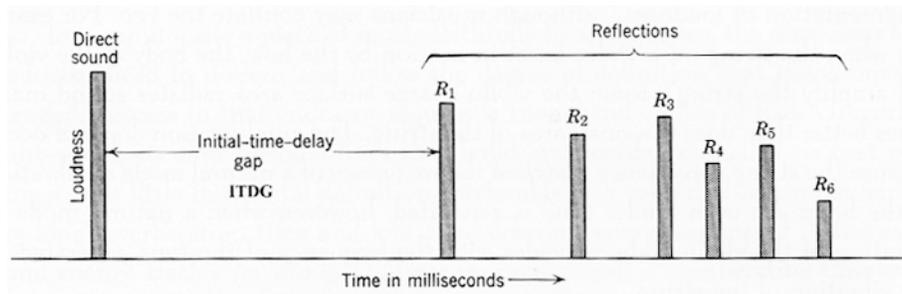


Figura 3.3: Diagrama de reflexões mostrando o ITDG  
 Fonte: (BERANEK, 2003)

O parâmetro ITDG está relacionado com a sensação subjetiva de intimidade, ou a sensação de que a fonte sonora está próxima ao ouvinte. Como este parâmetro pode variar de acordo com a posição do ouvinte na sala, Beranek (2003) recomenda que seja medido em lugares mais próximos ao centro da sala, para que superfícies como paredes laterais não estejam muito próximas.

### 3.5 Força Sonora

O parâmetro utilizado para medir a intensidade sonora que chega ao ouvinte é o de Força Sonora - *Strength* – (G). Este parâmetro, medido em dB, é a razão entre o nível de pressão sonora em um determinado local e o nível de pressão sonora conhecido de uma fonte de referência em campo livre a 10m de distância (ISO, 2009).

O Parâmetro G é dado pela Equação 3:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} \text{ (dB)} \quad \text{Equação 3}$$

onde,

$p(t)$  é a pressão sonora instantânea em um determinado ponto de medição

e

$p_{10}(t)$  é a pressão sonora instantânea a uma distância de 10m em campo livre.

Bradley (2005) propõe um estudo auxiliar sobre o parâmetro G subdividido em duas partes: Força Sonora Inicial -  $G_{early}$  que compreende o valor do parâmetro G a partir do som direto até 80ms, abrangendo apenas a energia das primeiras reflexões e o Força Sonora Tardia -  $G_{late}$  que compreende o valor do parâmetro G a partir de 80ms até o decaimento total do sinal, abrangendo os sons reverberantes. Uma vez que a audição humana percebe de maneira diferenciada os sons iniciais dos reverberantes, a análise segmentada do parâmetro G pode indicar sensações diferentes percebida pelo ouvinte. O parâmetro  $G_{early}$  está melhor relacionado à clareza e sensação de intimidade enquanto o parâmetro  $G_{late}$  está melhor relacionado à sensação de reverberância (BRADLEY, 2011). Os valores ideais do parâmetro G ainda são motivos de pesquisas. Beranek (2003) propõe inicialmente valores entre 1,5 a 5,5 dB de acordo com os resultados de seu *ranking* das melhores salas de concerto. Em estudo mais recente, Beranek (2011) propõe valores para o parâmetro  $G_{mid}$ , uma média entre as frequências de 500Hz e 1000Hz, entre 4 e 7,5 dB e ressalta a importância do estudo do parâmetro G no projeto de salas para a música.

### 3.6 Índice de Correlação Cruzada Interaural

O parâmetro Índice de Correlação Cruzada Interaural – *Interaural Cross Correlation Index* (IACC) é a relação entre as energias que chegam ao ouvido esquerdo e direito. Está associado à distribuição espacial do som que chega ao ouvinte. O parâmetro IACC pode ser calculado pela Equação 4:

$$IACC(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_e(t) \cdot p_d(t + \tau) dt}{\left( \int_{t_1}^{t_2} p_e^2(t) dt \cdot \int_{t_1}^{t_2} p_d^2(t) dt \right)^{1/2}} \quad \text{Equação 4}$$

onde,

$p_e$  é a pressão da resposta impulsiva no entrada esquerda,

$p_d$  é a pressão da resposta impulsiva na entrada direita,

$\tau$  está entre o intervalo de tempo  $-1 < \tau < 1$  ms,

O valor de IACC é obtido pela correlação cruzada de dois sinais captados, normalizados pela média geométrica da energia das duas resposta impulsivas (BISTAFA, 2005). Quando seu valor for o mais próximo de 1, significa que há uma similaridade de energias chegando ou ouvinte, mostrando que o som provavelmente se encontra exatamente na frente do ouvinte. Quanto mais próximo de zero, maior a diferença entre os sons que chegam aos ouvidos. Este parâmetro avalia a sensação de espacialidade que chega ao ouvinte. Para se obter este parâmetro é necessária a utilização de um equipamento especial chamado *Dummy Head*, uma cabeça ou torso artificial com dois microfones situados no canal auditivo da cabeça artificial.

### 3.7 Fração Lateral

O parâmetro da Fração Lateral – *Lateral Fraction* (LF) representa a razão entre a energia inicial lateral que chega ao ouvido do ouvinte e a energia sonora total inicial de forma logarítmica. Seu valor pode ser calculado pela Equação 5:

$$LF = \frac{\int_5^{80} p_{\infty}^2(t) dt}{\int_0^{80} p^2(t) dt} \quad \text{Equação 5}$$

onde,

$p_{\infty}$  é a pressão sonora instantânea em um determinado ponto de medição medido com um microfone bi-direcional,

$p$  é a pressão sonora instantânea em um determinado ponto de medição.

Inicialmente, sugeria-se que o parâmetro LF estivesse ligado à sensação de “envolvimento” do ouvinte, entretanto, pesquisas sugerem que o parâmetro da fração lateral está relacionado com o tamanho aparente da fonte sonora (ASW – *Aparent Source Width*) e está diretamente relacionado com a geometria da sala.

Formatos que propiciam boas reflexões laterais como o formato caixa de sapato e leque invertido apresentam valores de Fração Lateral maiores (BARRON, 2000).

### 3.8 Nível Relativo da Energia Sonora Final

O parâmetro de Nível Relativo da Energia Sonora Final – *Relative Level of Late Sound Energy*  $LG_{80}$  foi proposto por Bradley e Soulodre (1995), mostrando que em relação à sensação de espacialidade, o ouvinte percebe duas sensações distintas: a largura aparente da fonte – *Apparent Source Width (ASW)*, que como visto no item anterior está relacionado com as reflexões iniciais laterais e a sensação de envolvimento do ouvinte – *Listener Envelopment (LEV)*, que está relacionada com as reflexões finais laterais.

O parâmetro  $LG_{80}$  pode ser calculado pela Equação 6:

$$LG_{80}^{\infty} = 10 \log \frac{\int_{80}^{\infty} p_{\infty}^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} \text{ (dB)} \quad \text{Equação 6}$$

onde,

$p_{\infty}$  é a pressão sonora instantânea em um determinado ponto de medição, medido com um microfone bi-direcional,

$p_{10}(t)$  é a pressão sonora instantânea a uma distância de 10m em campo livre.

O parâmetro  $LG_{80}$  é medido de maneira similar ao parâmetro Força Sonora - G. A energia sonora lateral que chega ao ouvinte em um determinado momento é comparada com a energia sonora de uma fonte sonora de referência a 10m de distância em campo livre. Como o objetivo é medir a energia lateral, o microfone utilizado é um microfone bi-direcional, que irá captar a energia sonora que chega pelos lados do ouvinte. Bradley e Soulodre (1995) propuseram este parâmetro mostrando que o envolvimento do ouvinte está diretamente relacionado com a intensidade, o ângulo e a distribuição temporal que a energia sonora final chega

ao ouvinte e que portanto é um parâmetro mais representativo na impressão espacial do que o parâmetro Fração Lateral - LF. Barron (2001) ainda conclui que em tese a partir da análise de  $LG_{80}$ , salas de menor dimensão devem ter maior envolvimento do ouvinte se comparadas à salas maiores.

### **3.9 Índice de Difusão Sonora**

Uma das propostas para se analisar a relação entre a qualidade acústica e o grau de difusão das superfícies de uma sala foi feita por Haan e Fricke (1997). Os autores propõe uma análise visual para estabelecer o grau de difusão de uma superfície e caracterizá-la em três categorias: Superfícies de alta, média e baixa difusão. O critério adotado é a profundidade das irregularidades das superfícies podendo variar de pequenas irregularidades abaixo de 5cm até superfícies com irregularidades acima de 10cm. Os autores propõe um índice para cada uma das categorias: superfícies de alta difusão terão valor igual a 1, superfícies de média difusão valor igual a 0,5 e de baixa difusão valor igual a zero. As superfícies analisadas são o teto e as paredes laterais, de frente e de fundo da sala. O Índice de Difusão Sonora – *Sound Diffusion Index* (SDI) é calculado a partir da média aritmética dos índices entre as paredes e o teto. Uma média ponderada por área ainda pode ser obtida, entretanto os resultados obtidos mostram que o valor simples da média aritmética é o suficiente para ser relacionado com a qualidade acústica do ambiente. A proposta dos autores é mostrar que a difusão tem um importante papel na qualidade acústica de salas destinadas à música.

### **3.10 Razão de Graves**

O parâmetro Razão de Graves - Bass Ratio (BR) é um parâmetro proposto para a avaliação de baixas frequências em salas destinadas à audição musical (BERANEK, 2003). Por definição o parâmetro BR é a razão entre a soma dos tempos de reverberação nas frequências de 125Hz e 250Hz e a soma dos tempos de reverberação de 500Hz e 1000Hz conforme a Equação 7:

$$BR = \frac{TR_{125} + TR_{250}}{TR_{500} + TR_{1000}}$$

Equação 7

Em salas para música, Beranek (2003) considera que uma boa Razão de Graves apresenta valores entre 1,1 e 1,25 para salas com tempo de reverberação acima de 2,2s e entre 1,1 e 1,45 quando o tempo de reverberação da sala está abaixo de 1,8s. Ao analisar estes índices, conclui-se que há uma preferência em fazer com que o tempo de reverberação em baixa frequência seja maior que em alta. A explicação provável por tal preferência é a da não linearidade da audição humana. De acordo com a curva de Fletcher e Munson (Figura 3.4), o ouvido humano tem maior facilidade em perceber médias e altas frequências e tende a atenuar sons de baixa frequência.

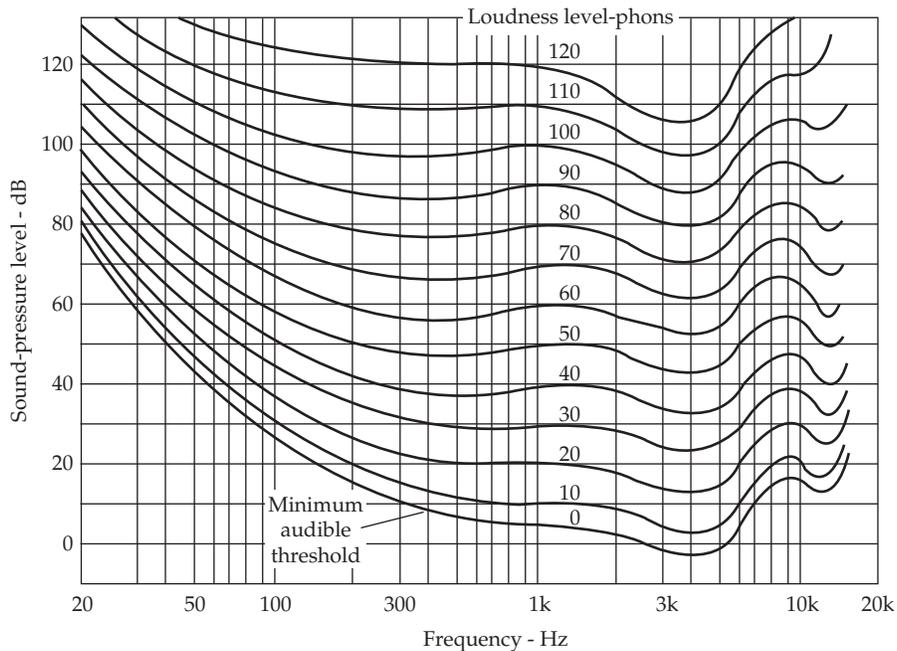


Figura 3.4: Curva de Audibilidade Fletcher Munchen  
 Fonte: (EVEREST; POHLMANN, 2009)



$$E_{late} = 10^{G_{late}/10}$$

Equação 10

Bradley (2011), em sua pesquisa analisando os valores obtidos do parâmetro  $G_w$  em 15 salas de concerto, aponta uma forte correlação entre a avaliação subjetiva da percepção de baixa frequência e os valores do parâmetro  $G_w$  como mostra a Figura 3.6.

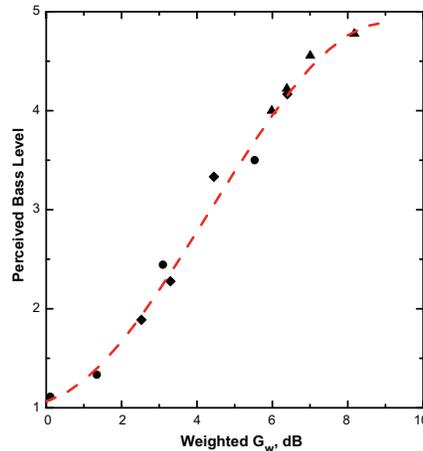


Figura 3.6: Relação entre a percepção de baixa frequência e  $G_w$   
 Fonte: (BRADLEY, 2011)

### 3.12 Suporte

O parâmetro Suporte – *Support* (ST) avalia a razão entre a energia sonora de um determinado intervalo de tempo após o som direto e a energia do som direto. Usualmente é dividido em três partes:  $ST_{early}$  que analisa um intervalo de tempo entre 20 a 100 ms,  $ST_{total}$  onde o intervalo de tempo analisado é entre 20 a 1000 ms e  $ST_{late}$  com intervalo de tempo entre 100 e 1000 ms.

O parâmetro Suporte é dado pela equação:

$$ST_a = 10 \log \frac{\int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}{\int_0^{10} p^2(t) dt} \text{ (dB)}$$

Equação 11

onde,

a = inicial se  $t_1=20$  e  $t_2=100\text{ms}$ ; final se  $t_1=100$  e  $t_2=1000\text{ms}$ ; total se  $t_1=20$  e  $t_2=1000\text{ms}$

$t_1$  = tempo inicial do intervalo analisado

$t_2$ = tempo final do intervalo analisado

O parâmetro Suporte - ST é o mais utilizado para medir o desempenho acústico de palco e foi proposto por Gade (1989b). Embora Gade (1989b) apresente uma certa correlação entre valores de suporte e avaliações subjetivas, outros trabalhos apontam falhas nesta correlação. Dammerud *et al.* (2009) propõem o uso do parâmetro  $G_{20-100}$  ao invés de  $ST_{\text{early}}$ , mostrando haver melhor relação entre os resultados e avaliações subjetivas e minimizando os problemas técnicos causados pela distância e referência da fonte para o cálculo de Suporte - ST. A diferença básica entre os dois parâmetros é que o parâmetro G usa o valor do nível de pressão sonora da fonte a 10m de distância em campo livre como medida de referencia, enquanto  $ST_{\text{early}}$  usa o som direto a 1m. Outros parâmetros são propostos com o objetivo de avaliar o desempenho acústico do palco, mas ainda há muitas lacunas e pesquisas ainda são necessárias para melhor estabelecer a relação destes parâmetros com avaliações subjetivas (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2010).

### 3.13 Medidas dos Parâmetros Acústicos

A avaliação dos parâmetros acústicos de salas só foi possível a partir da evolução tecnológica dos meios de gravação e reprodução sonoros. Inicialmente, outro problema encontrado era a padronização da metodologia para medição e apresentação dos resultados. Com o objetivo de sanar este problema, a avaliação de parâmetros acústicos estabeleceu-se na norma ISO 3382-1 (2009) que tem como objetivo especificar métodos para a medição do parâmetro Tempo de Reverberação em espaços destinados à espetáculos. Sua versão anterior era genérica para espaços em geral, mas a partir de 2009, foi subdividida, sendo a parte 1 destinada exclusivamente a espaços performáticos. A norma descreve os procedimentos de medição, equipamento necessário, fornece diretrizes para

avaliar a área coberta pela medição e estabelece um método para avaliação dos resultados e apresentação de relatórios.

A ISO 3382-1 (2009) indica que as medições podem ser feitas com o teatro vazio ou com plateia e recomenda a descrição no relatório sobre sua ocupação no momento das medições. A medição da temperatura e umidade relativa do ar são também necessárias, sendo recomendado que a temperatura não ultrapasse uma variação de  $\pm 1$  °C e a umidade não ultrapasse uma variação de  $\pm 5\%$ . Em caso de teatros, deve-se reportar as condições da cortina que fecha o palco, bem como a situação do fosso de orquestra ou se há o uso de aparatos como conchas de orquestra.

Com relação ao equipamento utilizado, a fonte sonora deve ser omnidirecional, isto é, deve emitir som em todas as direções. Deve-se observar a potencia desta fonte, que deve ser o suficiente para excitar todo o ambiente e se sobrepor ao ruído ambiente para que os resultados possam ser precisos. Os microfones utilizados devem ser omnidirecionais e devem ser conectados em um equipamento próprio para análise do sinal captado ou gravados para uso futuro. A fonte sonora deve estar a 1,5m acima do chão e a altura dos microfones deve ser 1,2m, o equivalente a altura média dos ouvidos de uma pessoa sentada. Os pontos escolhidos de medição devem cobrir da melhor maneira possível a área do espaço medido e a distância entre pontos deve ser pelo menos 2m.

A norma prevê a utilização de dois métodos de medição do tempo de reverberação, o método de ruído interrompido e o método da resposta impulsiva. Em ambos os casos, os resultados devem ser apresentados na faixa de frequência entre 125Hz e 4000Hz em banda de oitava ou entre 100Hz a 5000Hz em banda de terço de oitava para os métodos de engenharia e precisão.

Além do tempo de reverberação, a norma ISO 3382-1 (2009) dá indicações de alguns parâmetros objetivos que podem ser obtidos através do método de resposta impulsiva nos anexos A, B e C da norma. Os parâmetros indicados no Anexo A foram reunidos em 5 grupos, de acordo com determinados atributos subjetivos considerados importantes na avaliação da acústica de salas destinadas

à música. O Anexo B, descreve as definições bem como os procedimentos de medição do parâmetro de Correlação Cruzada Interaural – IACC, relacionado à sensação subjetiva de impressão espacial. O Anexo C descreve os procedimentos para a medição do parâmetro Suporte Inicial –  $ST_{early}$  e Suporte Final –  $St_{late}$ , relacionados à percepção acústica dos músicos no palco. A Tabela 1 foi construída a partir dos dados encontrados nos Anexos A, B e C da norma e relaciona os atributos subjetivos com os parâmetros objetivos propostos para avaliação do ambiente bem como diretrizes para se obter um único número para o parâmetro, o valor do limite do observável (JND – *Just Noticeable Difference*) e os valores típicos de cada parâmetro.

Os anexos A e B da ISO 3382-1 (2009) recomendam um mínimo de 3 posições de fonte sonora no palco e um número mínimo de posições de microfone variando de acordo com o número de assentos na plateia, 6 posições para até 500 assentos, 8 posições para até 1000 assentos e 10 posições para salas com 2000 assentos.

Tabela 1: Parâmetros Objetivos em relação a atributos subjetivos segundo a norma ISO 3382-1(2009)

Aspecto Subjetivo	Parâmetro Acústico	Faixa de Frequência para obtenção de média (Hz)	JND (Limite do observável)	Faixa típica de valores
Nível Subjetivo de Som	Força Sonora - G	500 a 1000	1 dB	-2dB; +10dB
Reverberância Percebida	Tempo Inicial de Decaimento – EDT Suporte Final - $ST_{late}$	500 a 1000 250 a 2000	Rel. 5% Desconhecido	1s; 3s -24dB; -10dB
Clareza percebida do som	Clareza – $C_{80}$	500 a 1000	1 dB	-5dB; +5dB
	Definição – $D_{50}$	500 a 1000	0,05	0,3; 0,7
	Tempo Central - $T_s$	500 a 1000	10ms	60ms; 260ms
Largura Aparente da Fonte (ASW)	Fração lateral Inicial – LF	125 a 1000	0,05	0,05; 0,35
	Correlação Cruzada Interaural Inicial - $IACC_{early}$	N.D.	0,075	N.D.
Envolvimento do Ouvinte	Nível Relativo da Energia Sonora Final – $LG_{80}$	125 a 1000	Desconhecido	-14dB; +1dB
	Correlação Cruzada Interaural Final - $IACC_{late}$	N.D.	0,075	N.D.
Condições de Conjunto	Suporte Inicial - $ST_{early}$	125 a 1000	Desconhecido	-24dB; -8dB

No anexo B, a norma ISO 3382-1 (2009) ainda estabelece o uso de um torso artificial ou *Dummy Head* como microfone de captação ou o uso de pessoas vestindo sistemas binaurais, que são pequenos microfones omnidirecionais posicionados como um par de fones de ouvido. O uso de tais sistemas é necessário para a medição do parâmetro IACC. No anexo C, a norma estabelece os procedimentos de medição para os parâmetro Suporte – ST. Microfone e fonte devem ser posicionados entre 1 e 1,5m de altura. É recomendado a colocação de cadeiras no palco, desde que mantendo uma distância mínima de 2m da fonte e dos microfones. Os microfones de medição devem ser posicionados a 1 metro do centro da fonte omnidirecional.

## **4 Acústica de Salas para Música**

Até o início do século XX a avaliação acústica de salas era realizada apenas a partir da percepção subjetiva das pessoas. Um dos principais problemas deste tipo de avaliação é a falta de padronização dos termos relacionados à percepção acústica. A partir do século XX com a possibilidade de realizar medições acústicas do ambiente, o desafio foi o de padronizar os termos subjetivos e relacioná-los a parâmetros objetivos. Desta maneira, projetos arquitetônicos de espaços destinados à música ou à fala puderam ter diretrizes acústicas mais claras e objetivas.

Com o estudo da percepção relacionada à acústica, foi possível também compreender a influência de elementos arquitetônicos como balcões, camarotes, ornamentos entre outros na acústica de salas, podendo assim estabelecer diretrizes específicas no uso destes elementos.

Este capítulo destina-se a apresentar e compreender os principais atributos subjetivos relacionados à acústica de salas, bem como as principais características arquitetônicas que influenciam diretamente o desempenho acústico dos ambientes.

### **4.1 Atributos Subjetivos**

Pesquisadores como Leo Beranek (2003), Schultz (1965), Gade (1989b) entre outros realizaram importantes avanços ao propor novos parâmetros que pudessem contribuir com a qualificação de ambientes, sejam eles para prática musical ou não.

Em particular, a pesquisa de Beranek (2003) relaciona atributos subjetivos que qualificam salas para a prática musical com parâmetros físicos relacionados à acústica. Esta avaliação subjetiva foi realizada com maestros, músicos, críticos musicais e ouvintes treinados que em sua história de vida tiveram a oportunidade de conhecer diversas salas musicais espalhadas pelo mundo.

A partir deste levantamento de dados, Beranek (2003) propôs um ranking das principais salas de concertos no mundo. Ao comparar os parâmetros acústicos das salas no topo do ranking, sugeriu-se uma lista de parâmetros e uma

faixa de valores ideais destes parâmetros que pudessem contribuir com a avaliação qualitativa de salas de concerto de dar diretrizes específicas para novos projetos arquitetônicos.

A pesquisa de Beranek (2003) possibilitou novas avaliações e novos parâmetros foram considerados e propostos e são válidos até os dias de hoje. Os atributos subjetivos normalmente considerados como importantes para uma boa sala destinada à música são: Reverberância, Definição ou Clareza, Intimidade, Espacialidade, Envolvimento do ouvinte, Vivacidade, Calor, Intensidade sonora, Timbre, Textura, Conjunto, Equilíbrio e Faixa dinâmica (BERANEK, 2003). Muitos destes atributos estão diretamente relacionados uns com os outros. Neste item serão apresentados alguns deles.

#### **4.1.1 Reverberância**

Ao longo dos períodos da história, a música vem sendo executada em diversos locais com características acústicas diferenciadas, fazendo inclusive com que compositores adequem suas obras para cada tipo de ambiente a ser executado, de catedrais góticas a pequenos salões da aristocracia. Pode-se então concluir que o tempo de reverberação ideal para salas de música varia consideravelmente com o estilo musical a ser executado. De maneira generalizada o tempo de reverberação pode variar de 1,2s a 3,0s dependendo do tipo de aplicação. Música de câmara bem como ópera se beneficiam de tempos reduzidos em torno de 1,2 a 1,7s. Música orquestral principalmente a partir do final do período clássico são melhores apreciadas em salas maiores com tempo de reverberação entre 1,7s a 2,1s. Por fim, a música de igreja, beneficia-se de tempos maiores de 2,0s a 3,0s (Figura 4.1).

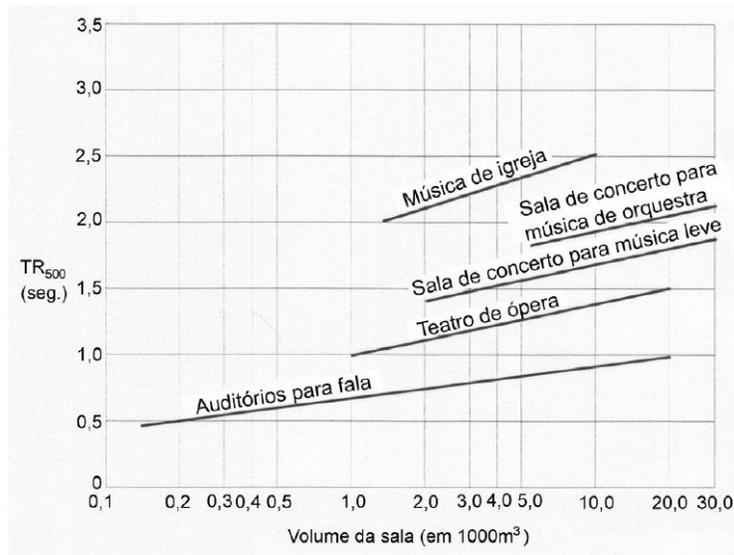


Figura 4.1: Tempo de reverberação adequado para diversos usos  
 Fonte: Traduzido de (MEHTA et al., 1998)

Na avaliação da acústica de salas destinadas à música um dos desafios é estabelecer critérios objetivos que traduzam a qualidade da sala. Os critérios objetivos são parâmetros que podem ser mensurados e posteriormente comparados aos valores de salas consideradas como “ótimas”. Por muito tempo, a maneira de avaliar espaços acústicos era através de expressões subjetivas utilizadas por músicos ao categorizar os ambientes em que tocavam. Havia uma dificuldade de traduzir e relacionar os termos usados pelo meio musical com os termos utilizados pela acústica. Outra questão ainda vigente nos dias de hoje é a de se encontrar parâmetros que de fato traduzam atributos subjetivos e que seja possível definir objetivos quantitativos em parâmetros objetivos, com a intenção de propor diretrizes acústicas nos projetos de salas destinadas à música.

#### 4.1.2 Clareza

Clareza pode ser definida como a capacidade que o ouvinte tem em conseguir distinguir de maneira definida as notas musicais executadas, articulações sonoras límpidas bem como distinguir claramente os instrumentos musicais executados (BERANEK, 2003; IAZZETTA et al., 2004). A Clareza é um atributo inversamente proporcional ao tempo de reverberação da sala e isto pode ser visualizado no gráfico da Figura 4.2.

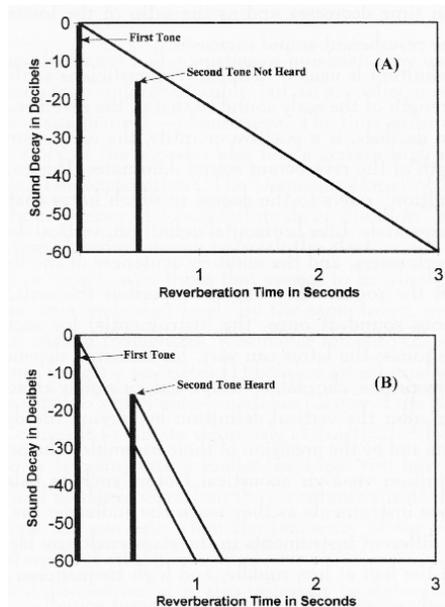


Figura 4.2: Efeito de mascaramento causado pela reverberação  
 Fonte: (BERANEK, 2003)

Ao se pensar em uma sequência de notas consecutivas executadas por um determinado instrumento, pode-se imaginar uma situação onde a primeira nota tenha intensidade um pouco maior que a nota seguinte. Se o tempo de reverberação da sala for elevado, a primeira nota irá continuar soando enquanto a segunda nota é executada. Nesta situação a segunda nota será mascarada e não será perfeitamente ouvida, prejudicando a compreensão deste trecho musical (Figura 4.2 a). A Figura 4.2 b mostra as mesmas notas executadas porém com um tempo de reverberação menor na sala. Neste caso, ambas as notas são ouvidas com clareza.

Deve-se lembrar que a clareza é dependente do estilo musical. O canto gregoriano ou os trabalhos de órgão de Bach, por exemplo, dependem do alto tempo de reverberação do ambiente para que a música seja apreciada, o que significa que um alto nível de clareza musical pode ser benéfica para determinados estilos e prejudicial para outros. O maior desafio é que a proporção adequada varia muito conforme o repertório. Repertórios barrocos e clássicos se beneficiam de ambientes menos reverberantes, especialmente devido ao

contraponto, característico do período, onde várias melodias são executadas simultaneamente. Já o repertório romântico se beneficia de ambientes mais reverberantes, criando massas sonoras especialmente nos ápices musicais. Ao contrário do barroco, o período romântico se caracteriza por blocos harmônicos que sustentam uma melodia.

Através da análise de questionários para avaliação subjetiva de diversas salas de concerto na Inglaterra, Barron (2003) mostra que há uma distinção na classe de ouvintes em salas de concerto: os que preferem maior tempo de reverberação e sensação de espacialidade e os que preferem clareza para melhor distinção das linhas melódicas e harmônicas. De acordo com Barron (2003), músicos de maneira geral preferem salas com maior clareza, o que possibilita uma melhor distinção de trechos musicais. O público em geral tende a preferir salas com menor clareza e maior sensação de conjunto.

#### **4.1.3 Conjunto e Equilíbrio**

Outros dois atributos diretamente relacionados à Clareza são os atributos Conjunto e Equilíbrio. O Conjunto é a sensação que o ouvinte tem de que o grupo musical é coeso e há uma combinação entre os diversos timbres e sonoridades dos instrumentos, formando novas colorações de timbres. A sensação oposta seria o ouvinte perceber individualmente apenas cada instrumento, como se músicos isolados estivessem tocando sem nenhuma relação entre eles. A sensação de conjunto não é importante apenas para a plateia mas também para os músicos. No palco, ela proporciona ao músico melhor interpretação, possibilitando com que ele ouça claramente seus companheiros e seu próprio instrumento inserido no contexto musical. Beranek (2003) aponta que o Conjunto é especialmente importante quando os músicos precisam tocar em uníssono ou ao finalizar todos ao mesmo tempo uma determinada nota ou trecho musical. Para que isso aconteça, são importantes as reflexões laterais ou superiores próximas aos músicos. A capacidade dos músicos conseguirem se comunicar visualmente também é de grande importância, e por isso, o uso de praticáveis é recomendado fazendo com que determinadas seções da orquestra estejam em níveis de

elevação diferentes. De maneira generalizada, as cordas são posicionadas no piso do palco. Eventualmente os contrabaixos podem ser elevados por praticáveis. As madeiras são colocadas em um primeiro nível de elevação seguidos pelos metais e por último a percussão. Alguns autores (JAFFE, 1974) recomendam cautela na altura dos praticáveis de metais, porque devido à sua direcionalidade e grande potencia sonora, uma grande elevação deste naipe pode desequilibrar o conjunto do grupo musical.

O atributo Equilíbrio também está relacionado à sensação de Clareza. Pressupõe-se que um grupo musical equilibrado é aquele em que nenhum instrumento em particular se sobressaia desnecessariamente ou que a relação entre os naipes da orquestra seja equilibrada. No caso de peças musicais com solistas, é importante que o ambiente propicie uma boa relação entre eles e a orquestra. Para que isso aconteça, é necessário que a sala não propicie nenhuma superfície reflexiva que possa ressaltar determinada frequência, desequilibrando a harmonia do conjunto. Não se pode esquecer que o equilíbrio do grupo musical está nas mãos do maestro, mas, este também precisa da contribuição do ambiente para a correta percepção de equilíbrio do conjunto. Pesquisas recentes mostram que pequenas variações nas primeiras reflexões que chegam ao maestro são perceptíveis e podem mudar sua percepção em relação a todo conjunto. A proposta de um novo parâmetro que avalie tais condições ainda é recente e mais estudos certamente serão necessários (VAN DEN BRAAK e VAN LUXEMBURG, 2008; VAN LUXEMBURG *et al.*, 2010).

#### **4.1.4 Intimidade**

Intimidade pode ser relacionada com a sensação de proximidade que o ouvinte sente em relação à fonte sonora. Beranek (2003) propõe que a sensação de proximidade está relacionada com o tempo em que a primeira reflexão chega ao ouvinte logo após o som direto. As primeiras reflexões estão diretamente relacionadas às superfícies próximas à fonte sonora que refletem o som para o ouvinte. A sensação de intimidade entretanto varia em função da distância do ouvinte a uma superfície de reflexão. Ao se imaginar uma onda sonora refletindo

em uma parede lateral, a reflexão produzida chegará mais rápido ao ouvido do ouvinte sentado mais próximo à parede do que daquele que estiver sentado no meio da sala. Beranek (2003) propõe então que a análise para avaliar a sensação de intimidade do ambiente seja feita no centro da sala.

Barron (2003), entretanto, coloca em dúvida a importância do tempo de atraso da primeira reflexão como proposto por Beranek (2003) como avaliação da sensação de intimidade. Segundo Barron (2003), a sensação de intimidade está ligada à intensidade com que o som chega ao ouvinte. Quanto maior a sensação de proximidade da fonte, ou seja, quanto maior a intensidade sonora recebida pelo ouvinte, maior a sensação de intimidade. A soma do som direto com as primeiras reflexões são responsáveis pelo aumento de intensidade sonora que chega ao ouvinte, melhorando a sensação de intimidade. Com isso, salas ricas em superfícies que proporcionem primeiras reflexões ao ouvinte são melhor avaliadas do ponto de vista da intimidade.

#### **4.1.5 Espacialidade**

Espacialidade pode ser definida como a sensação do ouvinte em perceber o som vindo de diversas direções, proporcionando uma impressão acústica espacial do ambiente. Bradley e Souloudre (1995) propõem que sensação de espacialidade possui dois componentes distintos, um relacionado às primeiras reflexões que chegam lateralmente ao ouvido do ouvinte e que proporcionam a sensação de aumento da largura aparente da fonte sonora, fenômeno conhecido como *Apparent Source Width* - ASW. O outro componente, associado às reflexões tardias, é relacionado à sensação de envolvimento do ouvinte pelos sons reverberantes reproduzidos pela sala.

#### **4.1.6 Envolvimento do Ouvinte**

O Envolvimento do Ouvinte pode ser descrito como a sensação que o ouvinte tem de ser envolvido pelos sons reverberantes que chegam em todas as direções. Quanto maior o campo reverberante, maior a sensação de envolvimento.

Este atributo subjetivo é ligado à energia sonora tardia, que chega ao ouvinte após 80ms, especialmente as que chegam pelas laterais. Desta maneira, perceber a espacialidade do ambiente significa ter uma sensação maior do campo reverberante da sala.

#### **4.1.7 Vivacidade, Textura e Timbre**

O atributo Vivacidade, segundo Beranek (2003), está relacionado com a riqueza de harmônicos, especialmente em alta frequência. Uma sala viva pode ser descrita como uma sala brilhante, com decaimento sonoro mais lento nas altas frequências. Para que isso aconteça, a sala não pode conter muitos materiais que absorvam alta frequência. Ainda relacionado com o atributo de Vivacidade estão os atributos de Textura e Timbre. Timbre, para o ouvinte, é a capacidade de se reconhecer quais instrumentos estão tocando em uma determinada sequência musical. Caso hajam primeiras reflexões mais ressaltadas em determinadas frequências em uma certa área da plateia, pode ocorrer o realce de determinadas notas musicais ou mesmo de determinados instrumentos, causando desequilíbrio entre o grupo. Textura é um termo bastante relativo na terminologia musical. Beranek (2003) traduz textura como “a impressão subjetiva da música baseada nos padrões em que as sequências das primeiras reflexões chegam ao ouvinte”. Pode-se entender que nas salas classificadas como “excelente” no ranking de Beranek (2003), as primeiras reflexões seguem um decaimento constante e uniforme, logo após o som direto. Para que isso seja possível é necessário compreender a diferença entre reflexões especulares e difusas. Uma reflexão é dita especular quando atinge uma superfície lisa e pode-se atribuir a reflexão do som incidente à geometria Euclidiana, onde o som refletido terá o mesmo ângulo de reflexão que o som incidente na superfície a partir do traçado de uma normal a 90 graus da superfície incidente. Este som refletido de maneira especular terá quase a mesma energia que o som incidente. Diferentes tipos de superfície refletem determinadas frequências de maneira diferente, podendo causar coloração no som refletido. Estas colorações podem afetar negativamente os atributos de Vivacidade, Textura e Timbre. Caso a superfície em que o som incidir

seja irregular, com um conjunto de elevações e depressões com certa profundidade, o som irá refletir de maneira quase aleatória, em diversas direções, reduzindo parcialmente sua energia. A diferença entre a reflexão especular e a reflexão difusa pode ser observado na Figura 4.3.

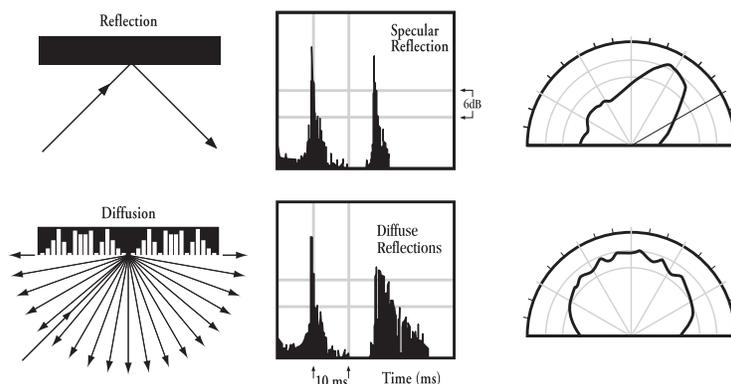


Figura 4.3: Diferença entre reflexão especular e difusa  
 Fonte: (COX; D'ANTONIO, 2009)

Entre as salas consideradas como excelente pelo ranking de Beranek (2003), as três primeiras foram construídas no século XIX e possuem estilo clássico com colunas, adornos e nichos para estátuas, ou seja, superfícies bastante irregulares. Estas superfícies além de ajudarem na homogeneidade das primeiras reflexões podem criar um campo reverberante bastante rico e contribuir substancialmente para a sensação de Vivacidade, caso não hajam muitas superfícies absorventes em alta frequência.

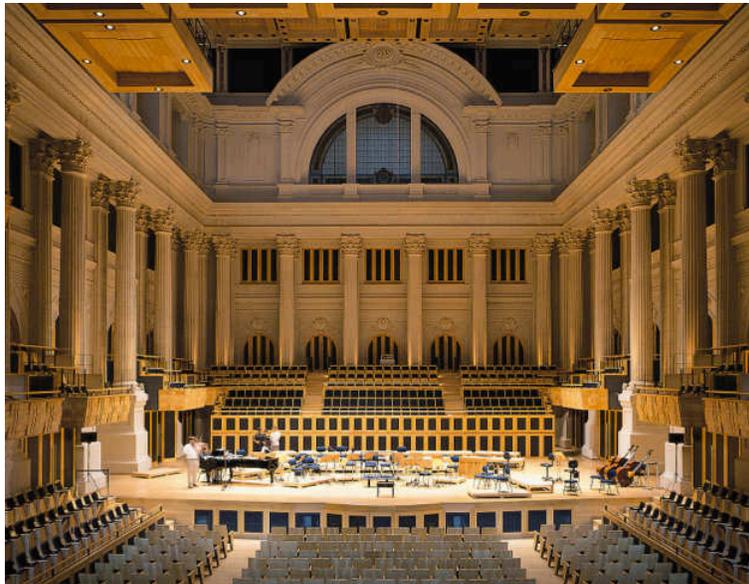
#### 4.1.8 Audibilidade (*Loudness*)

A Audibilidade é um dos atributos de grande importância na avaliação acústica de salas para música. A sensação de intensidade sonora que chega ao ouvinte muitas vezes pode ser determinante para o sucesso completo de uma sala destinada à execução musical. A Audibilidade pode também contribuir para a sensação de intimidade, fazendo com que o ouvinte se sinta próximo da fonte sonora, mesmo estando sentado na última fileira do teatro. A sensação de Audibilidade está diretamente relacionada a questões arquitetônicas. A distância entre a fonte e o ouvinte é crucial. Quanto maior a distância, menor a intensidade

sonora. Para equilibrar a perda de intensidade devido a distância, é necessário que seja reforçada a quantidade de primeiras reflexões que chegam ao ouvinte, especialmente as reflexões laterais (BARRON, 2003). O formato da sala neste caso é um fator importante. Formatos que proporcionem poucas reflexões laterais podem ter a sensação de audibilidade comprometida. Outras duas questões arquitetônicas importantes associadas à audibilidade são o volume e a área de absorção da sala. Quanto maior o volume e a área de absorção, menor será a intensidade sonora final que chega ao ouvinte.

#### **4.1.9 Faixa Dinâmica**

A faixa dinâmica é a diferença entre os sons mais sutis que podem ser ouvidos dentro de uma sala e os maiores níveis de pressão sonora produzidos por uma fonte (BERANEK, 2003). Esta sensação subjetiva também está diretamente relacionada com o nível de ruído interno dentro da sala. Ruídos externos podem prejudicar consideravelmente o bom desempenho acústico de salas e portanto devem ser evitados. Com o crescimento das grandes cidades, o isolamento de salas destinadas à música pode se tornar um grande desafio. Um bom exemplo no Brasil de como vencer este tipo de desafio, foi o de transformar um dos espaços da Estação Júlio Prestes, uma estação de trem em funcionamento na cidade de São Paulo, na Sala São Paulo (Figura 4.4), uma sala de concertos nos moldes clássicos que abriga a Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo, a Osesp.



*Figura 4.4: Vista interna da Sala São Paulo, São Paulo, Brasil  
Fonte: www.artecconsultants.com*

O desafio nesse caso, foi o de isolar a sala principal de concertos da estação de trem, que fica a poucos metros de distância. Uma das vantagens era a sólida construção do edifício, entretanto, várias passagens precisaram ser fechadas com portas e paredes acústicas. Para se alcançar um bom isolamento, materiais pesados, com alta densidade e espessura precisaram ser empregados. Outro desafio foi o de conter as vibrações estruturais de baixa frequência que são transmitidas pelo solo na passagem dos trens. A solução foi o emprego de um sistema flutuante em toda a base do alicerce da sala, com coxins e molas que têm como função amortizarem as vibrações que poderiam ser transmitidas. Existem em vários países normatizações que regularizam ou recomendam níveis adequados de ruídos de fundo para diversos tipos de edificações. No Brasil, a norma NBR 10152 (2000), estabelece os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes. De acordo com essa norma, o valor recomendado de ruído de fundo para salas de concerto e teatros é o da curva NC-25 e o aceitável é o da curva NC-30. Os valores NC de um ambiente são obtidos através da comparação do nível de pressão sonora em função de frequência com uma série de curvas pré-estabelecidas (EGAN, 2007). A Sala São Paulo possui nível interno de ruído de NC-15 (BERANEK, 2003). Uma vez contidos os sons

externos, surge outro grande problema de ruído, que são os ruídos causados por fontes internas na sala. Sistemas de ar condicionado são geradores potenciais de ruído. Várias soluções podem ser aplicadas para a redução de ruído gerado por sistemas de refrigeração como a construção de silenciadores, isolamento dos compressores, dutos com desvios e materiais de absorção internos e controle da velocidade de saída do ar (EGAN, 2007).

#### **4.1.10 Calor**

Equilíbrio nas baixas frequências é fundamental para uma experiência da qualidade na apreciação musical. Subjetivamente, o termo adotado para presença em baixa frequência é *Warmth*, ou Calor (MEHTA *et al.*, 1998). Excesso de baixa frequência pode deixar a reprodução sonora “abafada” e sem brilho e a falta dela pode deixar o som “sem calor”. Alguns músicos adotam o termo “som gordo” ou “som magro” para definir sons ricos em baixa frequência e falta da mesma, respectivamente. Esta é uma área ainda com mais pontos a serem esclarecidos.

Em salas destinadas à música, duas são as causas principais de problemas em baixa frequência. A primeira é a utilização de materiais e sistemas construtivos que absorvam baixa frequência. Materiais porosos normalmente não influenciam consideravelmente, uma vez que para absorver as frequências mais baixas seria necessário material de grande densidade e espessura. O maior problema são materiais rígidos e de pouca espessura como madeiras de acabamento, especialmente se forem fixados a uma certa distância de uma superfície rígida. Estes sistemas formam painéis de membrana que possuem maior coeficiente de absorção em médias e baixas frequências (EVEREST e POHLMANN, 2009).

O segundo maior problema na acústica de salas é a absorção de energia sonora especialmente a inicial em baixa frequência devido ao ângulo de incidência do som nas poltronas da plateia. Este efeito ficou conhecido como *Seat Dip Effect*, ou Efeito da Profundidade das Poltronas. O fenômeno foi verificado a partir de estudos que buscavam entender a deficiência em baixa frequência que ocorria no *Philharmonic Hall* em Nova Iorque por Schroeder *et al.* (1966). O fenômeno posteriormente foi também estudado por Schultz e Watters (1964). Bradley (1991)

também investigou o efeito da profundidade das poltrona e propõe que para minimizar o problema, a área da plateia deve ter um ângulo de elevação de pelo menos 15 graus.

Barron (1995b) propõe que para que não haja problemas de falta de baixa frequência deve-se projetar considerando um aumento em torno de 40% do tempo de reverberação em baixa frequência, especialmente na banda de 125 Hz. Barron (1995b) também sugere que hajam reflexões partindo do teto, entretanto, pondera que se o campo reverberante em baixa frequência for excessivo, pode trazer a sensação de “abafamento” do som, deixando-o sem brilho. Reflexões provenientes do teto também podem ser problemáticas e causar coloração tonal e desequilíbrio no grupo, o que mostra que pesquisas nesta área ainda são necessárias.

## **4.2 Características Arquitetônicas**

As características arquitetônicas de salas são elementos fundamentais que influenciam diretamente na qualidade acústica do ambiente. Salas destinadas à música requerem elementos arquitetônicos específicos como palco, fosso de orquestra, caixa cênica entre outros. Até o início do século XX, Arquitetos, Projetistas e Construtores não compreendiam a influência de vários elementos arquitetônicos na acústica de salas. Os projetos eram baseados em modelos que deram resultados e determinadas modificações efetuadas nem sempre surtiam o efeito desejado. Foi a partir da compreensão e do estudo da acústica a partir das descobertas de Sabine que pode-se compreender a influência que determinadas características do ambiente poderiam ter no desempenho acústico de salas destinadas à música. Neste item, serão apresentadas as principais características arquitetônicas que influenciam diretamente a qualidade acústica do ambiente. São eles, o formato da sala, balcões, assentos, palco, teto e fosso de orquestra. No item 4.2.7 serão apresentadas as diferenças entre três tipos de salas destinadas à música, que são as salas de concerto, os teatros de ópera e as salas para múltiplo uso.

### 4.2.1 Formato da Sala

Na fase inicial de projeto de uma sala destinada à música, a primeira decisão normalmente a ser tomada é o formato da sala. As primeiras reflexões laterais são de grande importância para o bom desempenho acústico de uma sala destinada a execução musical e são fortemente influenciadas pelo formato dessa sala. A Figura 4.5 mostra os formatos mais comuns para salas destinadas à música.

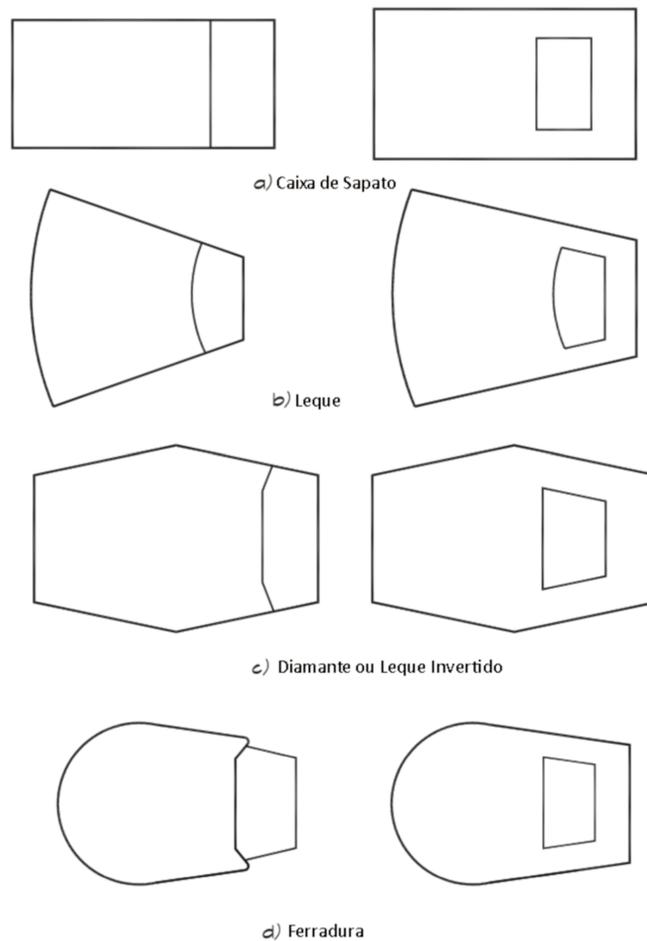


Figura 4.5: Formatos mais comuns de salas destinadas a execução musical  
Fonte: (LONG, 2006)

O formato retangular ou caixa de sapato (Figura 4.5 a) é um dos melhores formatos para propiciar primeiras reflexões laterais. Salas mais estreitas também propiciam um valor menor do parâmetro ITDG, que pode ser um dos responsáveis pela sensação de intimidade. Curiosamente, as três melhores salas de concerto na classificação proposta por Beranek (2003) são neste formato.

Outro formato bastante propício para um grande número de reflexões laterais é o formato de leque invertido ou diamante (Figura 4.5 c). O maior problema deste formato é a redução no número possíveis de lugares. Algumas salas modernas, como o *Concert Hall* do *Sydney Opera House* em Sydney, Austrália (Figura 4.6), possuem este formato.

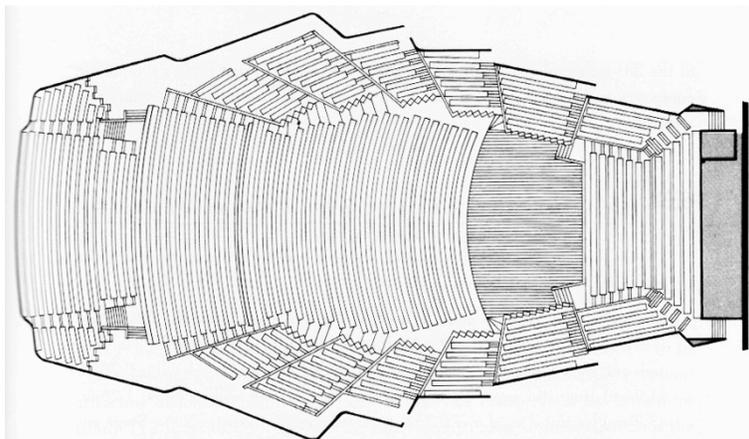
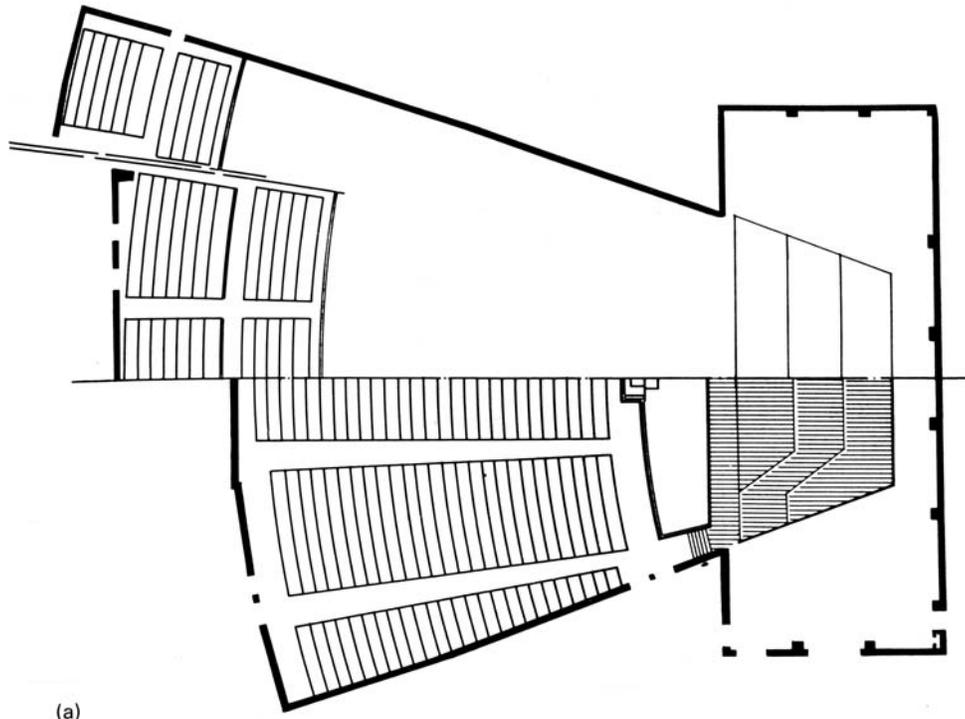


Figura 4.6: Planta baixa do Concert Hall do Sydney Opera House, Austrália  
Fonte: (BERANEK, 2003)

Outro formato presente em salas de concerto é o formato em leque (Figura 4.5 b). O formato em leque surgiu da necessidade de abrigar um número maior de espectadores e também de aproximar a plateia do palco. Este formato se tornou bastante popular a partir de 1920 com o surgimento do cinema (PASSERI JR., 2008). Embora mais utilizado em auditórios e teatros destinados à fala, o formato leque também é empregado em salas para execução musical como é o caso do Alberta Jubilee Halls em Calgary, Canada (Figura 4.7).



(a)

Figura 4.7: Planta baixa do Alberta Jubilee Hall, Canadá.  
 Fonte: (BARRON, 2003)

O principal problema do formato em leque é a pequena quantidade de reflexões proporcionadas pelas paredes laterais como pode ser observado na Figura 4.8.

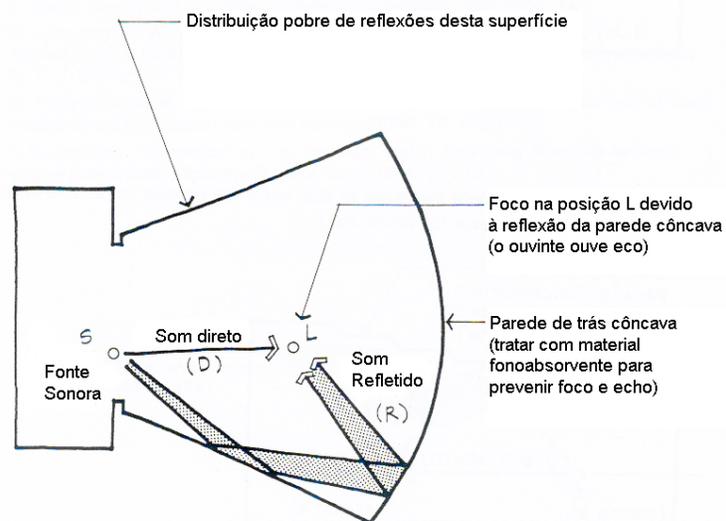


Figura 4.8: Análise da reflexão do formato leque  
 Fonte: (EGAN, 2007)

Outro problema do formato leque é que em geral a parede de fundo é côncava. Superfícies côncavas ou circulares concentram as reflexões por elas projetadas para o seu foco, causando problemas de coloração e desequilíbrio. Uma possível solução para este tipo de problema seria o uso de difusores distribuídos por toda a superfície côncava, proporcionando espalhamento do som e minimizando o efeito de foco. Este é o caso do *Carnegie Hall* em Nova Iorque, onde foram aplicados difusores na parede de fundo para evitar ecos e minimizar o problema de focalização (D'ANTONIO e COX, 2000). Entretanto, para serem eficazes em todo o espectro sonoro, os difusores precisam ter grande profundidade, o que acarretaria em uma possível perda de espaço antes utilizado para assentos de plateia.

Barron (2003) mostra que uma alternativa para o formato leque, seria manter o formato a fim de abrigar um número maior de espectadores mas fazer com que as paredes laterais fossem segmentadas em diversos trechos paralelos entre si como pode ser visto na Figura 4.9. Entretanto, embora haja um ganho de reflexões laterais devido ao paralelismo das paredes laterais, a sala pode ainda manter problemas referente ao formato.

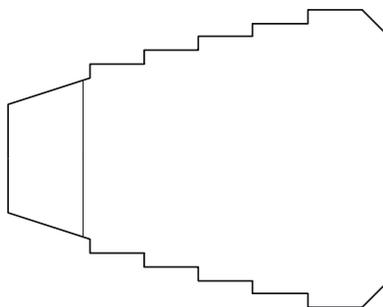


Figura 4.9: Formato Leque com paredes em degraus  
Fonte: (BARRON, 2003)

Outro formato bastante usado especialmente em teatros de ópera é o formato ferradura (Figura 4.5 d). A intenção deste formato é a mesma que o formato leque, trazer a plateia mais próxima da fonte sonora e abrigar um número maior de espectadores. Para ópera o formato é eficaz, uma vez que o estilo

musical se beneficia de tempos de reverberação menores em relação à música de concerto. Muitos teatros de ópera com formato ferradura possuem volume menor do que o de salas de concerto, o que faz com que o tempo de reverberação nestes locais seja baixo, propícios para ópera mas não para música de concerto. Mesmo que o volume de teatros em formato ferradura seja ampliado, eles possuem os mesmos problemas do formato em leque, um número reduzido de primeiras reflexões laterais e o efeito do foco devido à parede côncava no fundo da sala (BARRON, 2003). Dentro do *ranking* proposto por Beranek (2003) com as 10 melhores salas de concerto, apenas uma é no formato ferradura, o Teatro Colón em Buenos Aires, Argentina. Apesar de ser um teatro de ópera, o Teatro Colón possui uma concha de orquestra que possibilita a execução musical em cima do palco, transformando o teatro em uma sala de concertos e seu volume de 21.000m<sup>3</sup> proporciona um Tempo de Reverberação de 1,6s (BERANEK, 2003).

Sem dúvida, o formato mais inovador do ponto de vista arquitetônico surgiu na segunda metade do século XX, com o formato *vineyard* ou “campo de vinhas” em sua tradução literal. A ideia por trás deste projeto é de envolver a orquestra com a plateia ao seu redor. A primeira sala de concertos com esse design inovador foi construída em 1963 e abriga a sede da Filarmônica de Berlim, o *Berlin Philharmonie* (Figura 4.10).



Figura 4.10: Vista interna do Berlin Philharmonie, Alemanha  
Fonte: [www.acoustics.salford.ac.uk](http://www.acoustics.salford.ac.uk). Acesso em 29 de Setembro de 2012

Apesar das dimensões laterais do formato *vineyard* serem relativamente grandes, o problema das reflexões laterais foi resolvido com o conceito de “salas envolvendo salas”, ou seja, a plateia é dividida em pequenas porções que são dispostas em diversas alturas com o palco central na parte mais baixa da sala, como em um vale cercado por montanhas, onde a orquestra está no vale e a plateia nas encostas. Como cada porção de plateia está numa altura diferente em setores distintos, a lateral de cada setor provê a reflexão lateral para quem está mais abaixo. O arquiteto alemão Hans Scharon, quem concebeu o projeto, tinha como premissa, remeter o espectador ao velho hábito de um grupo de pessoas, em festas e reuniões de amigos, sentar-se ao redor de um instrumentista ou instrumento para apreciar a música (BARRON, 2003).

Certamente o formato *vineyard* proporciona ao espectador a chance de uma experiência diferenciada. Por exemplo, ao sentar-se atrás da orquestra, o espectador pode apreciar toda a gesticulação do maestro como se fosse um próprio membro do grupo, que pode remeter a uma reflexão interessante a respeito do ato de se apreciar um concerto. Uma sala de concertos pode proporcionar não apenas a oportunidade de uma experiência musical rica mas também de uma experiência visual prazerosa. A chance de ver e ouvir ao vivo uma performance musical, observar os movimentos e olhares entre músicos e maestro, dedilhados e arcadas, o movimento corporal dos instrumentistas quase que desenhando as notas pelo espaço é simplesmente ímpar. Não à toa que principalmente a partir do século XIX a interpretação musical chegou a seu ápice, orientando solistas e instrumentistas a usarem gestuais e movimentos corporais que contribuíssem para o entendimento mais amplo da interpretação de determinada obra.

Embora visualmente rica, a experiência auditiva em uma sala com formato *vineyard* propõe ao ouvinte uma quebra de paradigma. Ao escolher um local como os assentos atrás da orquestra, é necessário que se compreenda a total inversão do ponto de vista auditivo. Mesmo em locais ao lado da orquestra, todo o balanço musical será comprometido. Ao se sentar atrás da orquestra, a percussão estará mais próxima do ouvinte, assim como as trompas estarão irradiando som para a

parte de trás. Vocalistas, solistas e instrumentos de cordas serão mais difíceis de serem ouvidos. São justamente estes detalhes que promovem as maiores críticas a respeito deste formato de sala. Apenas uma parte da plateia, que está de frente para o palco poderá se beneficiar totalmente da acústica da sala e do balanço orquestral típico de uma sala retangular.

#### **4.2.2 Balcões**

Outro fator construtivo de salas para a música que contribui para as reflexões laterais principalmente em salas de grandes dimensões são os balcões laterais. Ao avançarem ligeiramente sobre a plateia, os balcões laterais proporcionam reflexões laterais especialmente para a plateia central e também acabam formando grandes difusores sonoros que irão contribuir com a sensação de reverberancia e espacialidade. Os balcões também oferecem a oportunidade de acomodar um número maior de espectadores. A maior desvantagem deste artifício está justamente na plateia que se encontra embaixo desses balcões. Barron (1995a) mostra que existem três efeitos subjetivos provenientes dos balcões. O primeiro é a perda da sensação de espacialidade, com o aumento da clareza e diminuição do tempo final de decaimento. Uma vez que os sons reverberantes são aqueles que chegam ao ouvinte por todos os lados, o balcão formará uma barreira acústica para os sons de determinadas direções, como por exemplo para os sons que batem no teto e chegam até o ouvinte. Para aqueles que estiverem sentados embaixo de um balcão lateral, parte do som proveniente do teto será barrado pelo piso do balcão que formará um teto sobre o ouvinte. O segundo efeito é a sensação de perda de volume e o terceiro é uma possível perda de sensação de direcionalidade do som. Embora as últimas duas sensações sejam menos perceptíveis que a sensação de espacialidade, a combinação destes três fatores pode contribuir para a sensação de que o som percebido embaixo dos balcões não faça parte da sala como um todo.

Como recomendação para projeto de balcões, Beranek (2003) propõe que de acordo com a Figura 4.11, a profundidade do balcão sobre a plateia (D) não

deve ser maior que a altura da plateia sob o balcão (H) e o ângulo de visão do último ouvinte ( $\theta$ ) não seja menor do que 45 graus.

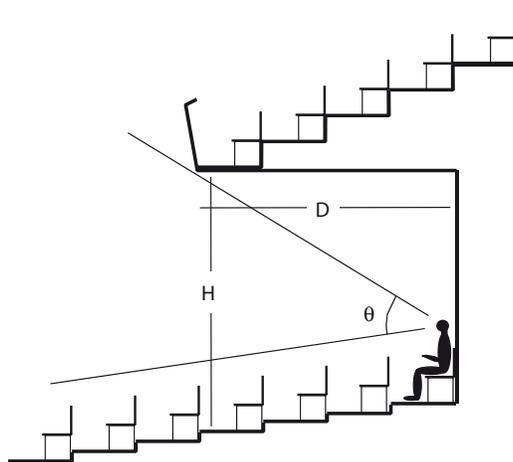


Figura 4.11: Recomendação para projeto de balcões.  
Fonte: (BARRON, 2003)

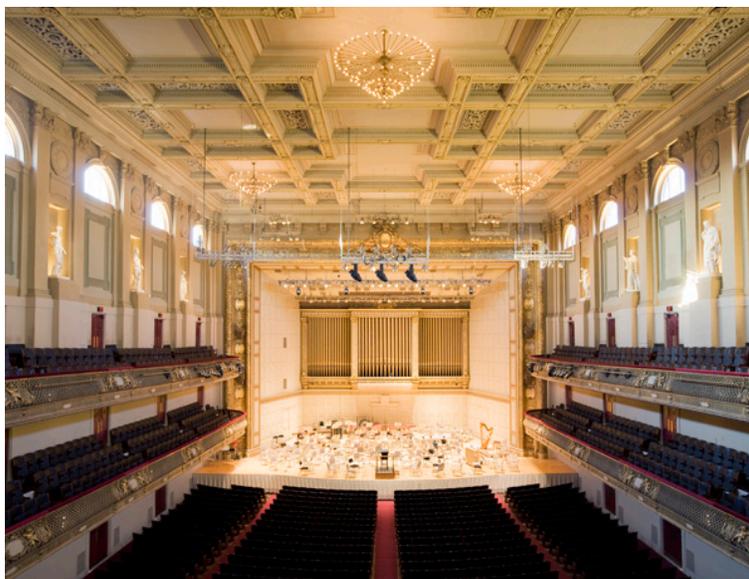
Barron (1995a) ainda propõe que para minimizar a perda da energia final na área embaixo dos balcões, que faz com que a Clareza aumente, o teto do balcão deve propiciar a reflexão do som para a parede do fundo, aumentando as reflexões para os assentos afetados.

### 4.2.3 Assentos

As poltronas de salas de concerto também são objetos de fundamental importância para o projeto de salas para música. De maneira generalizada, a maior área de absorção em uma sala destinada à música é a plateia. Para que não haja grande diferença no desempenho acústico entre a sala vazia e lotada, as poltronas vazias idealmente devem ter coeficiente de absorção o mais próximo possível da poltrona com uma pessoa. Assim, independente da sala estar cheia, parcialmente cheia ou vazia, o ambiente não irá apresentar grande variação no tempo de reverberação. Devido ao período em que foram construídos, salas como o *Symphony Hall* em Boston e o *Musikvereinssaal* em Viena possuem acentos de madeira e o tempo de reverberação com sala cheia e vazia varia em aproximadamente 1 segundo (BERANEK, 2003).

#### 4.2.4 Palco

Outro ponto a ser considerado no projeto de salas destinadas à música é a área do palco. Apesar de arquitetonicamente haver diferenças no palco de salas de concerto em relação a teatros para ópera ou de múltiplo uso, sua função é a mesma, prover superfícies de reflexões próximas ao grupo musical com a finalidade de melhorar as condições acústicas para os músicos. Estas superfícies ao redor do grupo musical são normalmente chamadas de “compartimento do palco”. A principal diferença entre o palco de uma sala de concerto para teatros de ópera e de múltiplo uso é a ausência do proscênio e da caixa cênica. O arco do proscênio tem a função de delimitar o campo visual do espectador, para que seja possível a montagem de cenários e a entrada lateral dos artistas. A caixa cênica tem a função de abrigar cenários e varas de iluminação, que podem ser erguidas e armazenadas fora do campo de visão do espectador. De maneira geral, o palco fica em uma das pontas da sala. Em algumas salas como o Boston Symphony Hall (Figura 4.12), o palco é elevado e inserido em uma espécie de nicho.



*Figura 4.12: Vista interna do Symphony Hall em Boston, MA.*

*Fonte: <http://www.annbeha.com/portfolio-project-details.html?category=Performance&id=16>.*

*Acesso em 06 de outubro de 2012*

Em outras salas como o *Berlin Philharmonie* (Figura 4.10), onde a orquestra se encontra praticamente no meio do teatro, o palco é delimitado pelas paredes elevadas da plateia, que formam superfícies de contenção. Muitas vezes há a necessidade de prover reflexões oriundas do teto. Como o pé direito destas salas normalmente é muito alto, painéis refletoras móveis podem ser usados, como uma maneira de prover primeiras reflexões para a própria orquestra e muitas vezes propiciar reflexões para a plateia, como é o caso do *McDermott Concert Hall* em Dallas, USA (Figura 4.13).

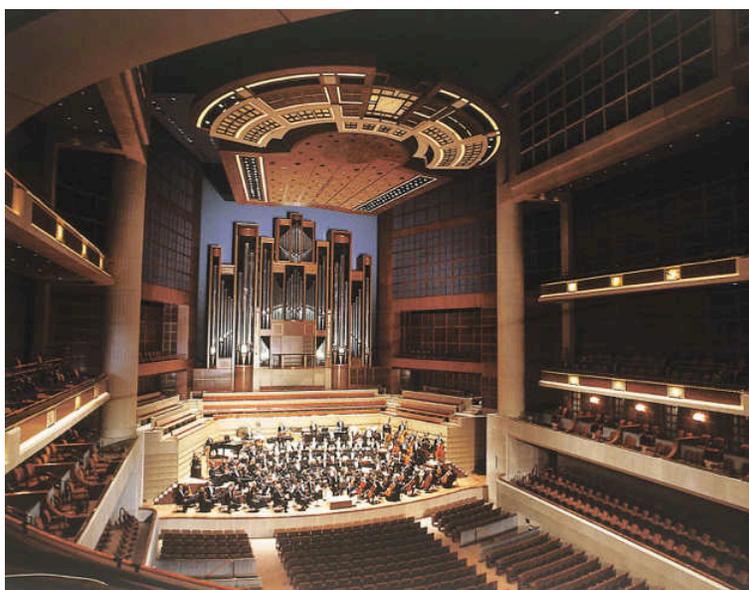


Figura 4.13: McDermott Concert Hall em Dallas, Texas, USA  
Fonte: [www.artecconsultants.com](http://www.artecconsultants.com). Acesso em 29 de Setembro de 2012.

Skalevik (2006) pondera as vantagens e desvantagens do uso de painéis de teto. Dentre as vantagens, pode-se citar o aumento e o controle das primeiras reflexões, melhorando as condições de audibilidade no palco entre os músicos. Por outro lado, as reflexões propiciadas pelos painéis de teto, por não serem laterais, podem diminuir a proporção de reflexões laterais, diminuindo a sensação do tamanho aparente da fonte sonora (ASW).

Há uma certa preferência por palcos onde a orquestra não fique tão espalhada e que preferencialmente a largura do palco seja menor que a altura, o que propiciaria melhor reflexão lateral aos músicos (DAMMERUD *et al.*, 2010).

Tetos baixos aparentemente não trazem nenhum benefício e há uma preferência por tetos mais altos que propiciariam o retorno do som da sala para melhorar a ambiência e sensação de interação com a plateia. Seções das paredes laterais verticalmente inclinadas também propiciam a reflexão da energia reverberante da sala para o palco e contribuem positivamente com as primeiras reflexões melhorando a sensação de conjunto, como é o caso do *Queens Hall* em Copenhague, Dinamarca (Figura 4.14).

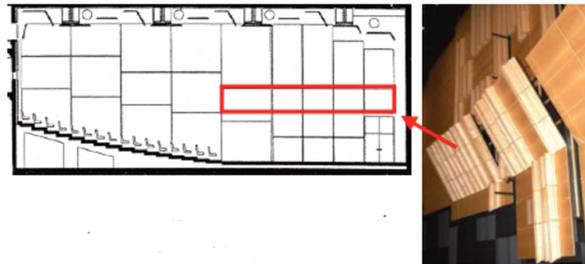


Figura 4.14: Inclinação vertical nas paredes laterais do *Queens Hall*, Dinamarca.  
Fonte: (GADE, 2011)

A maior preocupação dos músicos quanto ao palco é poderem se ouvir adequadamente e ouvir o resto do grupo musical (BARRON e DAMMERUD, 2006). A falta desta condição pode trazer dificuldades na correta entonação do próprio instrumento além da dificuldade de sincronismo entre os músicos. Marshall *et al.* (1978) mostram que as primeiras reflexões no palco são de grande importância, especialmente em alta frequência entre 500 e 2000 Hz, para propiciar uma boa audição do grupo musical. O som direto dos instrumentos também contribui muito para a sensação de conjunto e por isso, o uso de praticáveis no palco elevando determinadas seções da orquestra, é de grande valia. Dammerud (2009) mostra que músicos do naipe de cordas preferem a formação circular com praticáveis elevados fazendo com que as últimas estantes do naipe fiquem elevadas, como é o caso do Danish Radio Concert Hall (Figura 4.15). Entretanto, deve-se tomar certo cuidado com a elevação exagerada de seções como os metais para que não se sobressaiam em demasia (KAHLE e KATZ, 2004). Há também um intervalo de tempo adequado em que estas primeiras reflexões devem

chegar, não passando preferencialmente dos 35 a 40 ms. Kahle e Katz (2004) ainda propõem o uso de material absorvivo na região dos metais e percussão, os naipes que produzem maior nível de pressão sonora dentro da orquestra.



Figura 4.15: Praticáveis curvos no Danish Radio Concert Hall, Dinamarca.  
Fonte: (GADE, 2011)

O maior problema no projeto de adequação de palco é a enorme variação na percepção subjetiva dos próprios músicos em relação acústica no palco. Esta diversidade de opiniões também está relacionada ao repertório executado (BERNTSON e ANDERSSON, 2007).

Gade (2011) ainda aponta a questão da exposição a altos níveis de pressão sonora sofrido pelos músicos, o que pode desencadear problemas trabalhistas na área de saúde ocupacional. A exposição é calculada em um período de 8 horas de jornada trabalhada nas diversas atividades musicais, variando de ensaios e estudos diários a concertos. Especialmente para os instrumentos com níveis de pressão sonora mais elevados como metais e percussão, a maior contribuição para os níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{aeq}$ ) encontrados são provenientes do tempo de estudo dos instrumentos. A maior queixa entretanto são dos músicos que se sentam ao lado ou em frente a estes instrumentos em ensaios e concertos.

A área disponível para a orquestra também é um fator importante a ser considerado na acústica de salas para música. Um palco muito pequeno pode

fazer com que os músicos da orquestra fiquem muito próximo um dos outros, inviabilizando algumas produções que necessitem formações maiores que as tradicionais. Uma área muito grande pode fazer com que os músicos se espalhem muito, ocupando toda área disponível o que tornaria a execução em conjunto mais difícil. Barron (2003) propõe uma área em torno de 150 a 200 m<sup>2</sup> para uma orquestra de 100 integrantes. Cada músico consumiria aproximadamente uma área de acordo com o instrumento conforme a Tabela 2:

*Tabela 2: Área proposta para os diversos instrumentos de orquestra.  
Fonte: (BARRON, 2003)*

<b>Instrumento</b>	<b>Área</b>
Cordas agudas e instrumentos de sopro	1,25m <sup>2</sup> por músico
Violoncelos e instrumentos grandes de sopro	1,5m <sup>2</sup> por músico
Contrabaixos	1,8m <sup>2</sup> por músico
Tímpano	10m <sup>2</sup> (área total)
Outros instrumentos de percussão	20m <sup>2</sup> (área total)

Quanto ao sistema construtivo do piso do palco há também uma grande questão. Muitos teatros antigos possuem piso de madeira sobre um grande vão de ar e a grande maioria dos músicos acaba solicitando este tipo de construção com a justificativa que este tipo de piso proporciona um som mais “quente”. Do ponto de vista físico, pode-se imaginar dois fenômenos controversos, o que indica que ainda há a necessidade de mais pesquisa sobre o assunto. De um lado, o contato físico com o piso do palco de instrumentos graves, como o contrabaixo, pode fazer a madeira entrar em ressonância, fazendo com que o som seja transmitido também pela vibração do piso, beneficiando a execução do grupo musical como um todo. Por outro lado, o vão de ar embaixo do palco certamente irá atuar como uma área de absorção do som. Há ainda poucos estudos que mostrem as vantagens ou desvantagens deste tipo de construção. A recomendação entretanto é que se use ao menos madeira com espessura mínima de 25 mm no chão sobre ripas espaçadas a pelo menos 60cm de distância (BARRON, 2003).

#### 4.2.5 Teto

Nas salas para música, as reflexões laterais são mais importantes que as reflexões provenientes do teto, especialmente para proporcionar envolvimento do som no espectador. Entretanto, a área do teto próxima ao palco também pode ser utilizada de maneira a projetar o som para a área da plateia, especialmente nos balcões (Figura 4.16).

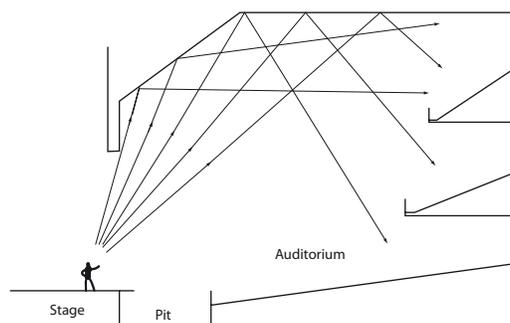


Figura 4.16: Reflexões provenientes da angulação do teto.  
Fonte: (BARRON, 2003)

No caso específico da ópera, aparentemente as reflexões laterais não são tão importantes. Mais importante é a sensação de intimidade, que está relacionada à quantidade de energia sonora que chega à plateia. Devido às restrições inerentes às salas de ópera, as reflexões provenientes do teto são importantes e devem ser utilizadas. Estas reflexões podem também ser usadas para proporcionar retorno das vozes dos cantores para o fosso da orquestra. O problema das reflexões do teto é que muitas vezes o pé direito da sala precisa ser alto para proporcionar o volume adequado para o ambiente, o que faria com que as reflexões de teto chegassem com muito atraso. Uma solução possível é adotar painéis suspensos no teto como proposto para o *Deutch Oper* em Berlin, Alemanha, conforme a Figura 4.17 (BARRON, 2003).

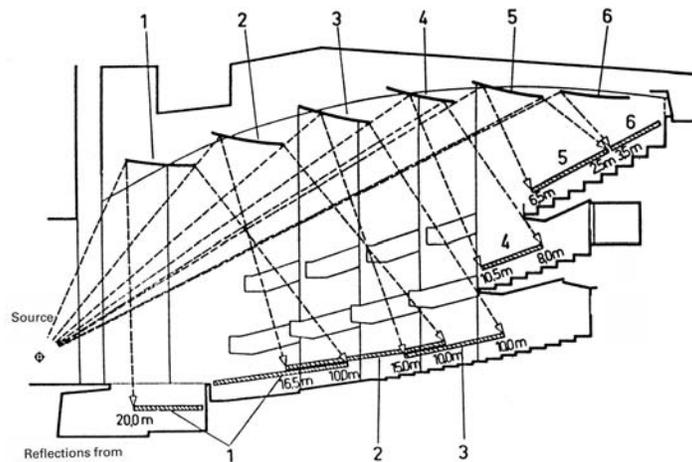


Figura 4.17: Painéis suspensos no teto do Deutsch Oper em Berlin.  
 Fonte: (BARRON, 2003)

O uso de painéis de teto em salas de concerto é visto com cautela. O caso do *Philharmonic Hall* em Nova Iorque mostra o insucesso do uso destes painéis (SCHROEDER *et al.*, 1966). Na época, os projetistas do *Philharmonic Hall* em Nova Iorque acreditavam ser necessário diminuir o intervalo de atraso da primeira reflexão logo após o som direto (ITDG). Devido às dimensões e formato da sala, a única maneira de alcançar tal objetivo era introduzir painéis suspensos em toda a sala (Figura 4.18), usando como exemplo o sucesso obtido em *Tanglewood*, Estados Unidos (JOHNSON, 1959). O resultado final foi a falta de sensação de reverberância e falta de graves, apesar do tempo de reverberação da sala ser próxima a 2 segundos.

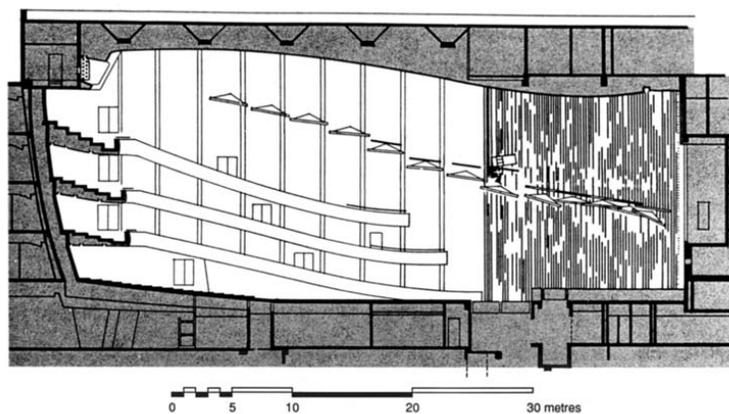


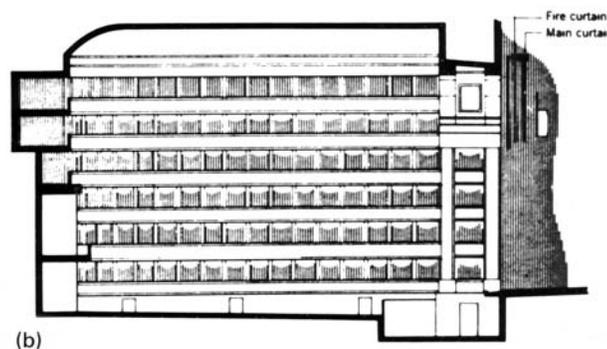
Figura 4.18: Corte lateral do Philharmonic Hall, Nova Iorque, USA.  
 Fonte: (BARRON, 2003)

Rindel (1991) ainda propõe o uso de um número maior de painéis pequenos ao invés de poucos painéis grandes, propondo que as primeiras reflexões de fato úteis estão em uma faixa de frequência mais alta, possibilitando a diminuição do tamanho dos refletores e o aumento do espaçamento entre eles. Kim et al. (2010) mostram a eficácia de painéis de teto bem posicionados para melhorar o desempenho acústico de salas de concerto com formato leque, aumentando a sensação espacial e a quantidade de energia sonora que chega à plateia e aos balcões.

#### 4.2.6 Fosso de Orquestra

No caso específico de teatros de ópera e teatros para múltiplo uso, o projeto adequado do fosso de orquestra é um dos responsáveis pelo equilíbrio entre voz e música. Há basicamente três tipos de fosso: fosso aberto, fosso semiaberto e fosso fechado, sendo o último praticamente encontrado apenas no Festspielhaus em Bayreuth, Alemanha.

Dentre as salas de ópera melhores conceituadas no ranking proposto por Beranek (2003), a maioria possui fosso aberto como no teatro Alla Scala em Milão, Itália (Figura 4.19). O maior problema do fosso aberto é o correto equilíbrio entre a orquestra e os cantores. Outro ponto desfavorável ao uso do fosso aberto é a distração que as luminárias da orquestra podem causar para os espectadores, especialmente os que estão em níveis mais elevados como os balcões.



(b)  
Figura 4.19: Corte lateral do Alla Scala de Milão mostrando o fosso aberto.  
Fonte: (BARRON, 2003)

Barron (2003) sugere que o equilíbrio entre música e voz pode ser alcançado com o uso do fosso semiaberto. No fosso semiaberto, parte dele é coberto pelo palco. Enquanto o problema do fosso aberto é a plateia, com o fosso semiaberto o problema passa a ser os músicos que não gostam de tocar em fossos semiabertos devido à falta de equilíbrio, tornando difícil ouvir os outros integrantes e principalmente cantores. (Figura 4.20).

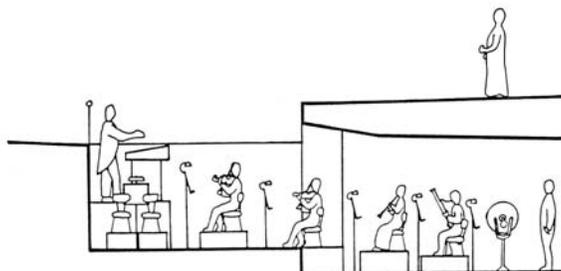


Figura 4.20: Vista lateral de fosso semiaberto.  
Fonte: (BARRON, 2003)

Há também um problema ocupacional. Os níveis de pressão sonora dentro do fosso semiaberto são maiores devido ao pequeno espaço que existe ao redor dos músicos, o que pode causar danos como perda auditiva ao longo do tempo (DAMMERUD, 2009). Outro problema é que os músicos estão acostumados a ouvir uma parcela do som que se propaga na sala e retorna ao palco. No fosso semiaberto esse retorno é praticamente inexistente. Barron (2003) propõe um guia para dimensões de fosso baseado no tamanho da orquestra, conforme a Figura 4.21. De maneira geral, a altura (D) do fosso não deve ser menor que 2,5 m. Boa parte dos fossos possuem níveis de altura diferentes sendo a parte mais alta onde se encontra o maestro e o lado oposto com a percussão o mais baixo. Esta inclinação melhora consideravelmente o contato visual dos músicos com o maestro, além de permitir que este consiga enxergar os cantores. O avanço do palco por cima do fosso (V) é normalmente de 1 a 2 m e a altura do guarda corpo (H) que separa o fosso da plateia em torno de 1m.

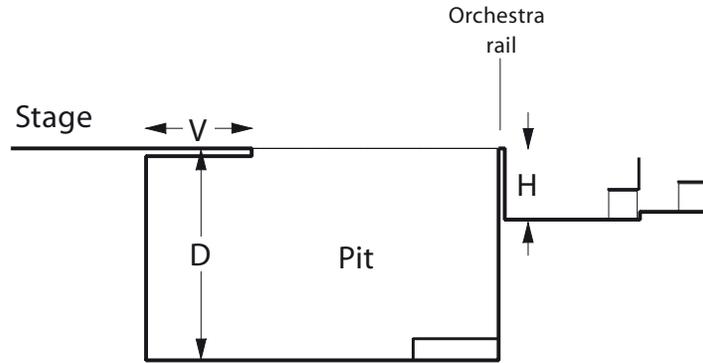


Figura 4.21: Dimensões gerais de fosso.  
 Fonte: (BARRON, 2003)

Com a finalidade de diminuir o nível de pressão sonora dentro do fosso, alguns projetistas propõe o uso de material de absorção. A medida é eficaz, mas o material de absorção pode reduzir o som dos cantores que retorna do teatro para dentro do fosso. Uma medida bastante usada e de preferencia da maioria dos músicos é o uso de material que proporcione difusão. O espalhamento do som proporcionado pelos difusores melhora o problema do balanço entre a orquestra e diminui a energia sonora dentro fosso, redistribuindo-a.

O terceiro tipo de fosso é apenas encontrado na sala *Festspielhaus* em Bayreuth, Alemanha, o teatro projetado e construído pelo compositor romântico Wagner. Wagner incorporou ideias revolucionárias em uma sala de espetáculos projetada exclusivamente para apresentar suas óperas. Como parte de suas ideias, Wagner propôs um fosso fechado, sem que a plateia possa enxergar a orquestra, com apenas uma abertura entre o palco e a cobertura que esconde o que seria a parte aberta do fosso como pode ser visto na Figura 4.22.

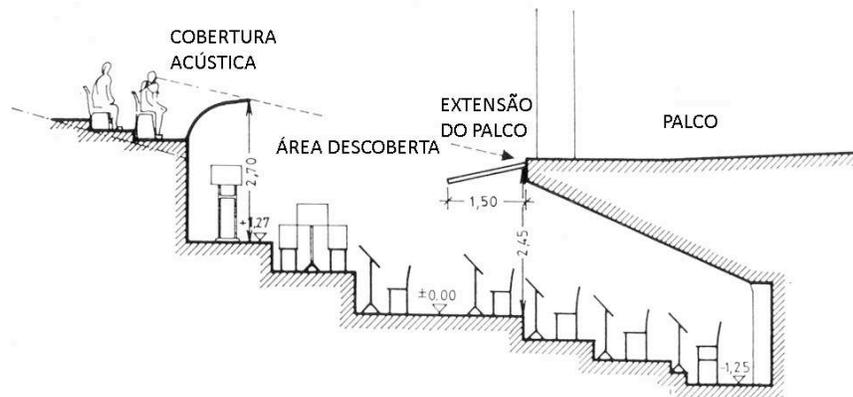


Figura 4.22: Detalhe do fosso fechado do Festspielhaus, Alemanha.  
 Fonte: [http://blog.hoiking.org/pictures/2007/09/Bayreuth\\_Orchestra.Pit\\_Big.jpg](http://blog.hoiking.org/pictures/2007/09/Bayreuth_Orchestra.Pit_Big.jpg).  
 Acesso em 7 de Outubro de 2012

Observando a Figura 4.22, estima-se que o som proveniente do fosso tenha um volume reduzido e com perda de brilho, uma vez que a plateia não recebe nenhum som direto. Entretanto, esta é aparentemente a intenção do compositor, produzir um som mais etéreo e mágico. As orquestras Wagnerianas são conhecidas por seu tamanho acima do normal. Desta maneira, o fosso fechado contribui para o correto balanço entre as vozes e a orquestra. Sem este recurso, seria bastante difícil sobrepôr a voz sobre uma orquestra com mais de 120 músicos.

#### 4.2.7 Diferenças Arquitetônicas entre Salas destinadas à Música

Desde o período grego, os espaços destinados à execução musical eram multidisciplinares, sendo também usados para diversos fins como teatro, dança, reuniões entre outros. Na Idade Média, o palco musical eram as igrejas ou salas de castelos, locais dedicados a outros tipos de uso em que a apresentação musical se apropriava quando necessário. Foi a partir do período Barroco que teatros exclusivos para música, no caso a ópera, passaram a ser construídos. Apenas no classicismo apareceram as primeiras salas destinadas à música instrumental. Com a especialização dos espaços destinados a diferentes tipos de execução musical, surge a necessidade de se compreender as necessidades acústicas para os diferentes tipos de gêneros musicais. A ópera tem objetivos diferentes da música de concerto e como consequência, os objetivos acústicos

também são diferenciados, fazendo com que determinados ambientes passem a ter uso específico, seja para ópera e para a música de concerto. Com a entrada do século XX, a construção de locais específicos como salas de concerto em determinadas cidades passa a ser um artigo muito caro, especialmente em pequenas cidades. A necessidade de espaços de múltiplo uso se torna necessário e o desafio passa a ser projetar locais que possam abrigar de maneira adequada diversos gêneros das artes performáticas como teatro, dança, ópera, balé e cinema. Entender as diferenças entre os diversos gêneros musicais, suas necessidades específicas e diferenças arquitetônicas passa a ser de grande importância.

#### **4.2.7.1 Salas de Concerto**

Salas exclusivas para música instrumental começaram a ser construídas a partir do período chamado Clássico por volta de 1750 a 1830. Nesta época a ópera já era um grande sucesso especialmente na Itália. O classicismo na música compreende o período após o barroco e vem ao mesmo tempo com as ideias iluministas da época. Há uma volta ao estilo clássico grego e na música, o contraponto barroco já não agradava mais aos ouvidos da época. É neste período também que a música passa a ser composta com um cuidado maior com a forma, nascendo assim o concerto e a sinfonia. Enquanto na Itália a ópera ainda reinava, na Inglaterra a música instrumental tomava força e as primeiras salas de concerto foram erguidas (BARRON, 2003).

As primeiras salas possuíam formato retangular e uma grande quantidade de colunas, ornamentos e estátuas em suas paredes e teto. Embora os construtores da época tivessem pouco conhecimento sobre acústica, tanto a forma quanto estilo foram bastante acertadas. Entretanto para os padrões de público de hoje estas salas eram pequenas, comportando entre 400 a 800 pessoas. Com volume reduzido, estima-se que o tempo de reverberação destas salas não passava de 1,5s, provavelmente menos quando totalmente cheias. Estas condições acústicas também influenciaram compositores da época como Haydn,

Mozart e Beethoven. Com o baixo tempo de reverberação, prevalecia a clareza, o que muito contribuía para as passagens rápidas e rebuscadas do estilo clássico.

Com o período romântico na segunda metade do século XIX, as salas de concertos aumentaram de tamanho para abrigar um público cada vez maior que prestigiava compositores como Tchaikovsky, Berlioz, Brahms entre outros. São deste período as salas de concerto consideradas até hoje com a melhor acústica do mundo, de acordo com o *ranking* proposto por Beranek (2003) como a *Musikvereinsaal* em Viena, o *Concertgebouw* em Amsterdã e o *Boston Symphony Hall* em Boston.

O principal diferencial entre salas de concerto e outros tipos de ambientes destinados à música como salas de ópera ou teatros de múltiplo uso é o fato da orquestra ou grupo musical estarem inseridos no mesmo espaço acústico que a plateia. As primeiras salas de concerto eram no formato retangular, lembrando os grandes salões de festa dos palácios e a orquestra de maneira geral se encontra em uma das extremidades da sala. Como exemplo deste tipo de sala, pode-se citar a sala *Musikvereinsaal* em Viena, Áustria (Figura 4.23).



Figura 4.23: Vista interna do Grosser Musikvereinsaal, Áustria

Fonte: <http://www.worldwideticketing.com/images/concerts/musikverein/grosser-musikvereinsaal-7.jpg>. Acesso em 29 de Setembro de 2012.

Salas de concerto não possuem proscênio ou caixa cênica, uma vez que não há a necessidade de abrigar cenários, nem há a movimentação de cantores

ou elementos de cena durante a execução musical. Em algumas salas, a orquestra fica em cima de um palco elevado em relação à plateia. Dependendo de como é projetado o palco, uma área pode ser destinada a um grupo coral, com praticáveis sendo montados ao fundo, ou mesmo com um espaço fixo com poltronas. Quando não há apresentação de coral, estes locais podem ser vendidos para o público em geral como é o caso da Sala São Paulo em São Paulo, Brasil (Figura 4.4). Como visto anteriormente, o formato *vineyard*, traz uma inovação no formato de salas destinadas à música. A orquestra, ao invés de estar em cima de um palco, mais alto que a plateia, está no ponto mais baixo e envolvida por uma plateia elevada, proporcionando uma experiência diferenciada em relação a salas com formatos mais tradicionais como as salas retangulares.

#### **4.2.7.2 Teatros de Ópera**

Das construções destinadas exclusivamente à música, os teatros de ópera foram os primeiros a serem idealizados. O Teatro San Cassiano em Veneza, Itália, foi o primeiro a ser construído em 1637. A ópera se tornou tão popular na Itália no período do barroco, que apenas em 63 anos, 16 novos teatros de ópera foram construídos apenas em Veneza (BARRON, 2003). O maior diferencial entre teatros de ópera e salas de concerto é sem dúvida a área do palco. Enquanto em salas de concerto a orquestra se encontra no mesmo ambiente acústico do teatro, a ópera precisa abrigar cenários e adereços. Por isso, ao invés da orquestra se posicionar atrás dos cantores, ela é colocada na frente do palco em um fosso. Desta maneira, o teatro de ópera possui proscênio e caixa cênica. A caixa cênica é a área do palco que abriga o maquinário, e possui altura e profundidade suficiente para abrigar os cenários, que em geral, devem ser erguidos e armazenados na parte de cima quando não estão sendo utilizados. A profundidade é importante para proporcionar o uso da perspectiva, uma das maiores contribuições da renascença para as artes. Para que a plateia não veja esta área de armazenamento, há uma parede divisória entre estes dois ambientes, apenas com a abertura do arco do proscênio. Em cima do palco estão os cantores e o coro e logo à frente, em um nível mais baixo que o palco, a orquestra. Para

que a plateia não seja distraída pela orquestra, uma pequena parede divide a área da orquestra e da plateia, formando o fosso de orquestra. O fosso da orquestra apresenta um desafio maior para a adequação acústica de salas de ópera. Um exemplo típico de teatro de ópera do período Barroco no formato ferradura é o *Alla Scala*, em Milão, Itália (Figura 4.24), construído em 1778.



Figura 4.24: Teatro Alla Scala em Milão, Itália.  
Fonte: <http://www.milanostyle.com/img/lascala-int.jpg>.  
Acesso em 29 de Setembro de 2012.

Há pouca diferença de projeto de teatros do período Barroco entre aqueles que são destinados a ópera e aos que são destinados a peças teatrais. A diferença maior é que no teatro para ópera, o fosso de orquestra deve ser visto pela área da plateia especialmente nos balcões e camarotes, para que seja possível receber parte do som direto. Os camarotes fazem parte de uma tendência nos primeiros teatros do período Barroco e foram projetados com intuito social, o de separar as castas sociais da época, dando maior visibilidade às camadas mais abastadas. O formato ferradura, também típico do teatro no período Barroco, acabou sendo utilizado com maior frequência após vários formatos como circular, elíptico e em forma de U serem testados em períodos anteriores (BARRON, 2003).

Provavelmente entre todos os tipos de teatro, os de ópera são os que possuem maiores restrições de projeto. Talvez isso se deva à multidisciplinaridade

da ópera, agregando música, cênica e dança em uma só forma de arte. O grande desafio da ópera do ponto de vista acústico é proporcionar o balanço correto entre canto e música, lembrando que a música é executada por uma orquestra, o que torna o desafio ainda maior. Do ponto de vista visual, é garantir boa visão do palco aos espectadores, o que se torna também um desafio, já que o ângulo de visão devido ao arco do proscênio é restrito a 30 graus aproximadamente (Figura 4.25).

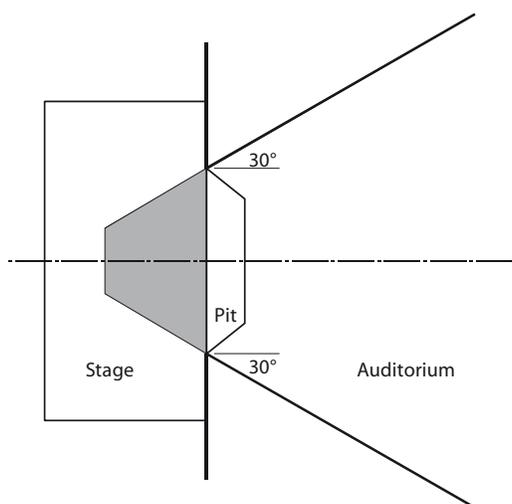


Figura 4.25: Ângulo de visão do palco em relação à plateia.  
Fonte: (BARRON, 2003)

A distância entre palco e plateia também passa a ser restrita e fica em torno de 30 m por questões tanto visuais quanto acústicas. A quantidade de assentos também é crítica. Pequenas salas de ópera em geral abrigam em torno de 800 lugares e são relativamente mais simples de serem adequadas acusticamente. Salas consideradas ideais podem abrigar entre 1500 a 2000 pessoas.

O principal objetivo acústico em teatros de ópera é proporcionar o equilíbrio entre a orquestra e os cantores. Para que isso aconteça, é necessário também proporcionar uma boa audição aos cantores do que está sendo executado pela orquestra. Dentro do fosso de orquestra, é fundamental que os músicos tenham uma boa sensação de conjunto, ouvindo com clareza seus próprios instrumentos e o grupo orquestral de forma equilibrada. Superfícies refletoras verticais, como as paredes próximas ao arco do proscênio podem beneficiar a propagação da voz

pela sala. Estas superfícies podem inclusive ser difusas, o que contribuiria também para o retorno da voz no fosso da orquestra. Reflexões fora do palco mas logo à frente dos cantores, especialmente laterais devem também ser aproveitadas. As reflexões laterais são de grande importância, uma vez que Marshall e Meyer (1985) mostram que a voz humana é direcional com ângulo mais acentuado no sentido vertical do que no horizontal, conforme pode ser observado na Figura 4.26.

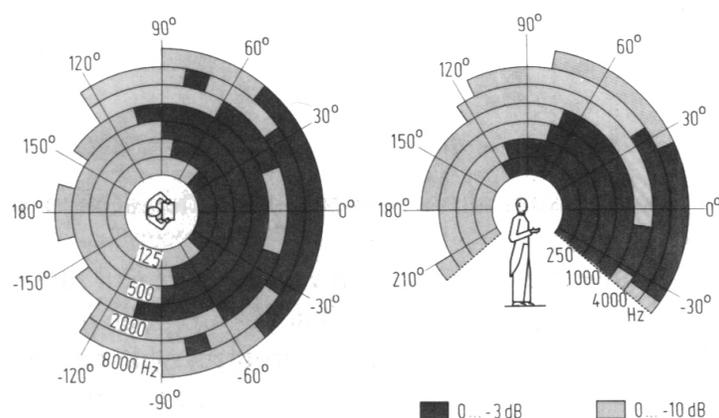


Figura 4.26: Direções Principais de radiação da voz de um cantor em bandas de oitava.  
Fonte: (MARSHALL e MEYER, 1985)

As cores mais escuras da figura mostram os ângulos onde a perda de intensidade sonora é de até -3 dB. A cor mais clara da legenda mostra os ângulos por frequência onde a perda de intensidade sonora é de até -10dB. Há claramente uma tendência maior de direcionalidade no sentido vertical de propagação da voz e por isso as reflexões laterais podem ser melhor aproveitadas.

Beranek (2003) comenta que os cantores gostam da sensação de retorno de suas vozes, especialmente de sentir que suas vozes preenchem todo o ambiente. Para que isso aconteça, é importante que o som de alguma maneira retorne ao palco. Pequenos ecos são aceitáveis, desde que com menor energia que o som direto. O formato côncavo dos teatros em ferradura pode ser um problema nesta questão em razão do foco e da possibilidade maior de ecos. Para minimizar este problema, Barron (2003) sugere a inclinação de superfícies, como por exemplo o parapeito dos camarotes para que o som refletido seja projetado

para a plateia. Estas superfícies que podem refletir o som de volta ao palco de maneira especular, podem ser revestidas de materiais que promovam a reflexão difusa, evitando ecos e o efeito de foco sonoro na área da plateia.

Balcões e camarotes são outro desafio no projeto adequado de salas de ópera. Como visto anteriormente, o maior problema dos assentos embaixo de balcões é a diminuição considerável de som reverberante (Figura 4.27).

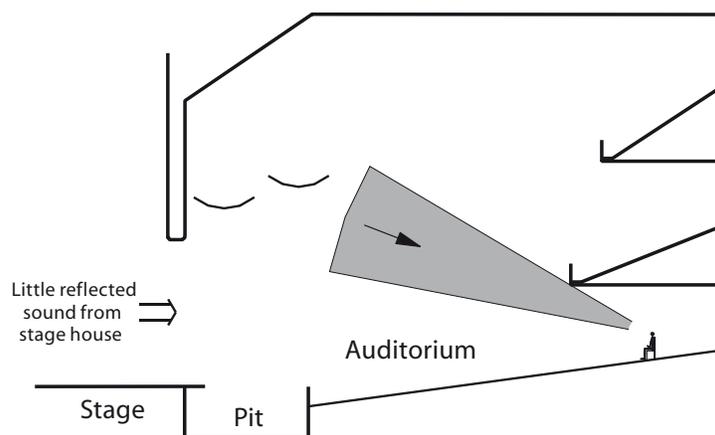


Figura 4.27: Vista lateral de um teatro de ópera mostrando o pequeno ângulo de incidência em que os sons reverberantes podem chegar nas poltronas abaixo dos balcões.  
Fonte: (BARRON, 2003)

Isto é ainda mais crítico nas poltronas internas de camarotes. Os primeiros assentos próximo ao parapeito ainda são beneficiados pelo som abrangente da sala, mas quanto mais dentro do camarote, menor a sensação de reverberação da sala, sendo considerados uma opção ruim do ponto de vista acústico (BARRON, 2003). Salas de ópera possuem um ângulo de visão mais restrito devido ao arco do proscênio, em torno de 30 graus, e a distância do último espectador ( $D$ ) deve ser no máximo o dobro da altura do balcão superior ( $H$ ) (Figura 4.11).

O tempo de reverberação em salas de ópera deve atender dois quesitos antagônicos: o tempo ideal de reverberação para música, que é mais longo, em torno de 2 segundos e o tempo de reverberação para fala, em geral bem mais curto para proporcionar inteligibilidade da voz. Embora a inteligibilidade na ópera seja baixa e não ser um fator considerado muito importante, em operetas, onde há muito mais recitativos (que são trechos falados com entonação e acompanhados

normalmente por um instrumento harmônico como o cravo), a inteligibilidade é bastante apreciada. Portanto não se pode negligenciar a questão da inteligibilidade. Uma solução prática seria a de aumentar o número de primeiras reflexões, o que melhoraria a clareza, mesmo com tempos de reverberação mais elevados. Neste ponto, os balcões seriam de grande valia, uma vez que propiciam superfícies de reflexão que poderiam projetar as primeiras reflexões para a plateia, mas o centro da plateia principal iria sofrer com a falta de superfícies úteis que possam prover tais reflexões. Como uma forma de contrabalançar os dois lados, tempos de reverberação intermediários são adotados. Beranek (2003) propõe que o tempo de reverberação ideal para salas de ópera seja entre 1,4 e 1,6 segundos. Barron (2003) considera que o tempo pode ter uma variação maior, entre 1,3 e 1,7s. É necessário considerar também o fato do período em que as óperas foram compostas. Obras do período barroco e clássico, como Mozart foram feitas para teatros menores e conseqüentemente com tempos de reverberação menores. Já óperas do período romântico são mais apropriadas a tempos de reverberação maiores.

Outro fator que merece atenção em salas de ópera, é a questão do tempo de reverberação em baixa frequência. Como visto anteriormente, um aumento no tempo de reverberação em baixa frequência é desejado, tanto para minimizar o problema do efeito de profundidade das poltronas quanto para prover a sensação de “calor”. Entretanto para voz, tempos de reverberação muito grandes em baixa frequência são prejudiciais para a inteligibilidade. No caso particular de salas de ópera, mesmo para o som da orquestra é desejável que o tempo de reverberação em baixa frequência seja menor que uma sala de concertos, uma vez que a orquestra não se encontra em cima do palco mas dentro de um fosso. Como conseqüência, a plateia que não se encontra em camarotes ou balcões não recebe muito som direto da orquestra devido ao baixo contato visual, o que pode deixar o som com menos brilho. Barron (2003) recomenda que as baixas frequências tenham um acréscimo em torno de 20% no tempo de reverberação em relação às médias e altas frequências, especialmente em 125Hz. Como a plateia é a maior área dentro do teatro responsável pela absorção do som,

materiais como cortinas grossas e carpetes devem ser evitados para que não haja absorção ainda maior.

#### **4.2.7.3 Salas para Múltiplo Uso**

Salas para múltiplo uso são mais antigas do que se possa imaginar. Desde o final do século XVIII, salas como o *Opéra de Versailles* de 1770 na França ou como o *Covent Garden* de 1809 na Inglaterra já eram utilizadas como salas para múltiplo uso, abrigando de bailes a concertos (BARRON, 2003). Entretanto, projetos idealizados especificamente para este tipo de uso são bem mais recentes. Motivado por fatores econômicos, estes tipos de sala vêm se tornando cada vez mais comum, especialmente fora dos grandes centros urbanos. A pluralidade de uso destes teatros fazem com que desde o projeto, por exemplo, já se pense na construção de um fosso de orquestra que possa ser transformado em uma extensão do palco ou mesmo da plateia. Outros artifícios que permitam acomodar diversas formas de espetáculo podem ser usados, como a colocação de uma concha de orquestra no palco, para abrigar orquestras e grupos de câmara. O problema é que como visto anteriormente, os requisitos acústicos podem variar sobremaneira, tornando-se até antagônicos como o caso da acústica para música e para a fala. Pequenos detalhes como a colocação de uma concha de orquestra no palco, são insuficientes para adequar a acústica destes ambientes. Mudanças mais drásticas se tornam necessárias bem como a variabilidade acústica em maior escala (BARRON, 2003).

Como visto, o tempo de reverberação não é o único parâmetro usado para a análise acústica de salas, mas um dos mais importantes, visto que vários dos outros parâmetros são de alguma maneira relacionados a ele. Verificando a fórmula de Sabine (Equação 1), percebe-se que existem dois fatores que podem variar o tempo de reverberação em uma sala: o volume e a absorção. Quanto maior o volume, maior o tempo de reverberação e quanto maior a área de absorção na sala, menor o tempo de reverberação.

Ao se pensar no projeto de salas, deve-se ter em mente quais serão os tipos de espetáculos a serem atendidos e quais os requisitos acústicos para isso. Passeri Jr. (2008) propõe uma classificação de salas de múltiplo uso de acordo com sua capacidade de variação acústica. As salas podem ser classificadas como tendo grau de multifuncionalidade mínimo, médio e máximo. Quanto maior a variabilidade acústica da sala, maior o grau de multifuncionalidade, e maior o número de tipos de espetáculos que a sala pode abranger. Normalmente em teatros de múltiplo uso, estarão presentes tanto eventos que não necessitam de suporte eletrônico, como sistemas de sonorização, dentre eles concerto e ópera, como eventos em que sistemas de sonorização são obrigatórios, como música popular e cinema. Outras questões como limite máximo de assentos e distância máxima entre palco e plateia devem ser levados em consideração. Barron (2003) propõe estes parâmetros baseado em diversos tipos de espetáculos como mostra a Tabela 3.

*Tabela 3: Indicações de tamanho de auditório e tempo de reverberação em função do tipo de programa.  
Fonte: (BARRON, 2003)*

<b>Uso</b>	<b>Número máximo de assentos</b>	<b>Distância máxima da plateia em relação ao palco (m)</b>	<b>Tempo de Reverberação ideal (s)</b>
Música Popular	--	--	>1,0
Teatro	1300	20	0,7 – 1,0
Ópera e Balé	2300	30	1,3 – 1,8
Música de Câmara	1200	30	1,4 – 1,8
Música Orquestral	3000	40	1,8 – 2,2

A variabilidade acústica da sala em geral está ligada à variabilidade do Tempo de Reverberação. Dentre as possibilidades de variação do tempo de reverberação, três são destacadas:

- a) variação do volume da sala
- b) variação da área de absorção
- c) variação da quantidade de superfícies que propiciem reflexões difusas na sala

De todas as possibilidades citadas, provavelmente a mais eficaz, mas a um custo financeiro elevado, é a variação do volume da sala. Há duas maneiras básicas de variação de volume. A primeira é o uso de painéis móveis, especialmente no teto que podem variar o volume total do ambiente. Há vários exemplos que podem ser citados com maior ou menor variação de tempo de reverberação, um deles é o da Sala São Paulo, em São Paulo, Brasil (Figura 4.28). A Sala São Paulo possui um sistema com 15 painéis móveis e independentes no teto que, modificando sua altura, possibilitam a variação do tempo de reverberação de 1,5 a 2,4s (BERANEK, 2003). Acima dos painéis há uma série de cortinas que podem ser esticadas, diminuindo o tempo de reverberação do espaço acústico entre o teto da sala e o teto do complexo, controlando ainda mais o ambiente.



Figura 4.28: Vista interna com teto rebaixado da Sala São Paulo, Brasil.  
Fonte: <http://www.saopaulo.com.br/sala-sao-paulo>. Acesso em 29 de Setembro de 2012.

A Sala São Paulo é usada principalmente para concertos de música clássica uma vez que abriga a Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo – Osesp. Desta maneira a variação do tempo de reverberação do ambiente é usada para adequar a sala para os diversos períodos e estilos musicais, com tempos

menores para períodos como barroco e clássico e tempos maiores para obras do período romântico.

Outro exemplo é o *Milton Keynes Theatre* em Milton Keynes, Inglaterra, um teatro de múltiplo uso com capacidade de 1400 lugares. O teatro é sede da orquestra sinfônica da cidade, mas também é usado para musicais, peças teatrais, óperas e música popular. O principal aparato para a diminuição do tempo de reverberação do teatro é através de um teto móvel, que consiste em uma única estrutura em aço e madeira. O sistema pode ser ajustado em três níveis distintos, sendo o mais alto com maior volume na sala para concertos, um nível intermediário para ópera e musicais e um nível mais baixo para teatro conforme a Figura 4.29 (ORLOWSKI, 2002).

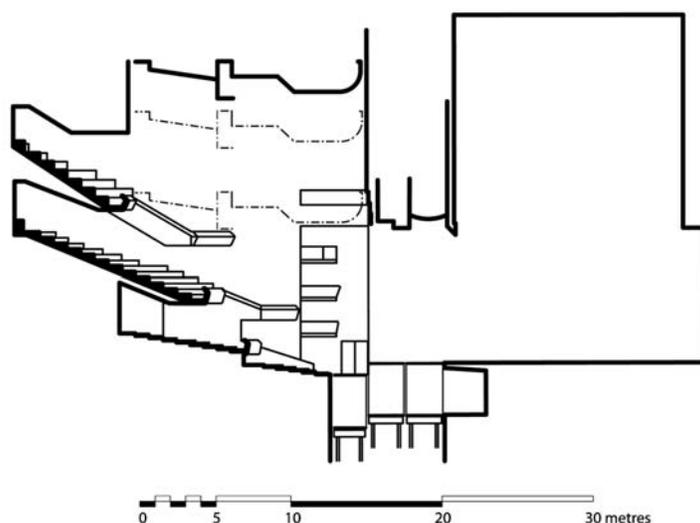


Figura 4.29: Seção lateral do Milton Keynes Theatre, mostrando as possíveis alturas do teto móvel.  
Fonte: (BARRON, 2003)

Para o caso do *Milton Keynes Theatre*, o tempo de reverberação com o teto na posição mais alta é de aproximadamente 1,6s. Na posição intermediária, o tempo de reverberação chega a 1,25s e na posição mais baixa em torno de 1,0s (ORLOWSKI, 2002). Um fato importante a ser notado é a perda de alguns lugares quando se está na formação para teatro. Entretanto, isto pode não ser um grande problema, mas sim um ponto positivo. A questão da sensação de intimidade é bastante importante para a fala e de maneira generalizada, teatros específicos para este fim são proporcionalmente menores que os destinados à música.

Outra possibilidade de variação de volume é a utilização de câmaras reverberantes acopladas à lateral da sala. Entretanto, o comportamento da curva de decaimento de salas acopladas é um pouco diferente, apresentando duas curvas distintas de decaimento (Figura 4.30)

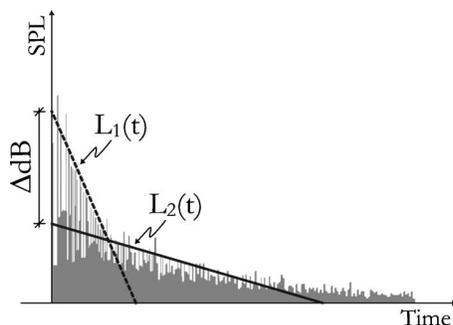


Figura 4.30: Representação da curva de decaimento de espaços acoplados.  
Fonte: (BRADLEY e WANG, 2005)

Bradley e Wang (2005) mostram que o coeficiente de acoplamento é função do volume acoplado e da área de acoplamento. Portanto, o projeto de volumes acoplados precisa de atenção e cautela. Subjetivamente, o volume acoplado tem a tendência de afetar apenas o final da curva de decaimento. Assim, a reverberação será percebida ao final de frases musicais, quando todo o decaimento sonoro pode ser ouvido (BARRON, 2003). Há vários exemplos de salas com câmaras reverberantes acopladas como o *Culture and Congress Centre*, em Lucerne, Suíça. Nesta sala, uma grande câmara reverberante envolve as laterais da sala de concertos. Paredes móveis de concreto podem então ser abertas, permitindo o acoplamento com a câmara reverberante (Figura 4.31). Como as portas podem ser abertas individualmente, há a possibilidade de ajustes intermediários no tempo de reverberação da sala.



Figura 4.31: Detalhe das portas móveis que acoplam a sala com a câmara reverberante em Lucerne, Suíça.  
Fonte: [www.artecconsultants.com](http://www.artecconsultants.com). Acesso em 29 de Setembro de 2012.

Outro exemplo interessante é o teatro “*de Speigle*” em Zwolle, Holanda. O teatro, de múltiplo uso utiliza os dois sistemas para variação acústica do ambiente. Além de uma câmara lateral que pode ser utilizada como um espaço acoplado, o teatro possui também um sistema de placas móveis no teto, possibilitando a diminuição do tempo de reverberação da sala e o ajuste de outros parâmetros (LUYKX *et al.*, 2007). Pode-se comparar através da área em vermelho, as plantas do teatro em sua configuração para teatro (Figura 4.32 a,c) e para concertos (Figura 4.32 b,d). Na configuração de concerto, quando o teto está totalmente elevado, o teatro acopla com uma galeria superior, fazendo com que o volume do teatro chegue a  $11.000\text{m}^3$ . Na menor configuração, o volume cai para  $4.125\text{m}^3$ . Objetivamente, o tempo de reverberação da sala varia entre 0,9 a 1,9 s entre as configurações de teatro e concerto. Com a mudança no tempo de reverberação, o parâmetro de clareza também se altera, variando de +7dB na configuração de teatro e 0dB na configuração de concerto. O teto ainda pode variar sua altura em estágios intermediários para acomodar eventos como óperas e musicais. Neste caso, a concha de orquestra pode ser mantida (Figura 4.32 f) e o teto pode ser colocado na posição mais baixa ou intermediária. O tempo de reverberação neste caso, sobe de 0,9 s para em torno de 1,4 s e o parâmetro clareza cai de +7dB para +4dB.

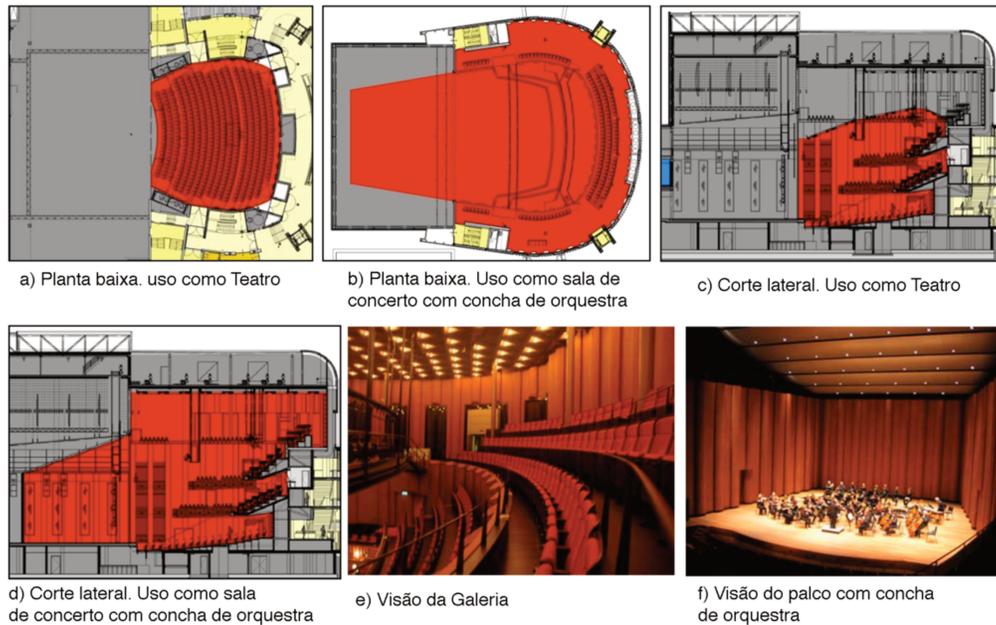


Figura 4.32: Teatro "de Speigle", Holanda e suas várias configurações.  
 Fonte: (LUYKX et al., 2007)

Há também casos de variação acústica em salas de múltiplo uso aumentando a área de absorção da sala. O *Vanaja Hall*, na Finlândia, foi projetada buscando atender uma diversidade de apresentações, mas tendo como premissa de projeto o uso sinfônico. Para que a sala comporte outros tipos de apresentação, ao invés de diminuir o volume da sala, optou-se por aumentar a área de absorção, adicionando cortinas duplas e pesadas em toda a parede lateral como pode ser visto na Figura 4.33.



Figura 4.33: Vanaja Hall, Finlândia com as cortinas laterais abaixadas.  
Fonte: (MÖLLER, *et al.*, 2008)

Cada cortina pode ser aberta ou recolhida de maneira independente, possibilitando a variação do tempo de reverberação conforme desejável. A variação de tempo de reverberação chega a 40% entre a sala totalmente sem cortinas e com todas as cortinas abaixadas (MÖLLER, *et al.*, 2008).

Barron (2003) adverte que o maior problema do uso de material de absorção é que a área alterada precisa ser grande para que haja algum tipo de efeito audível. Materiais de absorção também diminuem as primeiras reflexões e a intensidade de energia sonora projetada.

O uso de refletores móveis no teto também pode propiciar a variabilidade acústica. Embora seu uso em salas de concerto não tenha tido grande sucesso, uma vez que as reflexões laterais são mais importantes, a fala pode ser beneficiada por estes painéis. Outra vantagem é que as frequências importantes para a fala são as médias e altas frequências, permitindo que os painéis usados possam ser pequenos em seu tamanho. Entretanto, poucas reflexões não são suficientes para uma mudança substancial na acústica e como consequência, um número elevado de painéis deve ser levado em conta. Outra vantagem é que se os painéis forem colocados logo acima e à frente do palco, não apenas aumentaria o número de primeiras reflexões, mas também diminuiria o som

projetado para a parte mais alta da sala e que retornaria à plateia como som reverberante (BARRON, 2003). Este é o caso do *Albert Concert Hall* em Londres (Figura 4.34).

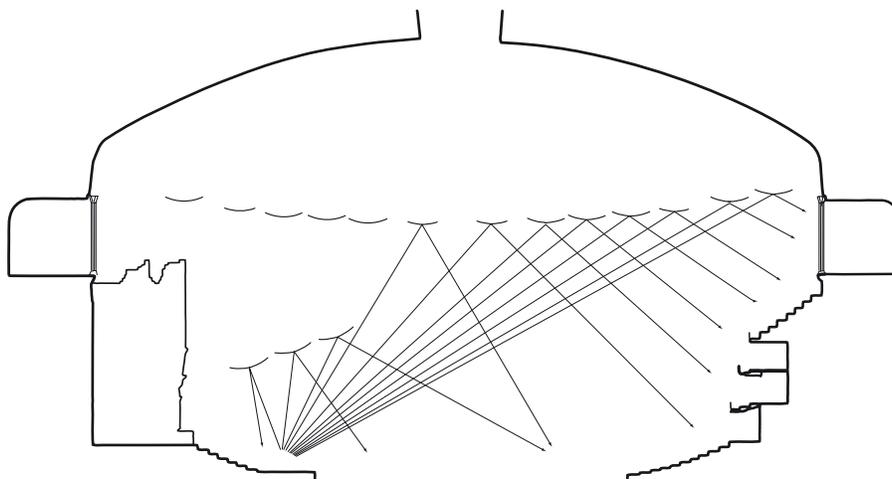


Figura 4.34: Corte Lateral do Albert Concert Hall em Londres. Detalhe nos painéis de teto.  
Fonte: (BARRON, 2003)

Provavelmente a forma de menor eficácia na variação acústica de uma sala mas ainda possível, é o aumento substancial de superfícies que promovam a difusão. Diversas são as possibilidades, como mover painéis no teto para que ao invés de lisos possam ter relevos bem destacados, ou mesmo adicionar elementos suspensos com superfícies irregulares. Painéis laterais rotativos também são uma possibilidade, entretanto a mudança no coeficiente de espalhamento de uma superfície traz menor impacto que o uso de material de absorção.

Do ponto de vista de parâmetros objetivos, os mesmo utilizados para avaliação de salas de concerto e teatros de ópera também são utilizados na avaliação de salas de múltiplo uso. O desafio está em adequar os valores ideais de cada parâmetro para cada situação em que o espaço será utilizado. Uma ferramenta de grande auxílio no projeto de salas tem sido a simulação computacional. Através dela, pode-se simular o ambiente e suas variações e obter resultados estimados dos parâmetros objetivos desejados. Há vários trabalhos científicos mostrando o uso desta ferramenta, inclusive como uma maneira de

testar hipóteses de adequação mesmo quando o ambiente já está construído. (RIBEIRO, 2002).

Passeri Jr. (2008) faz uma boa análise de salas de múltiplo uso e propõe que todas as salas que não são dedicadas à um único tipo de espetáculo devam possuir algum tipo de variabilidade acústica. Sugere também que não é recomendável que uma sala de múltiplo uso seja utilizada também como cinema, uma vez que a acústica destes ambientes possui particularidades próprias, difíceis de serem alcançadas sem um projeto específico. De maneira generalizada, Passeri Jr (2008) recomenda que as paredes de fundo deste tipo de sala seja de material absorvente e que o uso de uma concha acústica é indispensável caso a sala possua caixa cênica.

O capítulo seguinte será dedicado ao estudo aprofundado de conchas acústicas orquestrais como elemento que proporciona variabilidade acústica.

## 5 Conchas de Orquestra

Teatros destinados a múltiplo uso e Teatros de Ópera possuem uma caixa cênica para abrigar cenários e cortinas. O acoplamento deste espaço com o teatro se dá através de um arco de proscênio. Este arco também é comumente chamado de “boca de palco”, formando um quadro que delimita a área de visão do palco pelo espectador. Suas larguras e alturas podem variar, mas como regra geral, a altura do arco do proscênio precisa ser pelo menos a metade da altura da caixa cênica. Caso contrário, não seria possível o armazenamento dos cenários que são fixados em varas cênicas normalmente erguidas por sistemas com contrapesos. Em teatros deste tipo, é comum a construção de uma concha de orquestra no palco para melhorar o desempenho acústico de apresentações musicais, especialmente música sinfônica ou de câmara. Estas conchas podem variar a partir de uma parede fechando o proscênio como um completo enclausuramento da orquestra. Caso opte-se por fechar o arco do proscênio com uma concha, deve-se tomar o cuidado para que o teatro tenha volume suficiente para que o tempo de reverberação seja adequado para música. Nestes casos também, algumas poltronas das primeiras filas podem ser revertidas em uma extensão do palco para acomodar toda a orquestra.

Um dos problemas em teatros com caixa cênica é a baixa altura do arco do proscênio. O teto baixo das conchas pode dificultar a projeção das baixas frequências no campo reverberante. Pesquisas como a de Schultz (1965) mostram que o campo reverberante, ou seja, as reflexões tardias em baixa frequência é mais importante que as primeiras reflexões, uma vez que subjetivamente as primeiras reflexões de frequências mais graves são menos perceptíveis que o campo reverberante. O teto baixo também pode não proporcionar o volume necessário no palco, especialmente se teto e paredes não tiverem espaços abertos para que o som possa usar o volume da caixa cênica como um espaço reverberante. Outro problema relacionado ao teto baixo do arco do proscênio é a dificuldade na sintonia dos painéis do teto da concha para melhorar o balanço entre os diversos naipes da orquestra.

A concha é necessária para melhorar as condições acústicas do palco para a orquestra, mas ela também muda as condições acústicas da plateia. Bradley (1996), analisa a influência de três conchas de orquestra em três diferentes teatros de múltiplo uso, tanto no palco como na plateia. Os resultados de sua pesquisa mostram que as conchas propiciam uma mudança consideravelmente maior no palco, melhorando as condições acústicas para os músicos, aumentando em quase 10 dB os valores do parâmetro Suporte – ST. Embora menores, a concha de orquestra propicia mudanças nos valores de importantes parâmetros na plateia como Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento, Clareza e Força Sonora e, portanto, devem ser consideradas como uma ferramenta para a variação acústica.

Em salas de concerto, onde não há a necessidade de caixa cênica e, portanto, não existe arco de proscênio, existem espaços específicos para a acomodação do grupo musical. Embora não sejam necessariamente consideradas “conchas de orquestra”, estes espaços acabaram inspirando projetistas. Um exemplo é o *Boston Symphony Hall* em Boston, Massachusetts, considerada uma das melhores salas de concerto do mundo de acordo com o ranking proposto por Beranek (2003). A sala, em forma de caixa de sapato, possui um palco em sua extremidade com paredes laterais em ângulo de forma a projetar o som para a plateia. O teto, também inclinado tem a mesma função. Ao se observar a sala, tem-se a nítida impressão de um espaço específico destinado à orquestra, diferente do resto da sala como mostra a Figura 5.1.

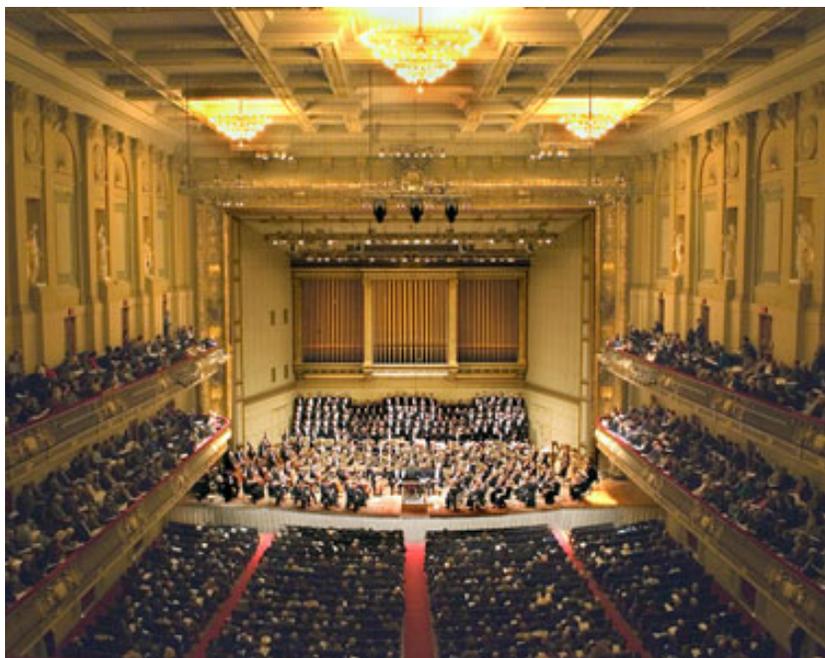


Figura 5.1: Boston Symphony Hall, USA.

Fonte: <http://www.concierge.com/travelguide/boston/seeanddo/18777>. Acesso em 29 de Setembro de 2012

Dependendo do formato ou altura do teto da sala, outros artifícios como painéis no teto, painéis difusores laterais e rebatedores colocados no palco, até mesmo avançando na plateia são necessários para que o espaço melhore acusticamente. Os painéis no teto podem aumentar a quantidade de primeiras reflexões e mudar a razão entre som direto e refletido. Podem ainda melhorar o balanço da orquestra, fazendo com que os músicos se ouçam melhor e ouçam melhor os outros instrumentos. Outra vantagem é a diminuição do tempo entre som direto e primeira reflexão (ITDG). Por definição, estes painéis do teto, chamados *canopies*, quando colocados em uma sala de concerto, com um único volume, podem ser considerados um tipo de enclausuramento de orquestra. Um exemplo deste tipo de aparato pode ser visto na sala *La Maison Symphonique de Montreal*, Canadá (Figura 5.2).

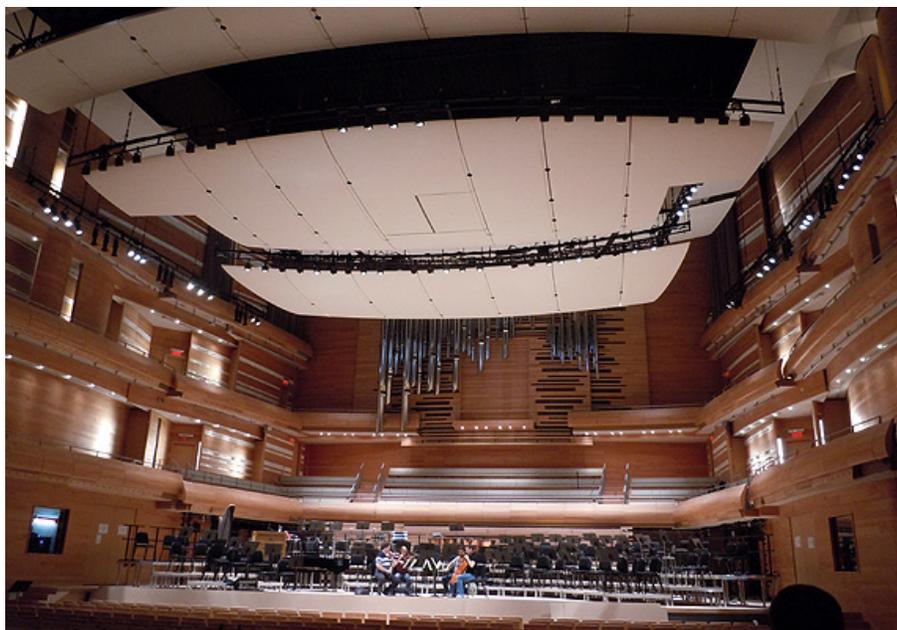


Figura 5.2: La Maison Symphonique em Montreal, Canadá.  
Fonte: [www.artecconsultants.com](http://www.artecconsultants.com). Acesso em 29 de Setembro de 2012.

Uma das primeiras pesquisas sobre a utilização de conchas de orquestra para melhorar o som da plateia foi em *Tanglewood*. A sala *Tanglewood Music Shed* é um espaço ímpar, considerada a “casa de veraneio” da *Boston Symphony Orchestra*. O espaço é semiaberto, em forma de leque e se parece com uma “tenda”, por isso o nome “*Music Shed*”. Abriga aproximadamente 6000 pessoas na parte interna e mais 6000 pessoas na parte externa. O mais impressionante é que não há qualquer tipo de amplificação eletrônica utilizada para mandar o som tanto para a parte interna como externa.

Em 1954, a empresa *Newman, Bolt e Beranek* foi contratada para modificar a concha já existente na sala *Tanglewood Music Shed* com a finalidade de melhorar o balanço geral da orquestra, a vivacidade especialmente no centro da sala, balancear o som do órgão com a orquestra, proporcionar maior clareza ao som e ser uma concha flexível, podendo abrigar de música de câmara até uma orquestra completa. Não bastassem todos estes requisitos, a concha deveria projetar o som para toda plateia interna e externa. O resultado final, é uma concha em formato de leque, de madeira entre 10 e 15mm de espessura, com modulações aleatórias. A parede do teto é ligeiramente angulada e o teto formado

de placas triangulares com 50% de abertura e se projeta além do palco para a plateia (Figura 5.3). A abertura do teto, de acordo com os pesquisadores permite com que o campo reverberante formado entre a concha e o teto da tenda seja projetado para a plateia. Quando em 1959 a concha foi finalmente inaugurada, a crítica foi bastante positiva tanto de músicos como de espectadores. Todos os objetivos foram alcançados de acordo com os pesquisadores, fazendo desta uma pesquisa pioneira no assunto (JOHNSON, 1959).



*Figura 5.3: Concha do Tanglewood Music Shed, USA.*

*Fonte: [http://www.nicholascroft.org/berkshires\\_culture.html](http://www.nicholascroft.org/berkshires_culture.html). Acesso em 29 de Setembro de 2012.*

Ao estudar conchas de orquestras é preciso ter em mente um conceito importante: a diferença entre o espaço da fonte sonora e o espaço do receptor. O espaço da fonte sonora é o palco onde irão se situar os músicos. O espaço do receptor é a plateia e a adequada interação entre estes dois espaços é fundamental para a boa acústica da sala.

De acordo com Jaffe (1974), existem objetivos diferentes a serem alcançados para os espaços da fonte e do receptor. No caso do espaço da fonte sonora, ou seja, o palco, é necessário que este espaço proporcione equilíbrio entre os instrumentos da orquestra, interaja com a direcionalidade dos instrumentos, distribua o som de maneira homogênea da área da fonte para a

plateia, preserve a dinâmica de altas e médias frequências proporcionando o maior número de primeiras reflexões, faça com que os músicos se ouçam e ouçam outras partes da orquestra de maneira equilibrada e mantenha o som reverberante no palco.

Todos estes objetivos estão relacionados a parâmetros como tempo de reverberação, tempo inicial de decaimento, clareza, suporte entre outros. Portanto, tamanho, forma, densidade e espessura dos materiais bem como a distância entre a fonte sonora e as superfícies refletoras são importantes requisitos que devem ser levados em conta no projeto destes espaços.

No caso da plateia, é necessário que a concha projete de maneira homogênea o som da orquestra para a plateia, proporcione o maior número de primeiras reflexões, projete baixa frequência e evite ecos ou qualquer tipo de barreira ou obstáculo que impeça o som direto ou as primeiras reflexões de chegarem ao ouvinte.

Um dos grandes desafios ao se projetar conchas de orquestra refere-se à sua facilidade de montagem, desmontagem e acondicionamento. Pode parecer óbvio, mas não é fácil se chegar a um bom resultado, especialmente porque muitos teatros não possuem espaço suficiente para acondicionar estas placas.

Jaffe (1974) propõe uma classificação dividindo as conchas em três categorias: conchas de contenção, conchas articuladas e conchas combinadas.

## **5.1 Conchas de Contenção**

As conchas de contenção são baseadas em palcos de salas de concerto como o *Boston Symphony Hall* (Figura 5.1), onde a orquestra se encontra em uma das pontas da sala envolvida por uma caixa de 5 lados, sendo as paredes laterais e o teto ligeiramente angulados projetando o som do palco para a plateia. A ideia das conchas de contenção é criar um espaço acústico no palco independente da caixa cênica (Figura 5.4). Normalmente os materiais usados para sua construção são densos, espessos e reflexivos, evitando que o som seja transmitido. O maior problema destas conchas é seu peso elevado, problemas de montagem,

desmontagem, dificuldade de transporte e acondicionamento. Jaffe (1974) recomenda que sejam utilizados materiais com densidade superficial mínima de 10 Kg/m<sup>2</sup> ou mais. Este tipo de projeto de conchas só se tornou possível e viável a partir da automatização do sistema cênico dos teatros. O acondicionamento destas conchas bem como tempo de montagem e desmontagem também precisa ser levado em conta, uma vez que ocupam espaço e são de difícil movimentação. Muitas vezes levam-se horas para serem montados e desmontados e a agenda do teatro pode não permitir desperdício de seu tempo.



Figura 5.4: Concha de contenção na Salle Wilfrid Pelletier, Montreal, CA.  
Fonte: <http://www.pbase.com/image/58342004>. Acesso em 12 de junho de 2012.

As conchas de contenção têm como objetivo isolar o espaço acústico da caixa cênica, criando um novo espaço acústico acoplado à plateia do teatro. Isto pode trazer benefícios ou não, dependendo da própria acústica do teatro. Algumas pesquisas como a de Farina *et al.* (1995) apontam para a necessidade do teatro não ser muito seco, uma vez que o uso de uma concha de contenção não possibilitou o aumento do tempo de reverberação. Entretanto se a sala já tem um tempo de reverberação suficiente para comportar música sinfônica, a concha de contenção pode auxiliar muito, especialmente no palco, melhorando o conjunto e a capacidade dos músicos interagirem. Porém, este é um dado controverso. Bradley

(1996) mostra que algumas conchas de contenção podem aumentar o tempo de reverberação em até 0,3s e o tempo inicial de decaimento em até 0,4s nas faixas de altas e médias frequências, como é o caso da *Salle Wilfrid Pelletier* em Montreal, CA (Figura 5.4). Estes valores de fato são perceptíveis ao ouvinte em relação ao ambiente. A maneira mais propícia de melhorar o campo difuso e aumentar o tempo de reverberação na sala é fazer com que as paredes laterais e o teto sejam feitos com superfícies difusas. Músicos de maneira geral preferem executar seus instrumentos em ambientes difusos. Superfícies que propiciam a difusão do som distribuem melhor a energia sonora refletida, evitando reflexões especulares que podem causar desequilíbrio no balanço entre os instrumentos em determinadas áreas do palco e da plateia (D'ANTONIO e COX, 2000). A difusão não se aplica apenas para a faixa de médias e altas frequências. Jaffe (1974) ainda recomenda que as conchas de contenção tenham a capacidade de refletir de maneira difusa parte da energia de baixa frequência. Para isso recomenda que haja cavidades de até 3m entre as superfícies, talvez uma recomendação de difícil execução na maioria dos casos.

Outra consideração a respeito de conchas de contenção é quanto ao volume que ela produz. O critério utilizado para avaliar o volume adequado para um determinado espaço musical, depende da capacidade de produção de energia sonora que o grupo musical pode produzir. Embora as conchas de contenção sejam acopladas à área da plateia do teatro, seu volume é crítico para manter uma relação equilibrada entre os instrumentos da orquestra. Jaffe (1974) propõe que os volumes adequados para esta área estão em torno de 2940 a 3360 m<sup>3</sup>.

Quando o volume produzido pela concha não é adequado para a energia sonora produzida pelo grupo musical, pode-se utilizar material de absorção no fundo da concha, especialmente perto da percussão e dos metais, justamente os naipes que produzem maior nível de pressão sonora na orquestra. A absorção pode ser feita tanto adicionando material de absorção no fundo da concha como também provendo certa quantidade de abertura no teto da concha para que o som possa ser absorvido pela caixa cênica (KAHLE e KATZ, 2004). Entretanto, abrir o teto para que o som passe para a caixa cênica foge dos propósitos de uma

concha de contenção. Outra observação importante apontada por Jaffe (1974) é o cuidado com a altura dos praticáveis no palco. Deve-se tomar cuidado para não elevar muito o naipe de metais, especialmente pela direcionalidade dos instrumentos. O conjunto sinfônico foi se modificando ao longo dos séculos até chegar à formação atual. Cada período e estilo possuem características próprias e por isso formações próprias. Não foi ao acaso a escolha da posição e quantidade de cordas, por exemplo, em relação ao naipe de metais. Os próprios compositores se encarregavam de equilibrar o conjunto, adicionando ou tirando determinados instrumentos, adicionando dinâmicas específicas ou combinando instrumentos para ressaltar determinadas linhas melódicas. Portanto não é a intenção de projetistas acústicos modificarem as relações de equilíbrio já existentes na orquestra. Sem contar na importância do maestro que é quem, durante os ensaios, equilibra o grupo, lapida a interpretação e é o responsável pela interpretação artística final da obra. O fato é que cada ambiente é único e uma orquestra acostumada a tocar em determinado ambiente pode sentir uma diferença enorme ao tocar em outro (BERANEK, 2003). O propósito do planejamento acústico de espaços modificáveis como teatros de múltiplo uso, é proporcionar o ambiente mais adequado e inerte possível, fazendo com que ele não atrapalhe o conjunto harmônico já estabelecido.

Como mencionado anteriormente, o acondicionamento das conchas de contenção é crítico devido a sua massa. Neste caso, a recomendação é que este aparato seja mecanizado de alguma forma. Seu transporte pode ser feito por sistemas eletromecânicos e quando guardadas, suas superfícies podem fazer parte da própria estrutura da caixa cênica quando utilizada para outros fins. O projeto destes aparatos para acondicionar e transportar uma concha de contenção certamente devem fazer parte de um projeto exclusivo. Por esta razão, o custo de uma concha de contenção pode ser bem mais elevado que o de uma concha articulada. Jaffe (1974) estima que estes sistemas possam variar muito de preço, entre 50 a 200 mil dólares ou mais.

## 5.2 Conchas Articuladas

Até a década de 50, as orquestras usavam para montar as conchas, painéis articulados e leves porque a maioria dos teatros possuía sistema de varas com contrapeso e este sistema não suportaria o peso que as conchas precisavam. Por isso materiais leves foram usados para melhorar o retorno nas faixas de médias e altas frequências para os músicos e para a plateia. Um exemplo disso foi o *Carnegie Hall* em Nova Iorque, que usava este conceito de painéis leves para acoplar o volume da caixa cênica com o da plateia. O sistema funcionava tão bem que virou um mito. Na década de 60 foram projetadas muitas conchas articuladas com materiais leves. Como as paredes da concha não continham o som dentro do ambiente que formavam, o som era transmitido e reverberava dentro da caixa cênica que era o espaço que funcionava como as paredes de contenção de uma sala de concertos. Estas conchas articuladas com teto baixo proporcionam boa reflexão de médias e altas frequências, melhoria no equilíbrio do conjunto, e melhora no desempenho acústico do palco para os músicos. Como as conchas articuladas não fazem a contenção do som, caso a caixa cênica não possua áreas de absorção, o som pode ser refletido e gerar um campo reverberante em baixa frequência. Esta prática é eficaz desde que o acoplamento entre a caixa cênica e a área da plateia seja eficaz para que o campo reverberante possa ser projetado e não absorvido por cenários ou cortinas (JAFFE, 1974).

A ideia das conchas articuladas e leves não foi bem compreendida inicialmente entre os projetistas acústicos. Pensou-se que elas eram responsáveis pela absorção em baixa frequência. Entretanto, conchas bem projetadas podem permitir que a energia de baixa frequência ressoe dentro da caixa cênica, fora da concha, e seja projetada para a plateia como o caso de *Tanglewood*. Cabe aqui uma ressalva, que apesar do nome “articulada”, em *Tanglewood* bem como muitas outras conchas de material leve não são necessariamente desmontáveis. Mas, diferente das conchas de contenção, as conchas articuladas levam materiais leves em sua construção e de maneira geral possuem aberturas que permitem seu acoplamento com a sala onde estão inseridas ou com a caixa cênica no caso de teatros com proscênio. Atualmente com o avanço da tecnologia e a possibilidade

de simulações computacionais, outras pesquisas relacionadas ao projeto de conchas similares à concha de *Tanglewood* mostraram-se igualmente eficazes (KIM *et al.*, 2010).

A recomendação de densidade superficial dos materiais usados neste tipo de concha é de 2,5 a 6,5 Kg/m<sup>2</sup>. Os materiais mais comuns usados na fabricação da superfície das conchas são madeira e placas de policarbonato ou fibra de vidro. De maneira geral, estas conchas envolvem a orquestra, algumas com placas articuladas formando um teto que pode ser angulado conforme a necessidade. Espaços são deixados entre as placas para que se possa formar, especialmente em baixas frequências, um campo reverberante na caixa cênica. Se os espaços forem bem acoplados, não só a orquestra percebe um ambiente acústico mais reverberante e propício, como também a plateia. Difusão é também um fator recomendado quando possível, especialmente para médias e altas frequências. O volume recomendado para este tipo de concha pode ser menor que os recomendados para conchas de contenção. Valores em torno de 1850m<sup>3</sup> são adequados, com aproximadamente 280m<sup>2</sup> de palco e volume de caixa cênica em torno de 11.200m<sup>3</sup>.

Recomenda-se que as áreas de abertura entre os painéis em conchas articuladas, contando teto e paredes laterais seja de aproximadamente 30% da área. Em alguns projetos, o teto pode ter até 50% de abertura. Entretanto deve-se tomar cuidado para que a concha não perca a área útil das primeiras reflexões para o palco. Outro item desejável é a possibilidade de articulação do teto. Isto só é possível caso haja altura suficiente do arco do proscênio, caso contrário as variações ficariam bastante limitadas. A articulação do teto possibilita uma sintonia mais fina depois que a sala estiver pronta e em funcionamento. Ela pode ser feita inclusive com a própria orquestra ensaiando e pode contar com a sensibilidade e opinião dos músicos e principalmente do maestro. Alguns estudos como o de Van den Braak e Van Luxemburg (2008) mostram que a variação na altura e ângulo destes tetos articulados pode fazer uma grande diferença na sensação subjetiva dos músicos e especialmente do maestro. Embora estas mudanças não fossem consideráveis do ponto de vista quantitativo no parâmetro Suporte - ST, a opinião

do maestro fez com que um novo parâmetro fosse proposto, o parâmetro da acústica do maestro, o  $LQ_{7-40}$ , para melhor definir a influência das pequenas variações das primeiras reflexões no palco. Este parâmetro propõe a análise das primeiras reflexões até 40ms, mas descartando a influência do som direto. Por isso o parâmetro analisa a energia sonora produzida a partir de 7ms até 40ms (VAN LUXEMBURG *et al.*, 2010). O parâmetro Suporte - ST proposto por Gade (1989b) ainda é assunto de muitas pesquisas especialmente porque não há um consenso sobre o valor recomendado de -12dB. Algumas salas consideradas como boas para execução musical no palco apresentam valores fora desta faixa (BRADLEY, 1996). Outras pesquisas apontam que especialmente o parâmetro Suporte Inicial -  $ST_{early}$ , que analisa as primeiras reflexões em relação ao som direto e a primeira reflexão do chão, por não levar em consideração a direção da fonte, acabam não tendo relevância significativa com avaliações subjetivas (DAMMERUD *et al.*, 2010).

Provavelmente a maior vantagem de conchas leves articuladas são seu armazenamento e transporte. As conchas de maneira geral por serem leves são de fácil transporte, manuseio, montagem e desmontagem. Dependendo de seu sistema construtivo as placas podem ser encaixadas umas nas outras e acondicionadas em espaços relativamente pequenos dentro do teatro (Figura 5.5). Muitas destas placas possuem rodízios que permitem sua locomoção. Outros sistemas maiores podem ser transportados com o auxílio de carrinhos para este fim ou mesmo de macacos hidráulicos. Sua estrutura pode ser feita em aço ou alumínio o que torna ainda mais leve todo o sistema. As placas do teto podem ser acondicionadas em varas cênicas e recolhidas quando não estiverem em utilização. As varas podem ser ou não motorizadas, de acordo com a possibilidade e sofisticação desejada. O custo destas conchas é relativamente bem menor que o de conchas de retenção. A faixa de preço varia entre 15 e 75 mil dólares, podendo chegar a preços maiores dependendo do grau de automação desejados.

Uma vez que existem maneiras distintas de projeto para conchas, é impossível estabelecer uma padronização enquanto as diretrizes de projeto da própria sala não forem estabelecidas (JAFFE, 1974).



Figura 5.5: Legacy Acoustical Shell - Wenger.

Fonte: <http://blackcatmusicblog.blogspot.com/2011/01/legacy-shells-help-transform-acoustics.html>. Acesso em 29 de Setembro de 2012.

### 5.3 Conchas Combinadas

As conchas combinadas são aquelas que utilizam os dois conceitos vistos anteriormente. Sua aplicabilidade é mais restrita, mas possível. Caso o volume da caixa cônica seja muito grande podem-se combinar os dois métodos, construindo uma caixa de contenção e abrigando dentro dela uma concha articulada. Neste caso, deve-se construir uma caixa cônica com aproximadamente  $5.600\text{m}^3$  de volume e abrigar dentro dela uma concha articulada com aproximadamente  $1860\text{m}^3$  de volume. As superfícies difusas devem estar apenas na concha articulada, não sendo necessária esta preocupação com a concha de contenção. Quanto ao material de construção das conchas, deve-se observar os mesmos tipos de materiais usados em conchas de contenção e articuladas. Este tipo de concha é o mais oneroso, por se tratar na verdade da construção de duas

conchas. A vantagem deste tipo de projeto se aplica no caso de caixas cênicas com muitos aparatos na parte superior que possam atuar como absorvedores. Uma vez construída a caixa de contenção, cortinas ou cenários que possam atuar como absorvedores naturais serão isolados e não farão parte do ambiente acústico da fonte sonora. Entretanto seu custo é mais alto e sua viabilidade depende inteiramente do projeto do próprio teatro.

Uma consideração a ser feita sobre conchas de orquestra é a iluminação. Embora não seja um requisito acústico, a interação entre as duas áreas deve ser feita. Não é incomum a reclamação de músicos de orquestra quanto a iluminação no palco. Apesar de muitos músicos solicitarem o aumento na potência da iluminação no palco, o reflexo e o brilho são fatores importantes na capacidade de leitura. Quando projetadas, as conchas de orquestra precisam estar adequadas para comportar iluminação suficiente e adequada. No caso de conchas articuladas, a iluminação normalmente é feita entre os vãos das placas do teto. Em conchas de retenção, normalmente estão incorporadas no próprio teto da concha. O ideal são luzes direcionadas e com foco ou bandeiras que controlem a direção da luz com a finalidade de evitar que o brilho causado muitas vezes pela textura das paredes da concha não atrapalhe a capacidade de leitura dos músicos. Esteticamente, a própria concha pode ter iluminação própria e adequada, diferente da luz da orquestra, ressaltando assim todo o conjunto. A luz frontal do teatro, desde que seja bem calibrada e num ângulo acima de 45 graus em relação ao músicos é fator fundamental para a boa iluminação do conjunto.

## 6 Metodologia

A metodologia utilizada para estabelecer a influência de uma concha de orquestra com superfície de baixa densidade na plateia foi a de comparar os resultados do desempenho acústico do teatro ao longo da plateia com e sem a concha instalada no palco. As medições dos parâmetros acústicos foram feitas de acordo com as recomendações da norma ISO3382-1 (2009) que descreve os procedimentos utilizados para a determinação do tempo de reverberação e outros parâmetros acústicos. Foram realizadas medição de ruído de fundo com a finalidade de avaliar o ruído interno da sala sem plateia ou orquestra presente, com ar condicionado ligado.

Foram também realizadas medidas de temperatura e umidade relativa do ar apenas para averiguar se houve uma grande variação que necessite ser levada em consideração na análise dos resultados.

Os parâmetros que foram medidos e calculados por meio da técnica da resposta impulsiva são Tempo de Reverberação (TR), Tempo Inicial de Decaimento (EDT) e Índice de Clareza ( $C_{80}$ ).

### 6.1 Equipamento de Medição

Para as medições e cálculos dos parâmetros acústicos foi empregada a técnica da resposta impulsiva através do programa para medição acústica de salas Dirac (*Room Acoustics Software – Type 7481*) da Bruel & Kjaer, que emprega essa técnica e pelo método de deconvolução calcula parâmetros como Tempo de Reverberação (TR), Tempo Inicial de Decaimento (EDT) e Clareza ( $C_{80}$ ). Os equipamentos de medição utilizados estão de acordo com a norma ISO3382-1 (2009). O sistema utilizado para medição acústica é composto por uma fonte sonora omnidirecional, dois microfones, um amplificador de som e uma placa de captura de áudio conectada à um microcomputador. A fonte sonora utilizada é o modelo Type 4296 da Bruel&Kjaer. Esta fonte é considerada uma fonte sonora omnidirecional, em formato dodecaédrico com doze alto-falantes, sustentada por

um tripé de altura regulável e atende as recomendações da norma ISO 3382-1 (2009) para uso como fonte sonora.

Dois medidores de nível de pressão sonora modelo 2238 da Bruel&Kjaer foram utilizados como microfones omnidirecionais, conectados à placa de captura de som modelo VXPocket v2 com dois canais de entrada de áudio e dois canais de saída de áudio para emissão do sinal sonoro da varredura de senos exponencial com duração de 10,26s. A escolha de dois microfones conectados ao sistema possibilitou a medição simultânea de dois pontos, reduzindo o tempo necessário para medição de todos os pontos escolhidos, facilitando a logística e reduzindo o tempo de uso do teatro.

## **6.2 Objeto de Estudo**

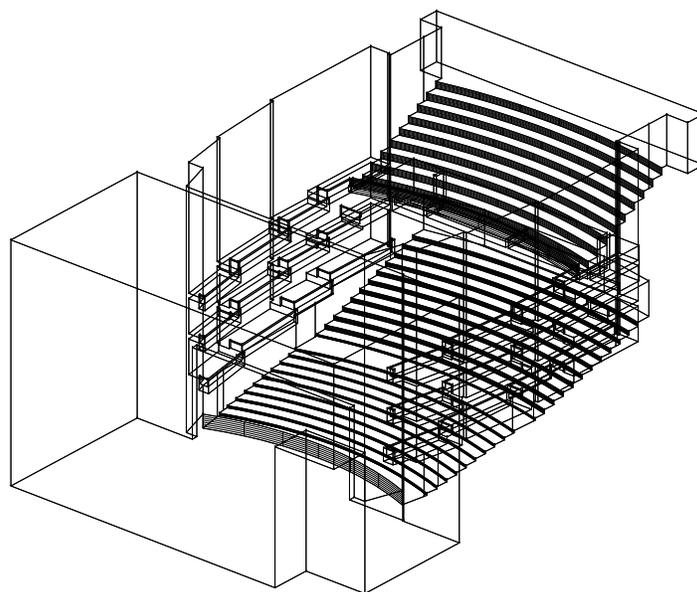
Para a realização desta pesquisa, foi necessário buscar um teatro de múltiplo uso que possuísse um sistema de concha de orquestra formada por painéis policilíndricos e confeccionada com material de baixa densidade. Dessa busca encontrou-se o Theatro Municipal de Paulínia.

### **6.2.1 Teatro Municipal de Paulínia**

O Theatro Municipal de Paulínia é um teatro de múltiplo uso com capacidade para 1.300 pessoas, projetado pelo arquiteto Ismael Solé. Possui arquitetura moderna que alia a menção do estilo neoclássico de seu frontão magistral com colunas dóricas sem ornamentações à leveza e luminosidade das paredes externas de vidros.

Inaugurado em 4 de julho de 2008, o teatro faz parte do projeto “Paulínia Magia do Cinema” que tem por objetivo desenvolver um polo cinematográfico na cidade. Além de ser o palco do festival Internacional de Cinema de Paulínia, o teatro atualmente abriga uma série de concertos internacionais de música erudita, além de ser palco de gravação de CDs e DVDs de artistas nacionais e internacionais, peças teatrais, balés e diversas apresentações locais.

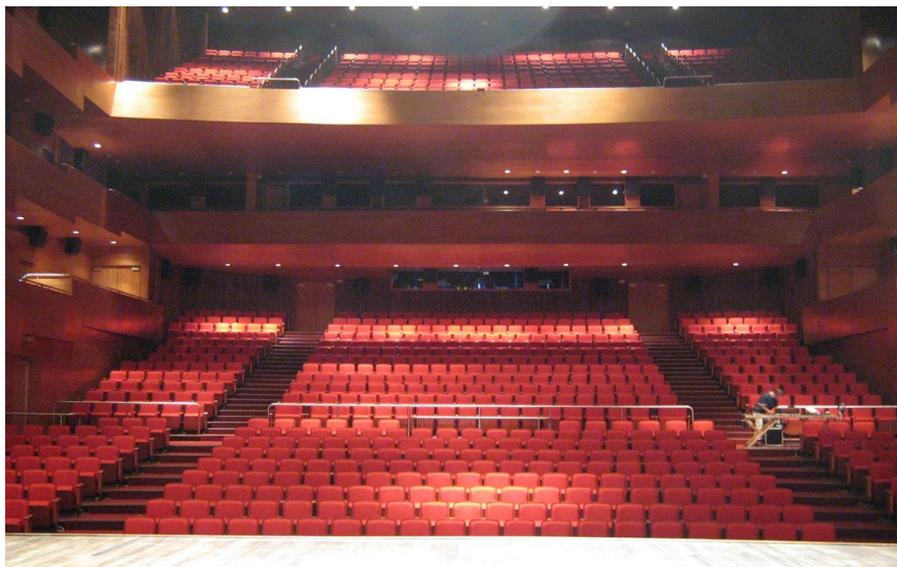
O teatro conta com uma área construída de 12.000 m<sup>2</sup>, possui palco italiano com aproximadamente 410m<sup>2</sup> de área, fosso de orquestra semicoberto para 80 músicos, piso flutuante, dois camarotes centrais, três balcões laterais e um mezanino superior. O teatro ainda possui proscênio e uma boca de palco com 15m de largura por 7,5m de altura. O palco é de assoalho, com as paredes em tijolo a vista e concreto. A caixa cênica possui pé direito de 20m de altura e abriga uma série de varas cênicas para iluminação e cenários, sendo 3 delas utilizadas para abrigar o teto da concha de orquestra. O volume da caixa cênica é de aproximadamente 8.600m<sup>3</sup> (Figura 6.1).



*Figura 6.1: Modelo em 3D do Teatro de Paulínia.  
Fonte: do autor*

A plateia do teatro tem paredes laterais em madeira aparente, lisas e envernizadas e as paredes de fundo de ripas de madeira espaçada sobrepostas a lã mineral coberta com tecido preto. Possui dois níveis de inclinação, o primeiro com 10 graus de inclinação e o segundo nível com 18 graus de inclinação, com 22 fileiras divididas em 6 setores: Plateia baixa central, direita e esquerda e Plateia alta central, direita e esquerda. Possui ainda área para deficientes e cadeiras para obesos. As poltronas são de madeira com assento retrátil revestido de espuma

espessa e tecido vermelho. O encosto é de madeira ligeiramente curvo também revestido de espuma e tecido. Existem dois corredores que separam a plateia central da lateral. Estes corredores são cobertos com carpete vermelho (Figura 6.2).



*Figura 6.2: Vista interna da platéia do Teatro de Paulínia.  
Fonte: Arquivo pessoal do autor*

Os balcões laterais possuem três níveis: balcão lateral térreo, balcão lateral 2º nível e balcão lateral 3º nível e acompanham a inclinação da plateia, formando três níveis distintos em cada andar. Cada um destes níveis acompanha o formato ligeiramente curvo da plateia a partir do palco formando três nichos distintos. Devido a este formato, as paredes dos balcões se encontram em profundidades diferentes, formando saliências laterais (Figura 6.3). O balcão lateral térreo é o que abriga o maior número de cadeiras, num total de 25. As cadeiras são removíveis, confeccionadas em metal revestidas de espuma e tecido, tanto no assento como no encosto. As paredes são de madeira lisa e envernizada. O balcão do 2º nível abriga 23 assentos e o balcão do 3º nível 22 assentos.



*Figura 6.3: Vista interna dos balcões no Teatro de Paulínia.  
Fonte: <http://martamatui.blogspot.com.br/2012/07/o-teatro-incognita.html>.  
Acesso em 29 de Setembro de 2012.*

Os camarotes centrais e laterais estão ao fundo da plateia, e sobrepõem apenas as 3 últimas fileiras da plateia. Possuem paredes laterais com ripas de madeira espaçada sobreposta a um tecido que recobre uma camada de lã mineral e teto de madeira lisa envernizada, sendo o teto ligeiramente convexo. Os camarotes centrais comportam 38 lugares e os camarotes laterais comportam 26 lugares. As poltronas são do mesmo tipo de poltrona da plateia.

O mezanino é inclinado num ângulo de 29 graus. Seu acesso se dá pelo 4º andar do teatro. Possui duas portas acústicas corta-fogo na entrada com uma pequena antecâmara. Assim como na plateia, é dividido por dois corredores laterais formando uma área central e duas laterais. Os corredores também são revestidos de carpete. As paredes laterais e de fundo são revestidas com lã mineral cobertas por tecido preto e ripas de madeira espaçadas. O teto do teatro é de gesso liso pintado em cor escura.

O projeto acústico ficou a cargo da empresa Acústica & Sônica, sob a supervisão do consultor acústico José Augusto Nepomuceno.

Desde o ano de 2009 até o momento, o teatro promove uma série musical denominada “Concertos de Paulínia”. A série é promovida em conjunto com a

Secretaria Municipal de Paulínia e a empresa Interarte de São Paulo, capital. Os concertos são subdivididos em duas séries distintas chamadas “Concertos Internacionais” e “Solistas de Paulínia”.

A série “Concertos Internacionais” traz ao teatro atrações Internacionais ou de grande expressividade no Brasil. A maioria das apresentações desta série são com Orquestras Sinfônicas Internacionais, eventualmente trazendo solistas de renome. Através desta série passaram pelos palcos do teatro nomes como o do Maestro indiano Zubin Metha, o violinista israelense Itzak Pehrlman, a cantora norte-americana Jessie Norman, o maestro venezuelano Gustavo Dudamel entre outros. A série de “Concertos Internacionais” é paga, mas com descontos especiais para quem comprovar ser morador da cidade de Paulínia.

A série “Solistas de Paulínia” compreende apresentações com um grupo de câmara formado pela empresa Interarte com três solistas fixos, o violoncelista Roberto Ring, o violista Horácio Schaefer e o violinista Pablo de Leon que em alguns concertos revezava com o violinista Cláudio Cruz. Nesta série, outros instrumentistas eram convidados para formarem grupos de câmara de diversas formações para a execução de um repertório variado. Esta série possui uma particularidade, todas as apresentações são gratuitas ao público, bastando o comparecimento ao teatro uma hora antes do início para retirada dos ingressos.

Como pode ser visto na Tabela 4, a maior parte das apresentações realizadas nos anos de 2009 a 2012, foi a da série “Solistas de Paulínia” num total de 45 apresentações, enquanto a série “Concertos Internacionais” proporcionou 32 apresentações no total.

*Tabela 4: Quantidade de apresentações por série dos Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012.  
Fonte: [www.concertosdepaulinia.com.br](http://www.concertosdepaulinia.com.br) – Acesso em 7 de fev de 2013.*

<b>Ano</b>	<b>Concertos Internacionais</b>	<b>Solistas de Paulínia</b>
2009	9	8
2010	9	12
2011	9	12
2012	5	13
Total	32	45

Dentre os tipos de grupos que ocuparam o palco do teatro de Paulínia durante a série dos Concertos de Paulínia, a grande maioria foi de grupos de

câmara. Como grupos de câmara estão compreendidas de forma genérica com intuito apenas estatístico as apresentações de solistas, duos, trios, quartetos, quintetos e grupos considerados como pequenas orquestras de câmara com até aproximadamente 30 integrantes (Figura 6.4).

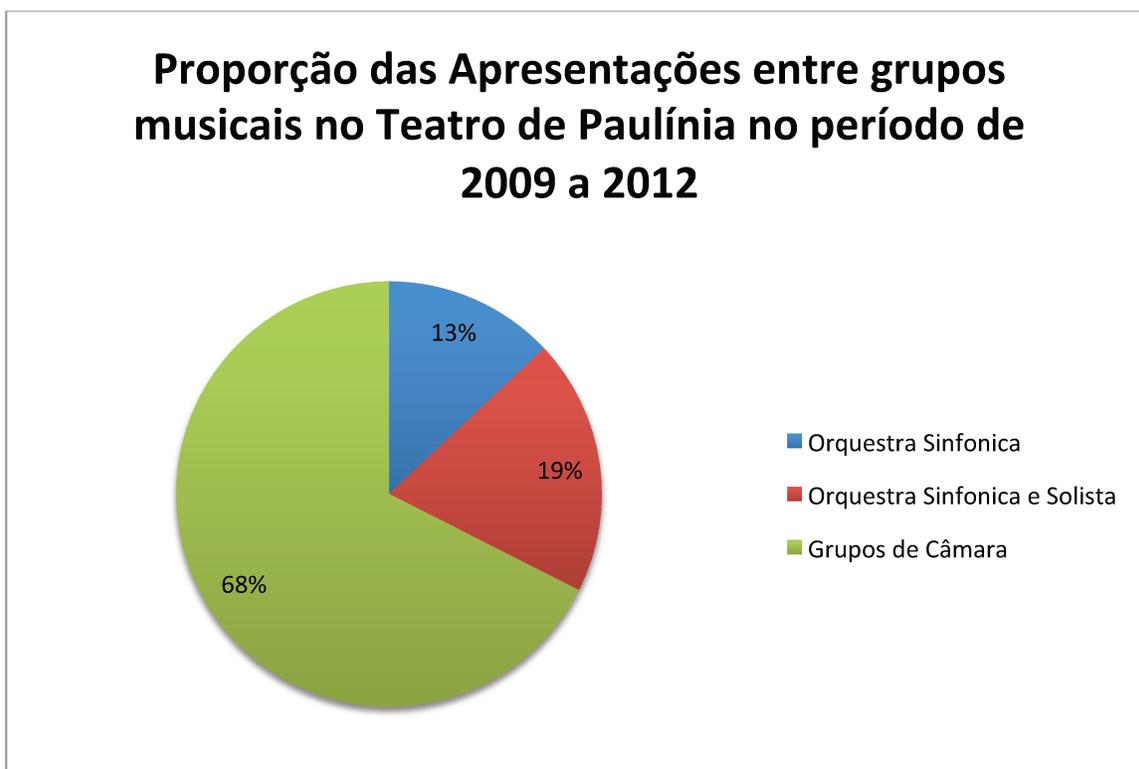


Figura 6.4: Proporção entre os tipos de grupos musicais apresentados na Série Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012

Fonte: [www.concertosdepaulinia.com.br](http://www.concertosdepaulinia.com.br) – Acesso em 7 de fev de 2013.

Dentre as peças musicais apresentadas no período nesta série, o compositor mais executado foi Ludwig Van Beethoven, seguido por Mozart e Brahms. No total, foram executadas 229 peças musicais, sendo 27 de Beethoven, 24 de Mozart e 21 de Brahms de um total de 63 compositores executados no período (Figura 6.5).

## Compositores mais Executados no Teatro de Paulínia no período de 2009 a 2012

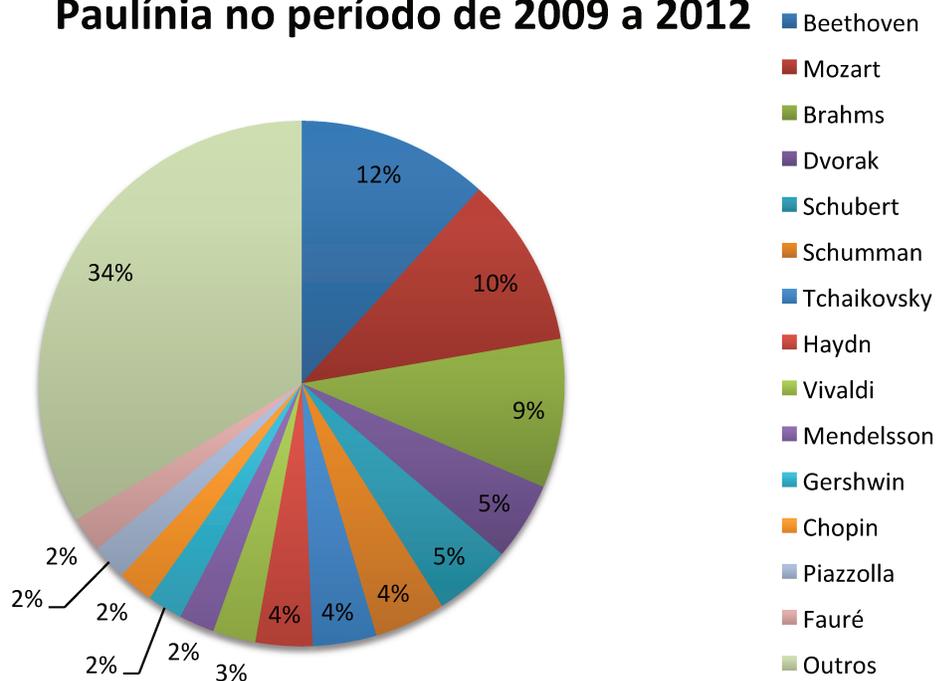


Figura 6.5: Gráfico mostrando os compositores mais executados na série Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012.

Fonte: [www.concertosdepaulinia.com.br](http://www.concertosdepaulinia.com.br) – Acesso em 7 de fev de 2013.

Apenas como dado ilustrativo, cada compositor apresentado na série “Concertos de Paulínia” foi categorizado em um período musical. Sabe-se do perigo de tal categorização uma vez que um mesmo compositor pode apresentar estilos musicais diferentes de seu período, bem como apresentar durante sua obra uma transição em estilo. A categorização também pode ser extremamente complexa se levado em conta as regiões geográficas não apenas da nacionalidade do compositor mas também onde cada peça musical foi elaborada, seu ano, fatores históricos, sociais, etc. Entretanto, apenas para uma rápida visualização, optou-se pela a simples categorização dos compositores entre quatro períodos distintos: Barroco, Classicismo, Romantismo e Contemporâneo. O critério adotado foi basicamente o período de vida do autor e a generalização do contexto de sua obra dentro de um determinado período, aceito por grande parte dos livros de História da Música. Para o período Barroco foi considerado o período

entre os anos de 1600 a 1760, o período do Classicismo entre os anos de 1730 a 1820, o período Romântico entre os anos de 1815 a 1910 e o período Contemporâneo de 1900 até os dias atuais. A tabela completa com todos os compositores apresentados bem como sua categorização pode ser encontrada no Apêndice A. Dentre as obras apresentadas, apesar dos dois compositores mais executado serem do período Clássico, a maior parte é do período romântico, seguido quase em mesma proporção pelos períodos clássico e contemporâneo e uma pequena parcela de música Barroca (Figura 6.6).

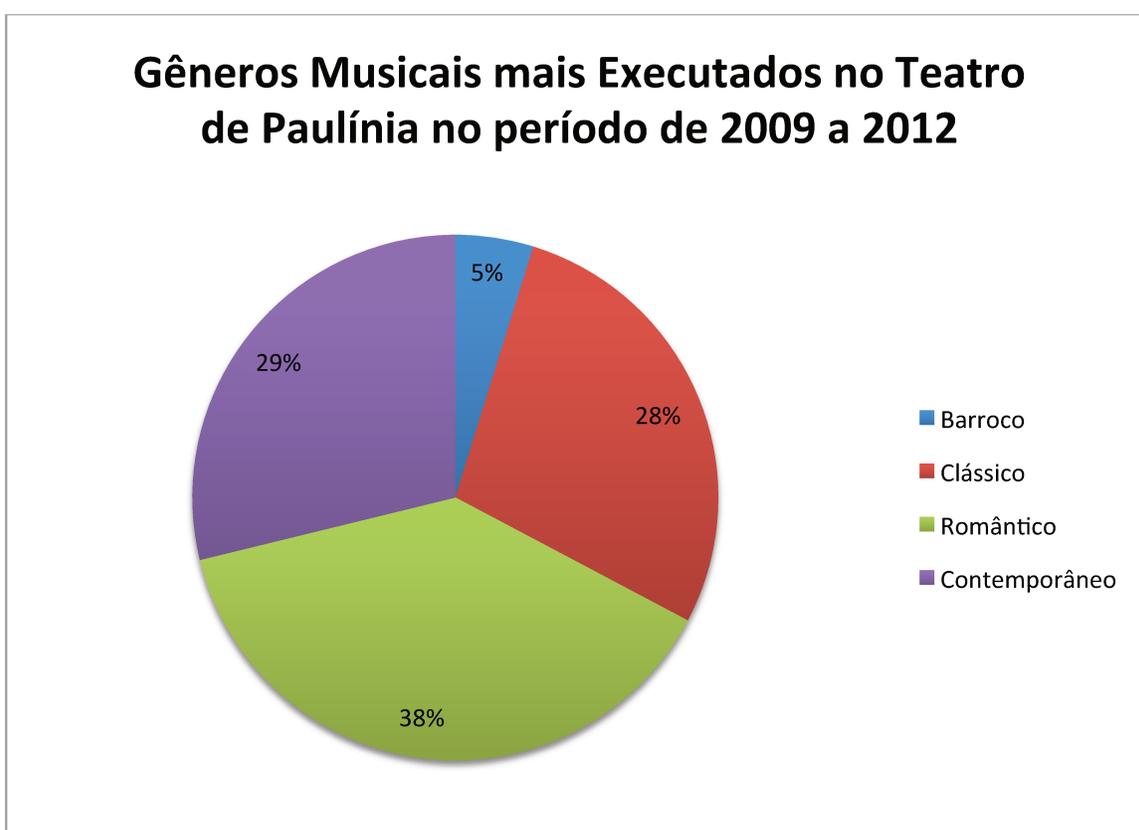


Figura 6.6: Gêneros musicais mais executados na série Concertos de Paulínia entre 2009 e 2012.  
Fonte: [www.concertosdepaulinia.com.br](http://www.concertosdepaulinia.com.br) - Acesso em 7 de fev de 2013.

### 6.2.2 Concha de Orquestra

Como uma forma de adequar a acústica do teatro para música acústica, o Teatro de Paulínia possui um sistema de concha de orquestra formada por vários painéis móveis em estrutura de alumínio e superfície policilíndrica. Cada torre é

revestida em chapa de madeira com espessura de 6mm, com densidade específica de aproximadamente  $4,5 \text{ Kg/m}^3$ , formando um sistema considerado leve de acordo com a literatura (JAFFE, 1974) (Figura 6.7).

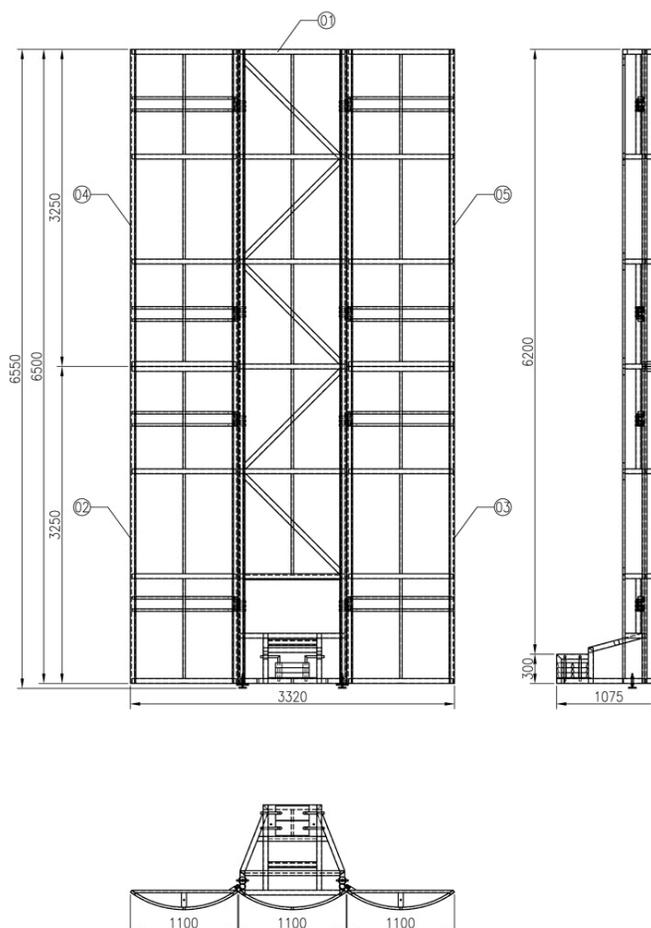


Figura 6.7: Desenho técnico de uma torre da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.  
Fonte: Feeling Structures

O sistema foi idealizado e fabricado pela empresa *Feeling Structures* do grupo Telem. Cada sistema possui três colunas de painel policilíndrico que podem ser dobradas facilitando seu armazenamento. Cada painel possui medidas de aproximadamente 6,5m de altura por 1,1m de largura. O raio de cada painel é de 93cm, com profundidade de 17,5cm conforme a Figura 6.8.

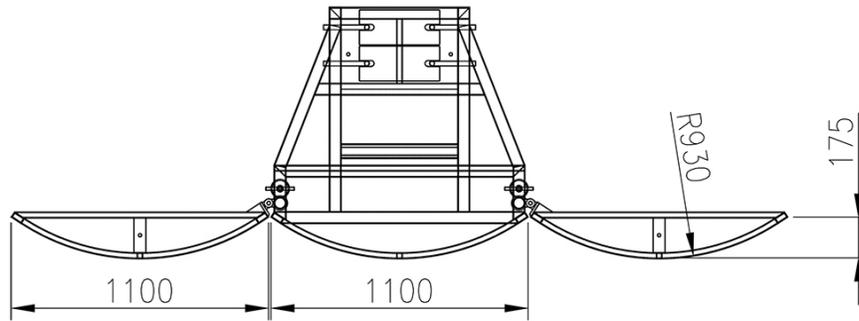


Figura 6.8: Vista superior de uma torre da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.  
 Fonte: Feeling Structures

Quando totalmente abertos, cada torre forma uma parede de 3,3m de largura. Ao todo são 9 torres que podem ser dispostas em diversos formatos, desde um grande semicírculo envolvendo o grupo musical, até o formato tradicional de um trapézio conforme a Figura 6.9. Em sua maior configuração, a concha de orquestra possibilita uma área de 149m<sup>2</sup> de palco, sendo 12,1m de profundidade, contados a partir da boca de cena, por 10,2m de largura no fundo e 13,3m de frente. Em cada lado são abertas 3 torres totalizando 9 painéis de cada lado, o mesmo acontecendo com o fundo.

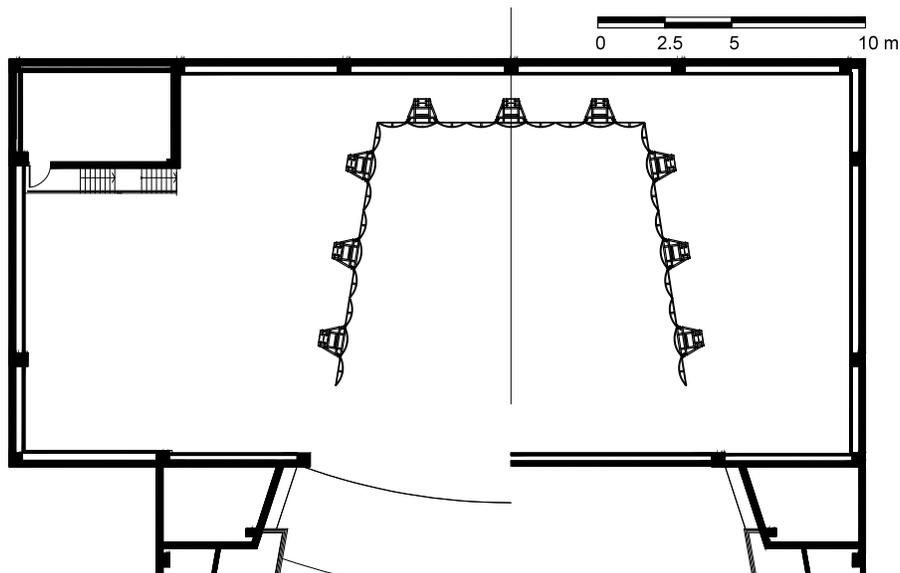


Figura 6.9: Vista superior da montagem da concha em forma de trapézio

A concha de orquestra possui também um teto retrátil, com três painéis fixados em varas cênicas que podem girar em torno de um eixo central para facilitar seu armazenamento e montagem. O sistema é fixo no teatro, sendo recolhido quando não utilizado. Cada painel tem a medida de 4m de comprimento por 3m de largura com sua superfície em formato policilíndrico, revestido com madeira de 6mm de espessura como nas torres verticais. O raio de curvatura do painel é de 39m, com profundidade de 30cm conforme Figura 6.10. São 3 painéis que podem cobrir a concha em seu formato maior, com a vantagem de poderem ser anguladas conforme a necessidade, bem como serem dispostas em alturas diferentes. O teto da concha não é totalmente fechado, possuindo vãos nas laterais do teto e entre os painéis.

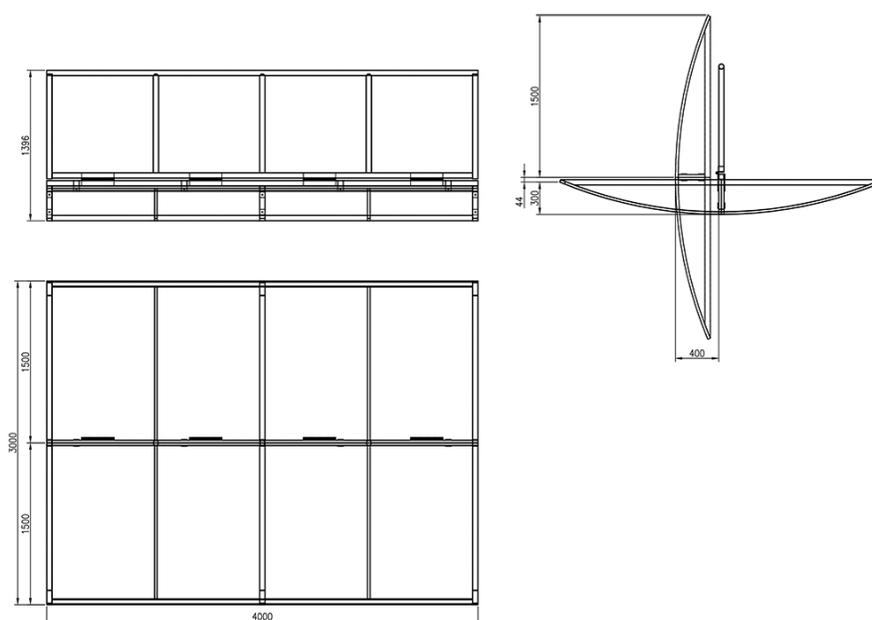


Figura 6.10: Vista de um painel de teto da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.  
Fonte: Feeling Structures

O sistema da concha é de fácil montagem e manuseamento. As torres verticais são transportadas com macaco hidráulico. Depois de posicionados, os painéis são travados lateralmente uns nos outros, impossibilitando sua locomoção. As torres possuem ainda um sistema com contrapeso ao fundo maximizando a segurança em palco, evitando que os painéis possam tombar (Figura 6.11). De

acordo com a literatura, a concha do Teatro de Paulínia pode ser considerada uma concha articulada (JAFFE, 1974).



*Figura 6.11: Transporte e montagem da concha de orquestra do Teatro de Paulínia.  
Fonte: Arquivo pessoal do autor*

### **6.3 Procedimento de Medição**

O Teatro Municipal de Paulínia tem capacidade para 1300 pessoas contando com as áreas da plateia, três níveis de balcões laterais, camarote central e um mezanino.

Fazendo uma análise da planta baixa do teatro (Figura 6.12), percebe-se que seu desenho é simétrico e pode ser dividido ao meio com uma linha imaginária para se estabelecer pontos de medição em apenas uma das metades do teatro. Os pontos de medição foram escolhidos de uma maneira que pudessem representar áreas distintas e representativas da plateia (POMPOLI e PRODI, 2000).

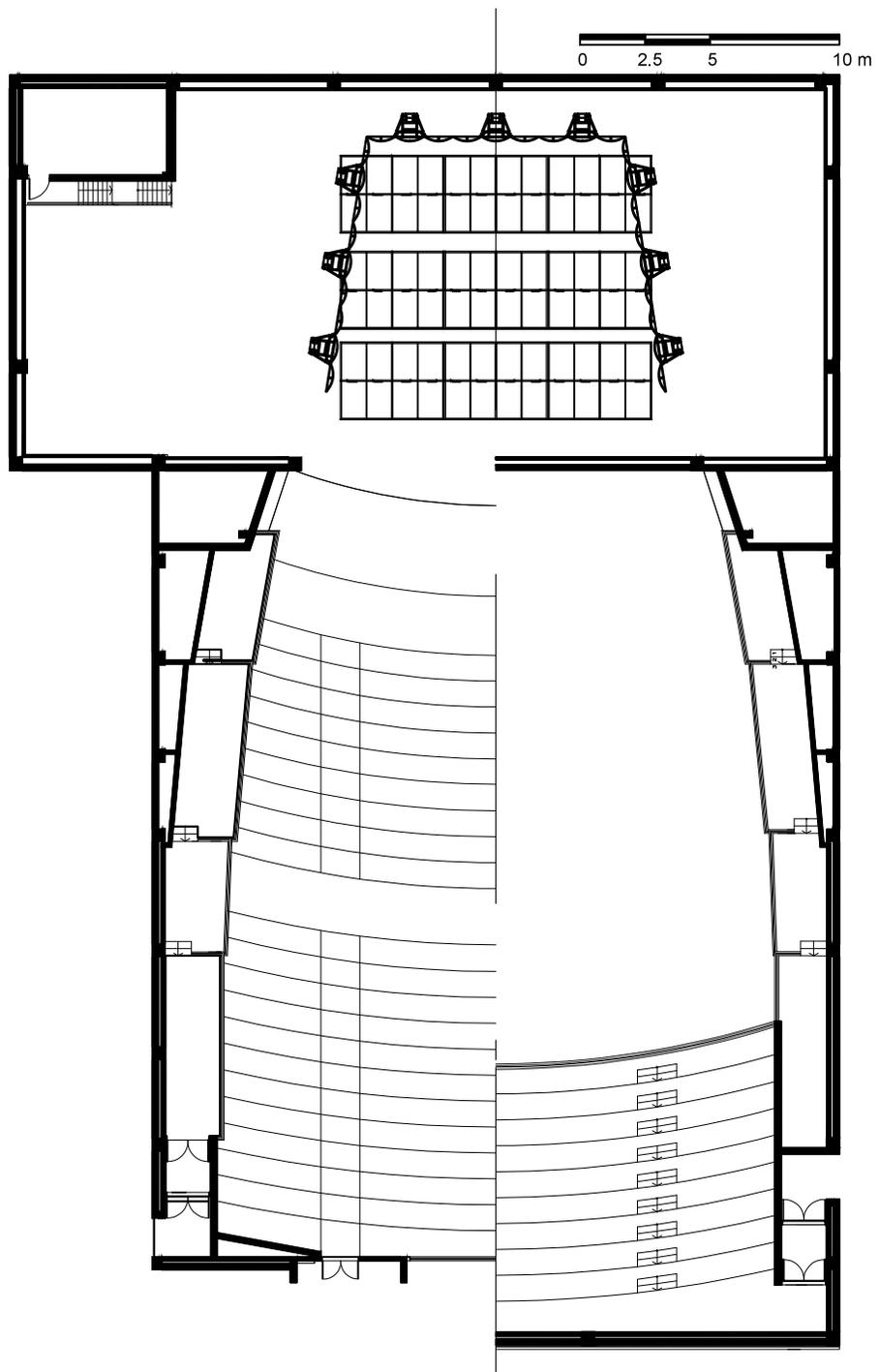
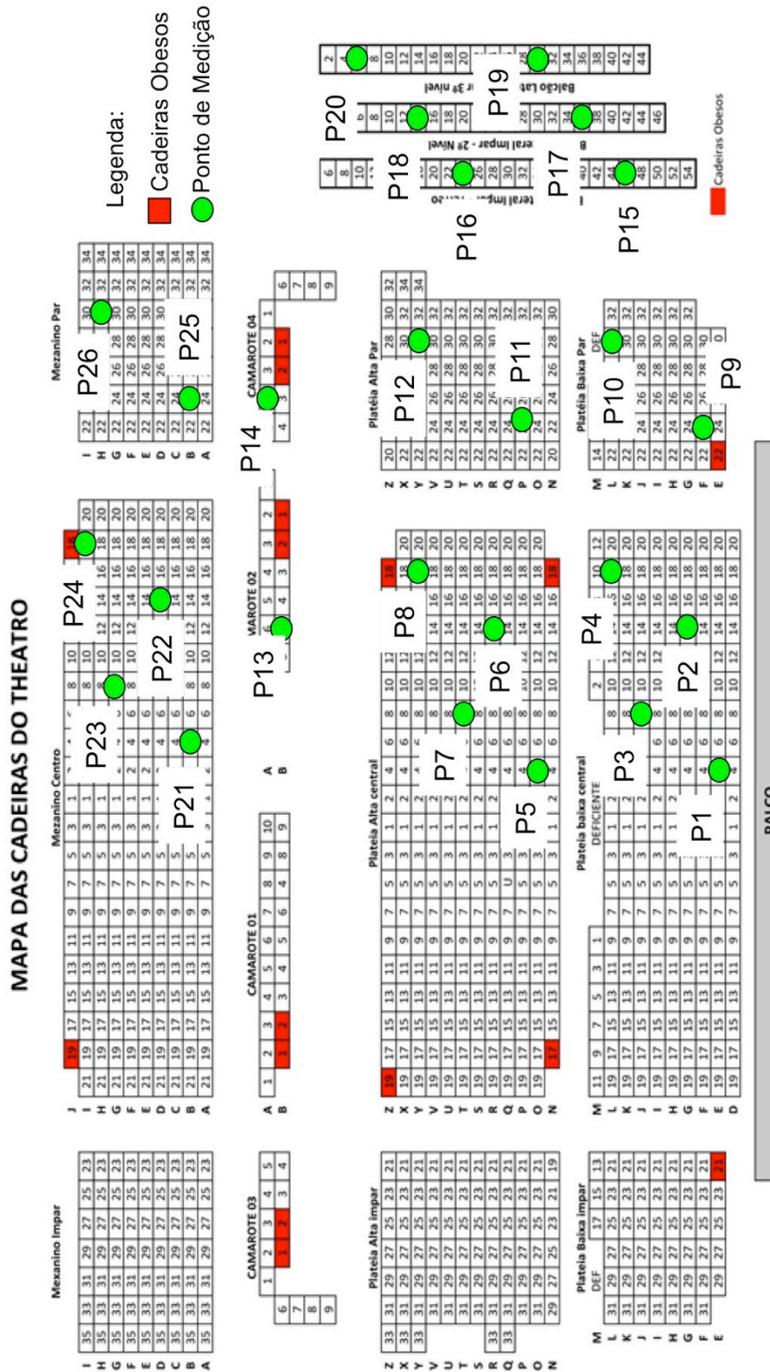


Figura 6.12: Planta baixa da plateia do Teatro de Paulinia

Foram estabelecidos no total 26 pontos de medição. Para melhor visualização destes lugares, utiliza-se a planta para venda de assentos do teatro, com a alocação dos pontos de medição conforme a Figura 6.13.



**PALCO**

DEF	17	15	13
L	17	15	13
K	17	15	13
J	17	15	13
I	17	15	13
H	17	15	13
G	17	15	13
F	17	15	13
E	17	15	13

**Pontos de Medição (P1-P26):**

- P1-P4: Platêia Baixa Impar
- P5-P10: Platêia Baixa Par
- P11-P14: Platêia Alta Par
- P15-P18: Platêia Alta Impar
- P19-P20: Mezanino Par
- P21-P24: Mezanino Centro
- P25-P26: Mezanino Impar

Figura 6.13: Mapa de assentos com pontos de medição do Teatro de Paulínia.

Dentre os pontos escolhidos, 12 pontos estão na plateia, sendo 8 na plateia central e 4 pontos na plateia lateral. Os pontos ainda foram escolhidos a fim de abranger as primeiras fileiras, lugares centrais e ao fundo da plateia, cobrindo todo o espaço disponível. O mesmo procedimento foi utilizado com a área do mezanino. Foram escolhidos 6 pontos, sendo 4 na área central e 2 na área lateral, abrangendo a parte da frente e do fundo do mezanino. Na área dos camarotes foram escolhidos 2 pontos, sendo um ponto no camarote central e outro no camarote lateral. Para cada um dos 3 níveis de balcão lateral foram escolhidos 2 pontos, um mais próximo ao palco e outro mais próximo do fundo da plateia, contabilizando 6 pontos.

A Tabela 5 mostra a localização de cada assento alocado com a indicação do ponto de medição.

*Tabela 5: Associação dos pontos de medição estabelecidos com as poltronas do Teatro*

<b>Mapa dos Pontos de Medição</b>						
<b>Área</b>	<b>Ponto</b>	<b>Assento</b>		<b>Área</b>	<b>Ponto</b>	<b>Assento</b>
Plateia	P1	E4		Camarote 4	P14	A3
	P2	G14		Balcão Lateral Térreo	P15	46
	P3	J8			P16	24
	P4	L18		Balcão Lateral 2ºNível	P17	36
	P5	O4			P18	14
	P6	R14		Balcão Lateral 3ºNível	P19	30
	P7	T8			P20	6
	P8	Y18		Mezanino	P21	B4
	P9	F24			P22	D14
	P10	L30			P23	G8
	P11	P24			P24	I18
	P12	Y30			P25	B24
P13	B6	P26	H30			
Camarote 2	P13	B6				

A caixa cênica do teatro possui uma área de 410m<sup>2</sup> sendo aproximadamente 190m<sup>2</sup> de área útil de palco. A área do proscênio possui aproximadamente 70m<sup>2</sup>. É comum em alguns casos o uso da área do proscênio, especialmente com grupos musicais que preferem ficar mais próximos à plateia. De maneira geral isto é o que ocorre com orquestras sinfônicas, que montam o

palco do maestro a aproximadamente 1m de distância da beira do palco, deixando praticamente todo o naipe de cordas na área do proscênio, fora da caixa cênica e da ação da concha de orquestra. Os napes de madeiras, metais e percussão são os que ficam enclausurados pela concha de orquestra e elevados por praticáveis em níveis diferentes de altura propiciando uma melhor visualização dos músicos em relação ao maestro. Este desnível entre os músicos melhora a relação do som direto destes instrumentos que chegam não apenas ao maestro, mas também à plateia.

Para a alocação dos pontos da fonte, foram escolhidas três posições no palco, em 3 pontos considerados representativos. O primeiro ponto é equivalente à posição do *spalla* da orquestra, ou seja, o primeiro violino do naipe de cordas. O segundo ponto escolhido para a fonte representa a posição das madeiras, mais especificamente das flautas em uma orquestra sinfônica. Este ponto está praticamente no meio do grupo e já está sob a influência da concha de orquestra. O terceiro ponto de posicionamento da fonte representa a posição dos metais, mais especificamente das trompas, à esquerda e ao fundo do palco olhando-se de frente para a orquestra. Em alguns grupos menores este pode ser também o ponto de alguns instrumentos de percussão. As três posições de fonte sonora podem ser visualizadas na Figura 6.14.

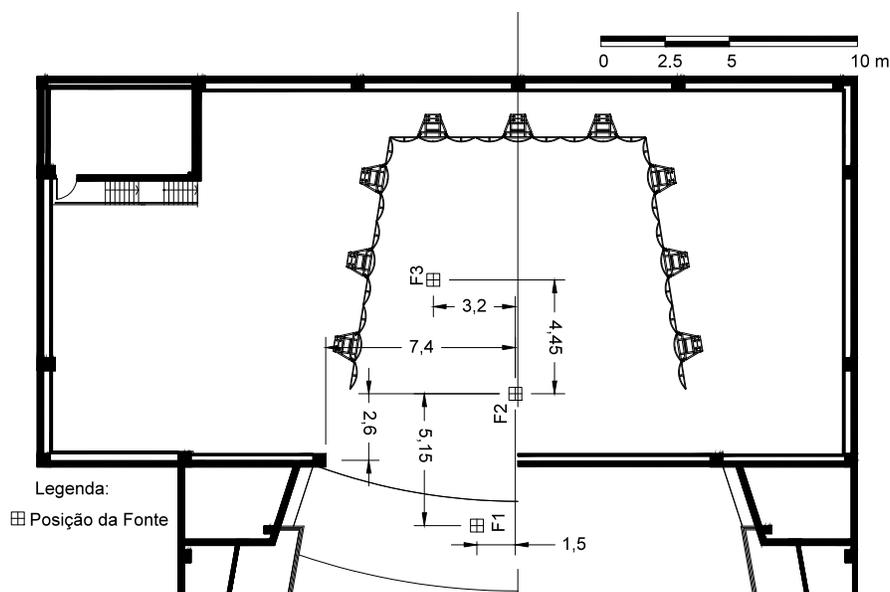


Figura 6.14: Posição das fontes sonoras no palco

Para as medições foi utilizado o palco limpo, sem cadeiras ou estantes de músicos e sem a presença dos músicos da orquestra e seus instrumentos por uma questão de logística. A agenda do teatro é bastante cheia de eventos e seria praticamente impossível conciliar os dias de medição com a presença de grupos orquestrais no teatro, especialmente porque boa parte destes grupos são internacionais e estão de passagem. O teatro também não possui cadeiras ou estantes próprias para estes grupos. Todo o material é sublocado por empresas especializadas e normalmente montadas horas antes dos ensaios ou apresentações. Apesar da presença de estantes e cadeiras afetarem o comportamento acústico destes ambientes, para o propósito desta pesquisa, a comparação entre os resultados do ambiente sem a presença da concha de orquestra e com a concha seria o suficiente para mostrar sua influência em relação à plateia. Como o teatro possui os praticáveis que elevam determinados grupos da orquestra, optou-se por utilizá-los, não só pela praticidade encontrada no local, mas porque a posição 3 da fonte, onde se encontram as trompas, ficaria elevada em 60cm, trazendo maior proximidade a uma situação real, já que algumas pesquisas como a de Van den Braak et al. (2005) mostram que os praticáveis trazem mudanças relevantes no desempenho acústico do palco.

Para melhor compreensão da influência da concha de orquestra na plateia, estabeleceu-se 5 configurações diferentes para a avaliação. A primeira configuração, que será denominada Configuração 1, é a medição do teatro com o palco vazio, apenas com as cortinas cênicas delimitando o espaço da orquestra conforme a Figura 6.15.

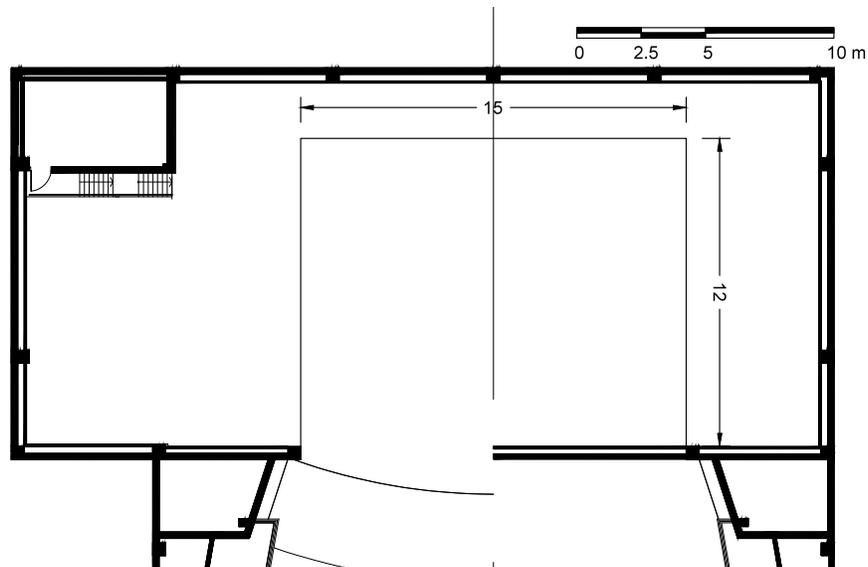


Figura 6.15: Configuração 1 - Palco sem concha de orquestra, apenas com cortina

A segunda configuração, denominada Configuração 2, compreende a medição do teatro com a concha de orquestra completa, com todas as torres verticais, montada em sua maior configuração sem a montagem do teto reclinável como mostra a Figura 6.16.

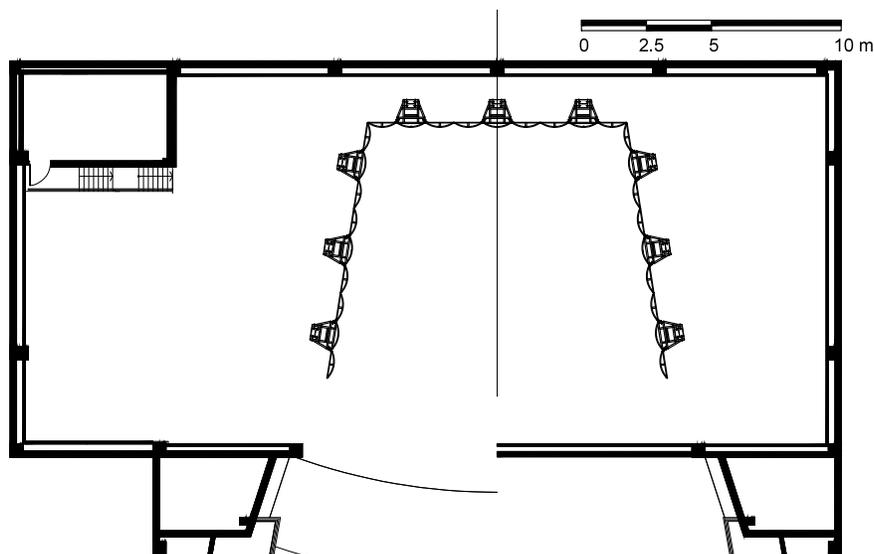


Figura 6.16: Configuração 2 - Concha completa sem o teto

A terceira configuração de montagem, denominada Configuração 3, a concha permanece com todas as torres verticais montadas em sua montagem

completa como na Configuração 2 porém com as placas do teto montadas (Figura 6.17).

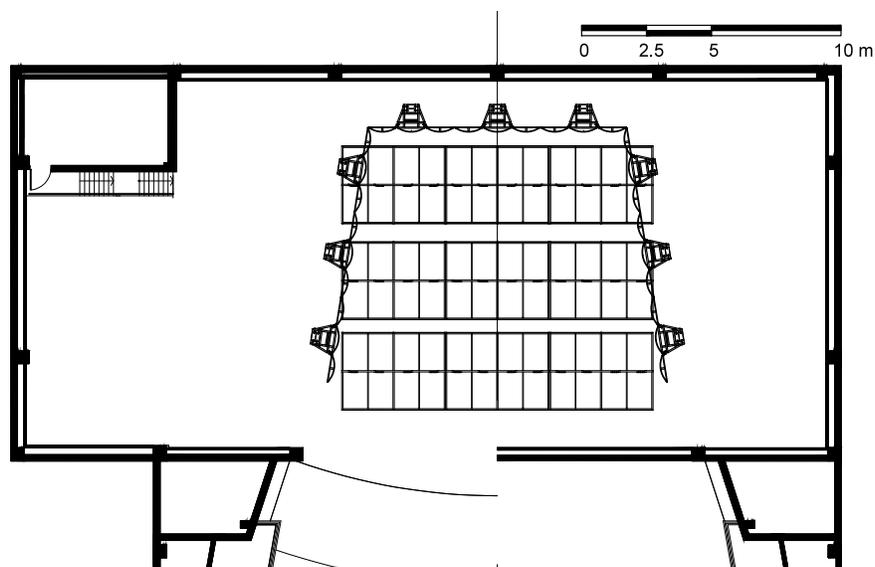


Figura 6.17: Vista superior da Configuração 3 - Concha completa com teto

As três placas do teto são posicionadas de maneira a cobrir toda a área da concha. As placas estão ligeiramente anguladas com uma inclinação negativa de 5 graus, o que significa que o som refletido, em tese, voltaria à própria orquestra ou invés de ser projetado para a plateia, como pode ser visto na Figura 6.18. Escolheu-se esta condição de montagem porque ao conversar com o responsável técnico do teatro, constatou-se que esta era a configuração usual empregada em espetáculos orquestrais.

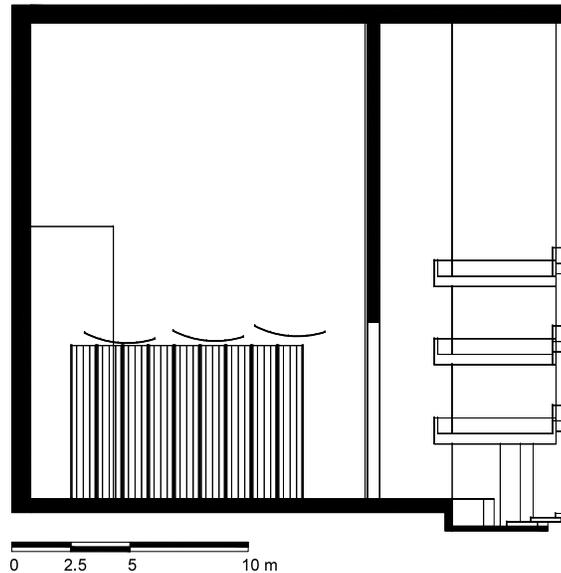


Figura 6.18: Vista lateral da Configuração 3 - Teto com ângulo negativo em relação à plateia

Com a finalidade de comparar se o ângulo do teto da concha orquestral traria alguma mudança no desempenho acústico para a plateia, foi sugerida uma nova montagem do teto formando a quarta configuração a ser estudada, denominada Configuração 4 (Figura 6.19).

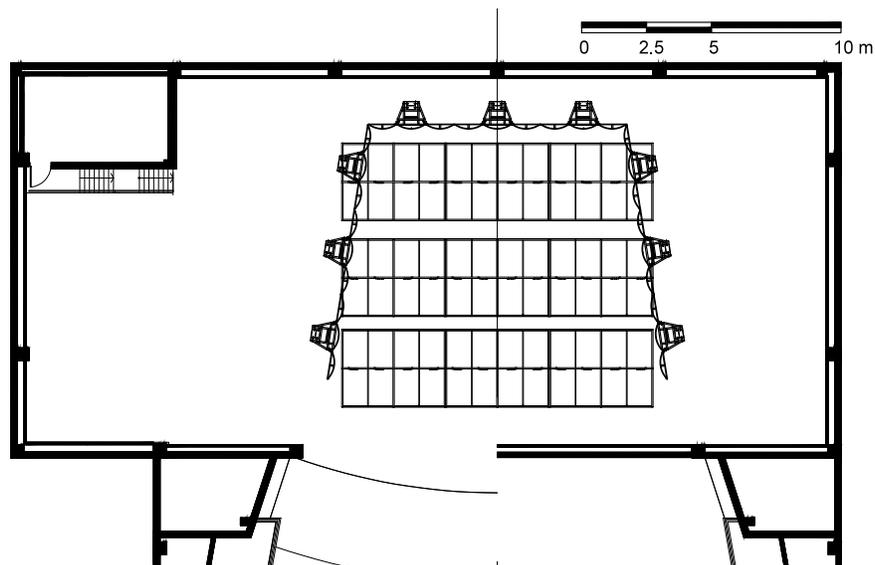
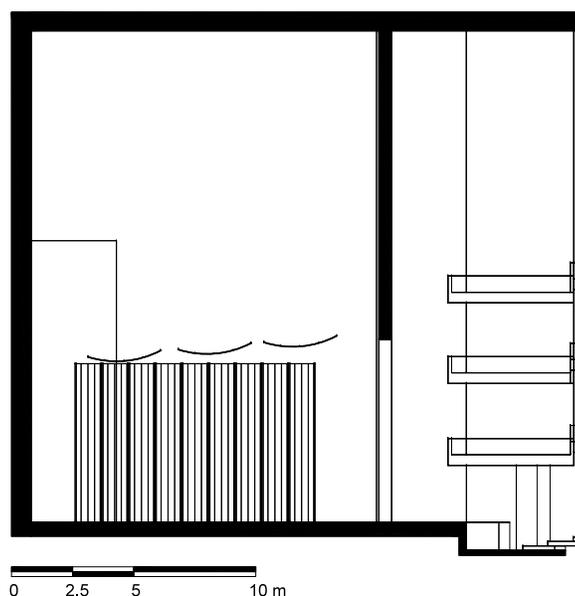


Figura 6.19: Vista superior da Configuração 4 - Concha completa com teto

Nessa configuração, cada placa do teto tem uma altura diferente, sendo a placa do fundo da concha a mais baixa, com 30 cm de diferença de altura entre

cada placa. As placas foram anguladas em 5 graus, porém no sentido inverso à montagem anterior, projetando o som para a plateia. A ideia inicial era aumentar ainda mais o ângulo de inclinação e a distância na altura entre cada placa, mas a altura do teto fica restrita pela altura do arco do proscênio que é de 7,5m. Como a altura das conchas é de 6,5m, a diferença é de apenas 1 metro entre o final das placas verticais e o topo do arco do proscênio. Esta configuração pode ser visualizada na Figura 6.20.



*Figura 6.20: Configuração 4 - Concha completa com teto angulado em direção à plateia*

A quinta e última configuração de palco é a montagem de apenas dois terços da concha de orquestra, o que ainda assim possibilitaria a cobertura de um grupo sinfônico mas de menor porte. Neste caso, foram retiradas duas torres verticais, uma de cada lado (Figura 6.21).

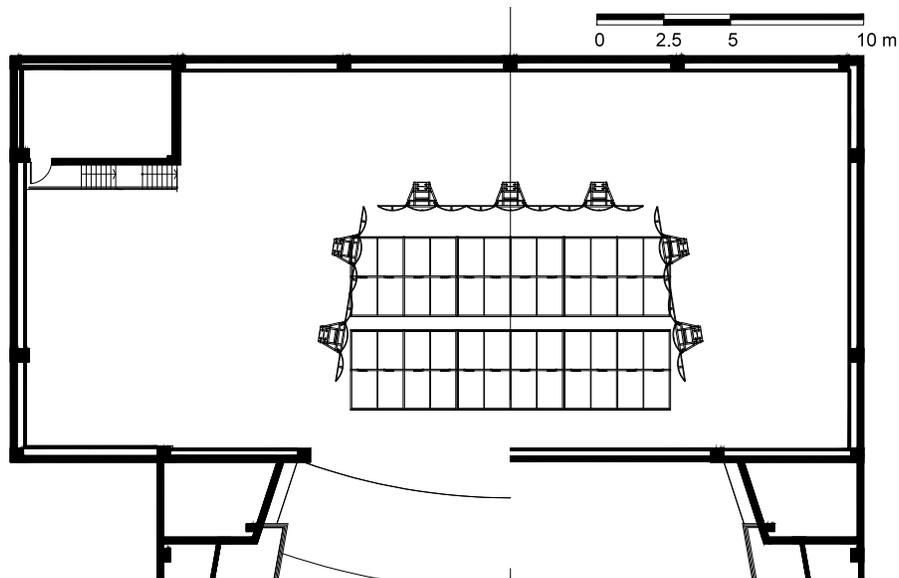


Figura 6.21: Vista superior da Configuração 5 - Concha de orquestra reduzida a 2/3 do tamanho inicial

Uma das placas do teto foi recolhida, sendo mantidas apenas duas placas na mesma altura e angulação da Configuração 4, conforme mostra a Figura 6.22.

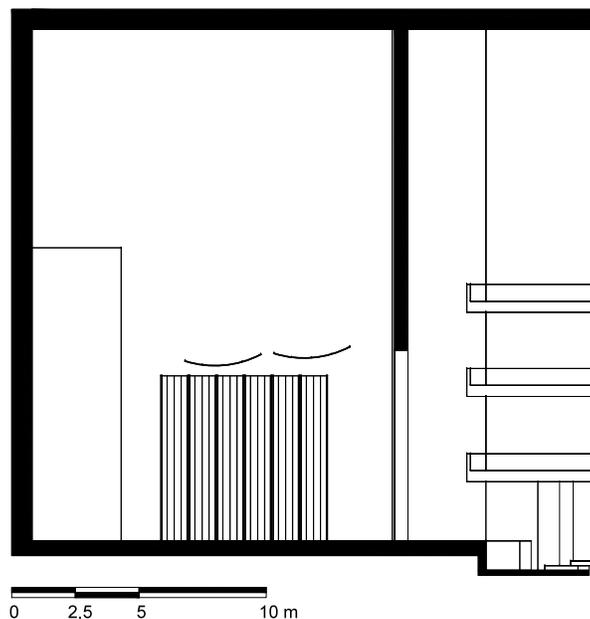


Figura 6.22: Vista lateral da Configuração 5 - Altura e inclinação do teto mantidas como na Configuração 4

Para cada configuração de palco, foram efetuadas medidas acústicas nos 26 pontos da plateia para as 3 posições de fonte, fornecendo 78 medições para cada uma das 5 configurações perfazendo um total de 390 medições.



## 7 Resultados e Análise

Foram realizadas medições na plateia em cinco configurações distintas no palco do teatro de Paulínia conforme visto no capítulo Metodologia. Os parâmetros acústicos medidos foram Tempo de Reverberação (TR), Tempo Inicial de Decaimento (EDT) e Índice de Clareza (C80) em função de frequências, nos 26 pontos de medição da área da plateia e nas 3 posições de fonte no palco. Também foram coletados dados de temperatura e umidade do ar durante o período de medição do teatro para averiguar alguma diferença que necessitasse de compensações ou correções dos resultados. A média da temperatura ambiente dentro do teatro foi de 24 graus com umidade relativa de 64%, não havendo variações significativas que justificassem qualquer tipo de compensação nos resultados. Foi medido também o ruído de fundo em todas as configurações. Para a coleta dos dados de ruído de fundo foram utilizados 6 pontos, sendo 4 pontos localizados na área da plateia e 2 pontos na área do palco. São eles respectivamente os pontos P3, P6, P22, P24, F2, F3 conforme a Figura 6.13 e a Figura 6.14.

O ruído de fundo, que corresponde ao nível de pressão sonora em função de frequência sem fonte sonora, foi medido em bandas de oitava, de 63Hz a 8000Hz, utilizando o medidor de nível de pressão sonora modelo 2238 da Bruel&Kjaer. Durante as medições de ruído de fundo o ar condicionado do teatro estava ligado em 60% de sua capacidade.

Para entender a influência da concha de orquestra no desempenho acústico na área da plateia foram realizadas comparações dos resultados entre as configurações de palco com a concha presente em relação à configuração 1, com o palco vazio, sem a presença de qualquer elemento da concha de orquestra. Entretanto, é importante ressaltar algumas considerações. As configurações 3 e 4 são praticamente idênticas entre si, com o único diferencial em relação ao ângulo de inclinação do teto. As duas configurações foram propostas para verificar se de fato o ângulo de inclinação do teto traria alguma modificação perceptível no

desempenho acústico na área da plateia. Como mencionado anteriormente, a configuração 3 foi testada por ser a configuração típica já realizada no teatro em diversas apresentações com grupos sinfônicos. A configuração 4 foi proposta com o intuito de verificar se de fato o ângulo de inclinação do teto proporciona algum diferencial, uma vez que o ângulo do teto na configuração 3 faz com que em tese parte do som seja projetado para dentro da concha e o ângulo do teto da configuração 4 faz parte do som ser projetado para a plateia. Devido à pequena diferença de altura entre as placas verticais da concha e o arco do proscênio, em torno de 1m, o ângulo de inclinação das placas do teto fica em parte limitado.

Desta maneira, será feita, neste capítulo, uma análise inicial do ruído de fundo em todas as configurações, em seguida uma análise comparativa dos parâmetros tempo de reverberação, tempo inicial de decaimento e índice de clareza das configurações 1, 2 e 3. Esta análise permite observar a influência da concha de orquestra conforme ela vai se construindo no palco, inicialmente com apenas as paredes verticais (Configuração 2) e posteriormente com a adição do teto da concha (Configuração 3). Posteriormente será feita a análise comparativa entre as configurações 3 e 4 com o objetivo de averiguar a real influência da inclinação do teto da concha. Por fim, será feita a análise entre as configurações 4 e 5, para verificar as diferenças de desempenho acústico na área de plateia entre a concha de orquestra montada em toda sua extensão e a concha de orquestra com apenas dois terços do seu tamanho máximo.

Os dados comparados são as médias aritméticas de regiões distintas como plateia, balcões e mezanino bem como a média geral do teatro. As tabelas com os valores de cada parâmetro em banda de oitava estão disponíveis no Apêndice B.

## **7.1 Ruído de Fundo**

Um dos critérios para avaliação de ruído de fundo de salas destinadas à execução musical é a Curva de Critério de Ruído – Curva NC, em que se comparam os resultados dos espectros sonoros obtidos com uma série de curvas pré-estabelecidas com a finalidade de associar o comportamento da sala

analisada a um único número. No Brasil, utilizam-se as recomendações da norma NBR 10152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico (2000) tanto para medição do ruído como para comparação dos níveis recomendados. A norma NBR 10152 (2000) estabelece o valor de NC25 como o recomendado para conforto para salas de concerto e teatros e o valor NC30 como aceitável.

Os resultados dos espectros apresentados no gráfico da Figura 7.1 são referentes à média dos 4 pontos medidos na área da plateia para cada uma das configurações.

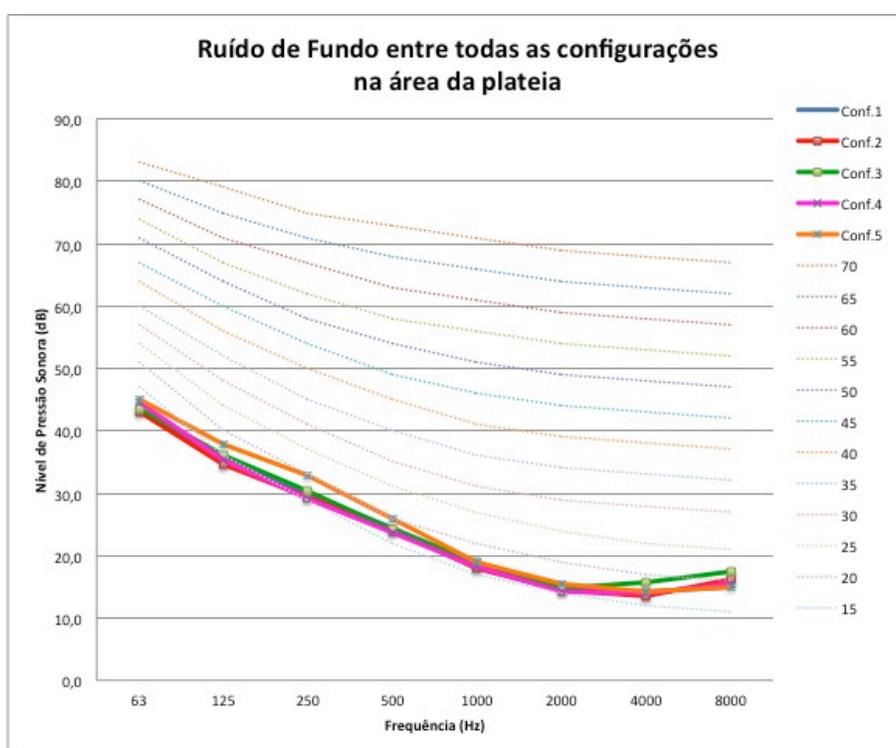


Figura 7.1: Gráfico do Ruído de Fundo na área da plateia nas 5 configurações

O nível de ruído de fundo para a plateia está entre os valores NC20 e NC25, mais próximos do valor NC20, de acordo com o recomendado como nível de conforto pela norma NBR 10152 (2000). O bom desempenho provavelmente está relacionado ao bom sistema de isolamento do teatro, que é construído sobre uma laje flutuante, desacoplada mecanicamente da laje principal do prédio, bem como do sistema de paredes duplas em todo seu contorno e das áreas de

corredores laterais e do hall de entrada principal que atuam como antecâmaras, diminuindo a incidência de ruído externo transmitido por via aérea.

O gráfico da Figura 7.2 mostra os valores dos espectros relativos ao ruído de fundo encontrados no palco, considerando a média dos dois pontos medidos para cada uma das configurações.

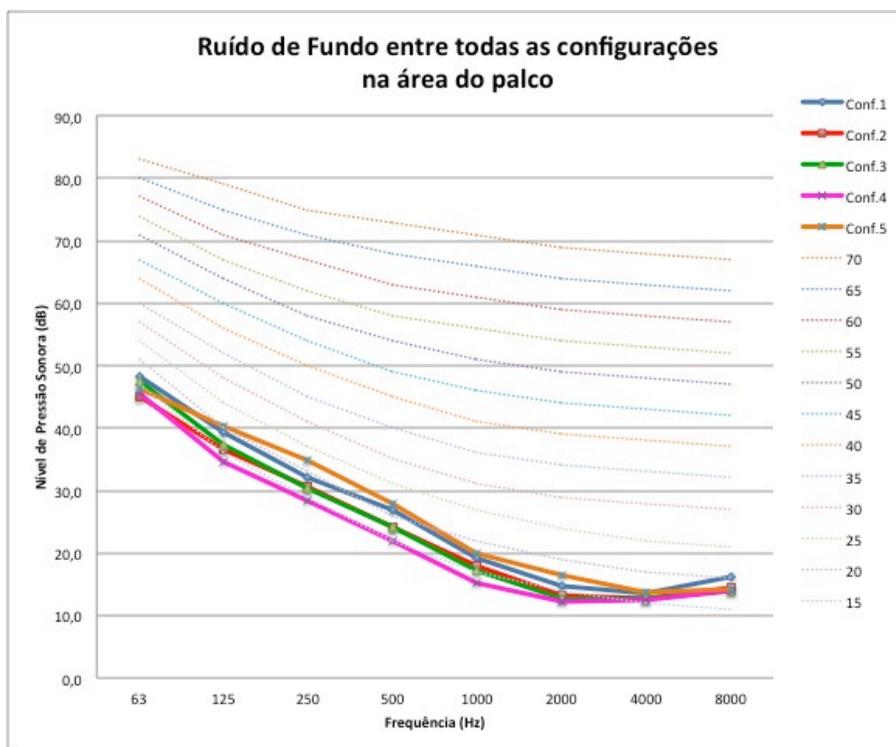


Figura 7.2: Gráfico do Ruído de Fundo na área do palco nas 5 configurações

No palco, o nível de ruído de fundo é bastante similar ao da área da plateia, entre os valores de NC20 e NC25, mais próximos ao valor de NC20.

Vale a pena mencionar que nos dias que foram realizadas as medições, entre os dias 11 e 15 de abril de 2011, havia uma grande movimentação em frente ao teatro que se encontra localizado em frente ao prédio da Prefeitura Municipal de Paulínia por motivos de uma greve dos funcionários públicos da cidade. No momento das medições havia um carro de som com pessoas falando ao microfone, mobilizando os trabalhadores em prol da causa além de música nos intervalos. Mesmo assim, ao se fecharem todas as portas do teatro, portas dos corredores laterais bem como as portas acústicas na área de carga e descarga ao

lado do palco, percebeu-se um isolamento de excelente qualidade, como visto nos valores dos gráficos apresentados. A movimentação externa ao teatro não prejudicou de forma alguma os trabalhos de medição, ressaltando a importância e eficácia do bom planejamento e da implementação de soluções de isolamento tanto aéreo como estruturais.

## **7.2 Comparação entre as Configurações 1, 2 e 3**

Neste item, serão comparados os resultados obtidos dos parâmetros Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento e Índice de Clareza entre as Configurações 1, sem a presença da concha de orquestra no palco, Configuração 2, com a presença dos painéis verticais da concha formando a parede de fundo e as paredes laterais e Configuração 3, com a concha montada em sua totalidade com os painéis do teto.

### **7.2.1 Tempo de Reverberação - TR**

A comparação dos resultados dos Tempos de Reverberação em função de frequência da Configurações 1, 2 e 3 pode ser vista no gráfico da Figura 7.3. Os resultados apresentados representam as médias aritméticas das 3 posições de fonte e dos 26 pontos de medição, totalizando 78 medições para cada uma das configurações. O gráfico da Figura 7.3 mostra um aumento no tempo de reverberação de aproximadamente 0,11s na faixa de altas frequências e uma queda no tempo de reverberação de aproximadamente 0,22s na faixa de baixas frequências ao se adicionar a concha de orquestra no palco.

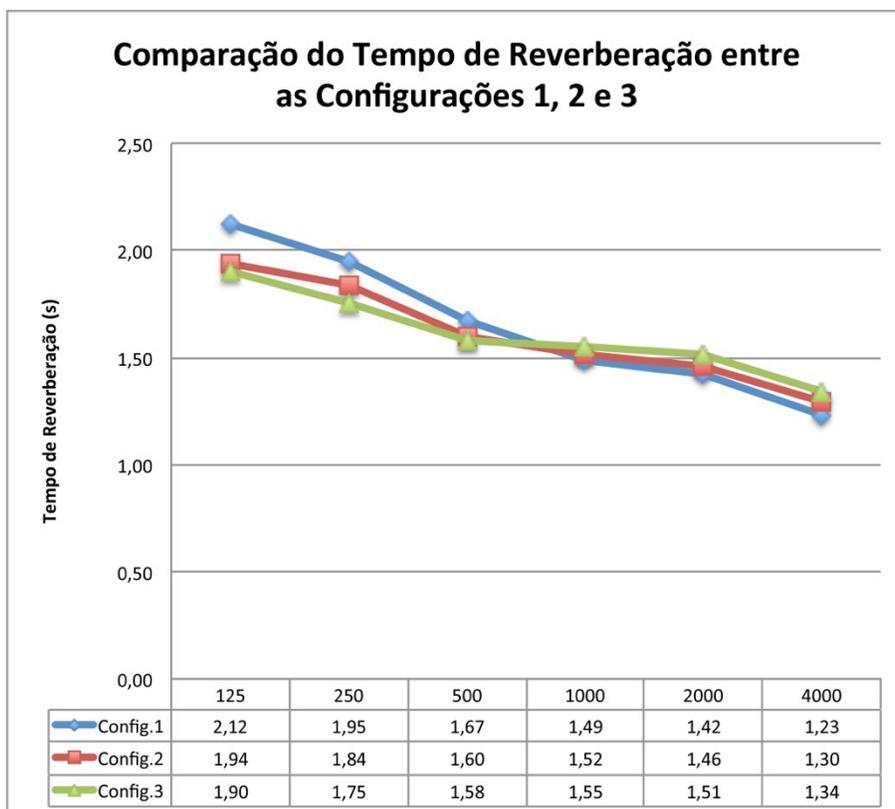


Figura 7.3: Gráfico comparativo do Tempo de Reverberação das Configurações 1, 2 e 3

Observando o gráfico da Figura 7.4, pode-se ver a mesma comparação do Tempo de Reverberação entre as configurações 1, 2 e 3 separado por posição de fonte sonora, sendo Fonte 1 o gráfico (a), Fonte 2 o gráfico (b) e Fonte 3 o gráfico (c). Pode-se observar que quanto mais a fonte sonora entra dentro da caixa cênica, maior é o Tempo de Reverberação em baixa frequência na Configuração 1.

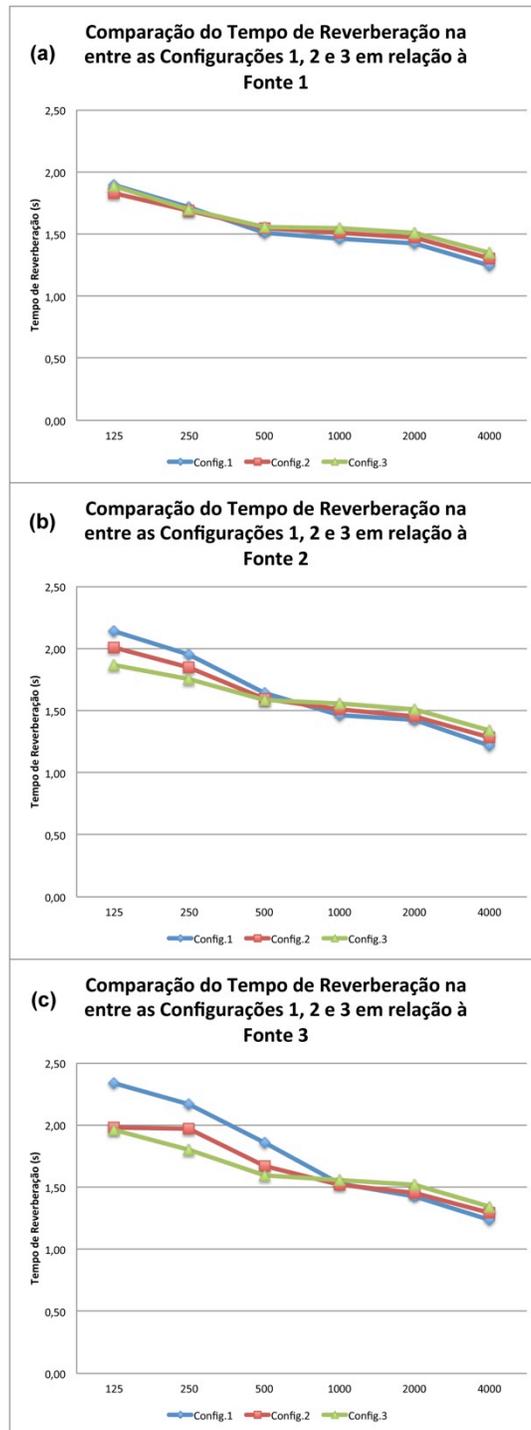


Figura 7.4: Comparativo de cada posição de Fonte do Tempo de Reverberação das Configurações 1, 2 e 3

A Configuração 2 se apresenta com valores de Tempo de Reverberação intermediários entre as Configurações 1 e 3. Com o aumento da área de superfícies que promovem difusão como as placas convexas da concha de

orquestra, há o aumento de reflexões dentro da concha de orquestra aumentando o tempo de reverberação em alta frequência.

A Fonte 1 está na posição do *spalla*, no proscênio, fora da concha de orquestra, mas não fora de sua influência. No gráfico (a) da Figura 7.4, pode-se observar que as curvas são bastante similares em baixa frequência. Ao se adicionar a concha de orquestra com teto, percebe-se uma pequena variação em alta frequência entre as configurações 1 e 3. Nesta posição de Fonte, a interferência da caixa cênica é menor e a curva de decaimento das duas configurações é quase a mesma. O gráfico (c) da Figura 7.16, mostra os resultados referente à posição 3 da Fonte, totalmente inserida dentro da caixa cênica. Pode-se observar que na Configuração 1 há um bom acoplamento em baixa frequência entre a caixa cênica e a área da plateia. Conforme a concha vai sendo adicionada no palco há uma diminuição no Tempo de Reverberação em baixa frequência, mostrando que as superfícies da concha formam barreiras e não permitem o bom acoplamento dos espaços em baixa frequência.

Se analisada individualmente a Configuração 3, a curva de decaimento sonoro permanece a mesma independente da posição da fonte conforme o gráfico da Figura 7.5, mostrando que a concha diminui consideravelmente a influência da caixa cênica na área da plateia.

Normalmente, conchas articuladas são montadas proporcionando aberturas laterais e no teto para que o som possa reverberar na caixa cênica e voltar para dentro da concha. Caso os espaços da plateia e da caixa cênica sejam propriamente acoplados acusticamente, parte desta energia reverberante da caixa cênica é projetada para a plateia. Jaffe (1974) recomenda que as aberturas laterais representem aproximadamente de 5 a 10% da área das paredes laterais da concha. No caso do teto, a recomendação é de que aproximadamente 20% da área do teto da concha seja aberto para o bom acoplamento com a caixa cênica.

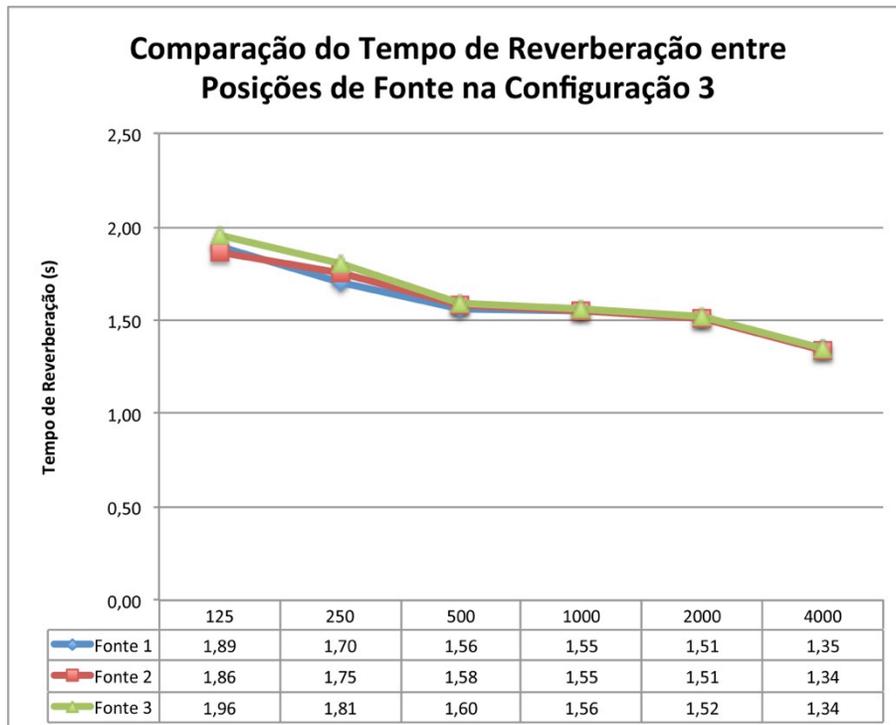


Figura 7.5: Gráfico da comparação do Tempo de Reverberação entre as posições de fonte na Configuração 3

A Figura 6.17 mostra as áreas abertas tanto no teto como nas paredes laterais da concha de orquestra estudada. Ao medir as áreas da parede lateral da concha e do vão de abertura lateral, constata-se que a área de cada parede lateral da concha é de  $62,4\text{m}^2$  e a área de abertura lateral é de  $17,5\text{m}^2$ . Somando-se a área lateral da concha com a área aberta, a abertura representa aproximadamente 22% da área total lateral da concha. No caso do teto, a área total da concha é de  $160\text{m}^2$  e a área de abertura entre as placas do teto de aproximadamente  $38,3\text{m}^2$ . A área aberta no teto da concha representa aproximadamente 24% da área total. Os valores encontrados estão acima dos recomendados pela literatura, entretanto não há um bom acoplamento entre os espaços ao se adicionar a concha de orquestra na faixa de baixas frequências. Jaffe (1974) aponta que um dos motivos prováveis para o problema de acoplamento entre os espaços é a altura baixa do arco do proscênio. A diminuição do tempo de reverberação em baixa frequência pode diminuir a sensação de “calor”, na área da plateia. Pesquisas como de Schultz (1965) mostram que as primeiras reflexões não são importantes na sensação de baixa frequência, mas sim os sons tardios que formam o campo

reverberante. Ao se analisar e comparar os resultados obtidos da influência da concha de orquestra na área da plateia com os dados de uma pesquisa feita por Bradley (1996), onde são comparadas 3 conchas de orquestra e também analisada sua influência na área da plateia, percebe-se que o comportamento da concha estudada no Teatro de Paulínia tem comportamento similar às estudadas por Bradley (1996) em relação ao parâmetro Tempo de Reverberação. Bradley (1996) sugere que as conchas são dispositivos que absorvem baixa frequência, entretanto, outras pesquisas mostram que o problema de acoplamento entre os espaços acústicos da plateia e da caixa cênica seja uma explicação mais provável (HAN, 1988).

Nas altas frequências, o aumento do Tempo de Reverberação devido a adição da concha de orquestra se deve provavelmente ao formato curvo tanto das paredes laterais como dos painéis do teto. O formato policilíndrico das paredes laterais e do teto propiciam a difusão do som em alta frequência. O som provavelmente é refletido várias vezes dentro da concha antes de ser projetado para a área da plateia, o que explicaria o aumento do campo reverberante.

A variação do Tempo de Reverberação em alta frequência na comparação das duas configurações é de 9%. Bradley (2011), em uma revisão e análise sobre os parâmetros acústicos utilizados na avaliação acústica de salas, comenta a respeito da incerteza de valores precisos do limite do observável (*Just Noticeable Difference* – JND) de praticamente todos os parâmetros. O limite do observável é considerado como a menor variação possível no valor de um determinado parâmetro que o ouvido humano consegue perceber. No caso do Tempo de Reverberação, o limite do observável pode variar de 4% a 30% mostrando que pesquisas ainda são necessárias (MENG et al., 2006). Se a variação de 4% para o limite do observável for levada em conta, pode-se afirmar que a variação de 9% no Tempo de Reverberação em alta frequência com a adição da concha de orquestra é considerável e será notada, melhorando a sensação de reverberância na área da plateia.

Nas frequências graves, a variação no Tempo de Reverberação é de 10% e contribui para a sensação de perda em baixa frequência na área da plateia. Barron

(1995b) propõe que para se obter a sensação de uma resposta acústica homogênea em uma sala é necessário que haja boas reflexões provenientes do teto e um aumento considerável no Tempo de Reverberação em baixa frequência, em torno de 40% em 125Hz em relação ao tempo de reverberação em médias frequências. Ao analisar os resultados obtidos na Configuração 1, o Tempo de Reverberação na frequência de 125Hz é 21% maior que na frequência de 500Hz. Ao se adicionar a concha de orquestra, o Tempo de Reverberação da frequência de 125Hz é apenas 16% maior que na frequência de 500Hz, causando um efeito contrário do desejado.

A análise apenas da média dos valores obtidos pode levar a uma compreensão superficial da influência da concha na plateia. Para compreender melhor a influência da concha de orquestra de uma forma mais detalhada, o Tempo de Reverberação foi analisado em 3 setores básicos do Teatro: plateia, balcões (incluindo os camarotes) e mezanino. Dependendo do projeto acústico e arquitetônico do teatro, estas áreas podem apresentar características acústicas diferentes por diversos fatores como é o caso do mezanino no Teatro de Paulínia em que as paredes laterais e de fundo são de materiais diferentes da plateia e dos balcões (BARRON, 2003). Os gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.6 mostram as médias dos valores do Tempo de Reverberação das 3 fontes em cada um dos setores do Teatro na Configuração 1 (a), Configuração 2 (b) e na Configuração 3 (c). Embora as paredes do mezanino sejam revestidas por materiais diferentes da plateia e dos balcões, o tempo de reverberação é praticamente o mesmo nos 3 setores do Teatro, não apresentando variação considerável em cada uma das configurações.

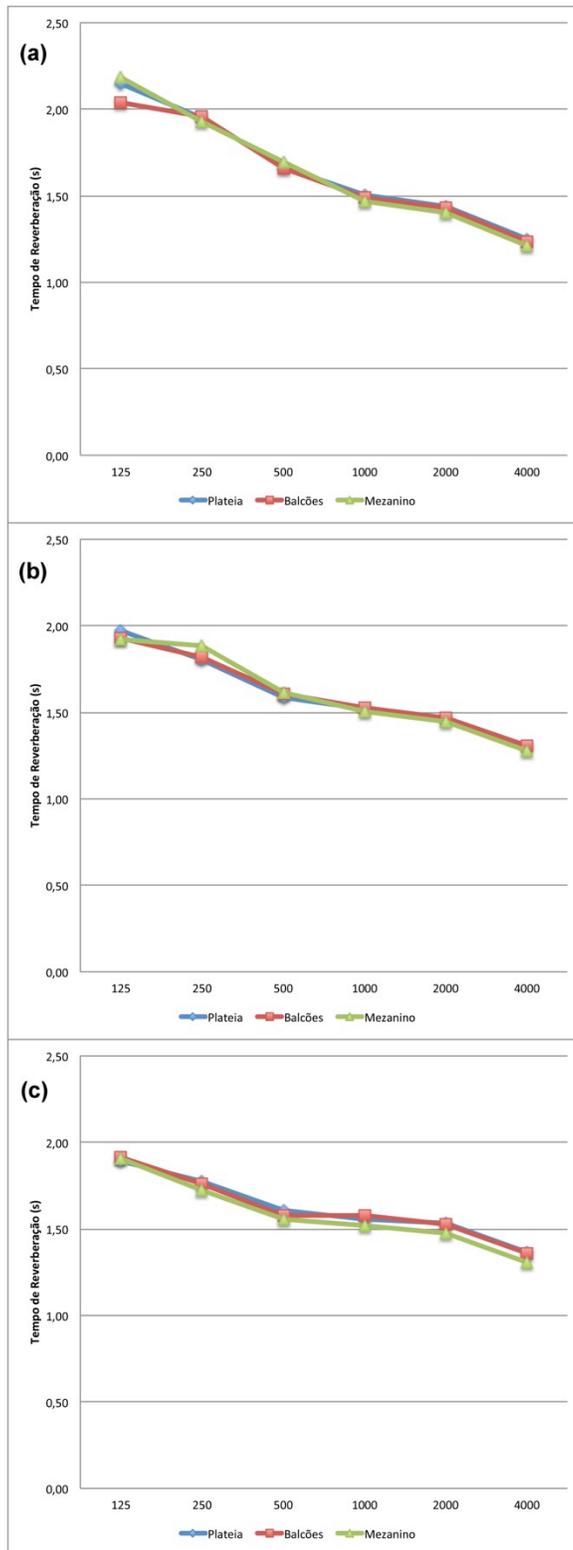


Figura 7.6: Gráficos da média do Tempo de Reverberação das 3 fontes por setor

O Tempo de Reverberação pode ser descrito através de um número único. Neste caso, o valor escolhido pode ser o valor do Tempo de Reverberação na frequência de 500Hz (BERANEK, 2003), embora existam autores que prefiram uma média entre as frequências de 500Hz e 1000Hz, mais próximo da faixa onde a percepção do campo reverberante é maior (BARRON, 2003). Nessas condições, a Configuração 1 do Teatro apresenta o Tempo de Reverberação na frequência de 500Hz de aproximadamente 1,7s e para a média entre as frequências de 500Hz e 1000Hz, de 1,6s. A Configuração 2 apresenta o valor de 1,6s para o Tempo de Reverberação tanto no valor único em 500Hz como na média entre 500Hz e 1000Hz. Para a Configuração 3, o Tempo de Reverberação na frequência de 500Hz é de 1,6s e mantém o mesmo valor de 1,6s na média entre as frequências de 500Hz e 1000Hz. Se analisado apenas o valor único do Tempo de Reverberação, uma conclusão precipitada poderia pressupor que a concha de orquestra não traz benefício no desempenho acústico da plateia no parâmetro Tempo de Reverberação. Entretanto, a análise por faixa de frequências mostra que a concha ao mesmo tempo que beneficia a área da plateia na faixa das altas frequências, também prejudica o acoplamento em baixa frequência entre os espaços da caixa cênica e da plateia.

Em todos os dados analisados foi feita uma análise do desvio padrão. A partir desta análise, percebeu-se a necessidade de saber se a variação das médias representava efetivamente duas situações distintas de resultados. Para isto, foi feita uma análise estatística para todos os parâmetros analisados utilizando-se o Teste *t* do Estudante (SCHENCK, 1979). O teste mostrou que no caso do Tempo de Reverberação em altas e baixas frequências, há uma certeza maior que 99% de que os resultados obtidos representam situações distintas e representam efetivamente diferentes tendências. Apenas na comparação entre as configurações 1 e 2 na frequência de 1000Hz a certeza é de 97% de que os resultados representam diferentes tendências.

### **7.2.2 Tempo inicial de decaimento – EDT**

A comparação dos valores médios do Tempo Inicial de Decaimento em função de frequência das Configurações 1, 2 e 3 podem ser vistas no gráfico da Figura 7.7. O comportamento da curva de decaimento do Tempo Inicial de Decaimento é similar ao comportamento da curva de decaimento do Tempo de Reverberação. Não há uma diferença considerável no valor de EDT na comparação entre as Configurações 1 e 2. Entretanto, ao adicionar o teto da concha de orquestra, nas faixas de alta frequência o valor do Tempo Inicial de Decaimento aumenta em até 0,24s. Em baixa frequência, há uma redução nos valores do tempo Inicial de Decaimento de até 0,26s ao se adicionar a concha de orquestra. Estes resultados representam um impacto maior na sensação de reverberância em relação ao Tempo de Reverberação. Pesquisas como a de Kahle e Julien (1994) mostram que o Tempo inicial de Decaimento é um parâmetro melhor que o Tempo de Reverberação quando relacionado à sensação de Reverberância, especialmente em médias e altas frequências, uma vez que o Tempo Inicial de Decaimento mede os sons iniciais da curva de decaimento.

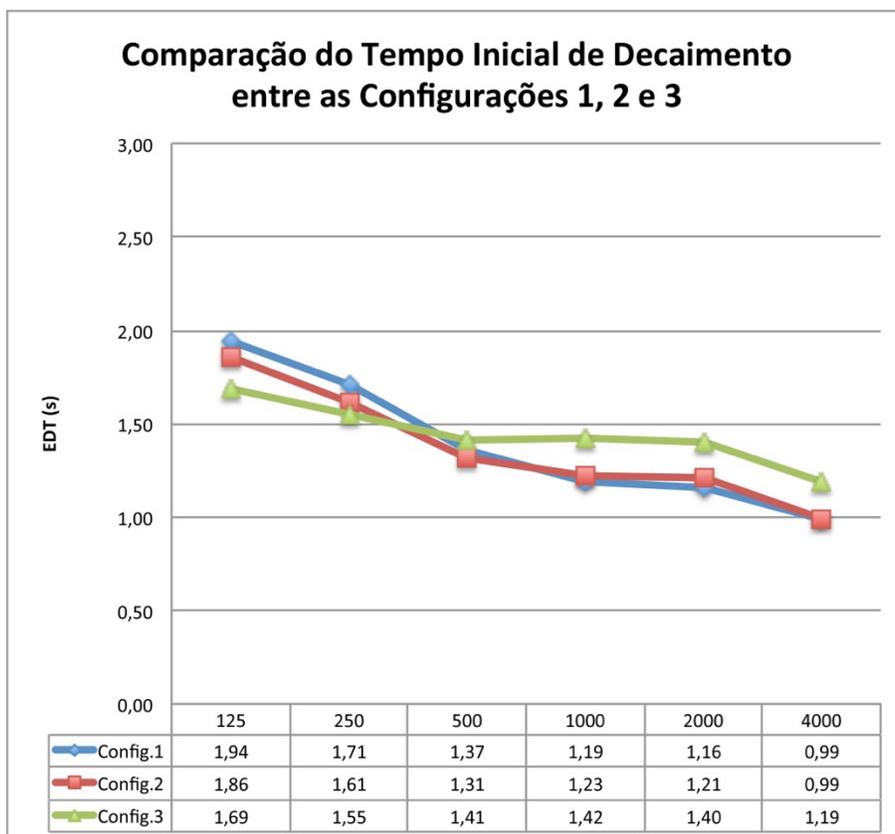


Figura 7.7: Gráfico do comparativo do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 1, 2 e 3

O Tempo Inicial de Decaimento é um dos parâmetros que pode mostrar grande variabilidade de acordo com a posição do ouvinte no teatro (BARRON, 2003). Os gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.8 mostram a variação das curvas do Tempo Inicial de Decaimento na Configuração 1 nos três setores do Teatro em relação às diferentes posições de fonte. O gráfico (a) mostra os resultados referentes à posição de Fonte 1, o gráfico (b) mostra os resultados referentes à posição de Fonte 2 e o gráfico (c) mostra os resultados referentes à posição de Fonte 3. Diferente do Tempo de Reverberação, as curvas do Tempo Inicial de Decaimento apresentam maior variação em relação aos diferentes setores do Teatro em função da posição da fonte. Percebe-se também que o mezanino apresenta o menor valor de Tempo Inicial de Decaimento em todas as 3 posições de fonte, com a maior diferença na posição de Fonte 3, quando a fonte está mais inserida dentro da caixa cênica. Isto mostra que embora a caixa cênica projete

parte da energia inicial para o teatro, o mezanino pouco se beneficia da melhor sensação de reverberância.

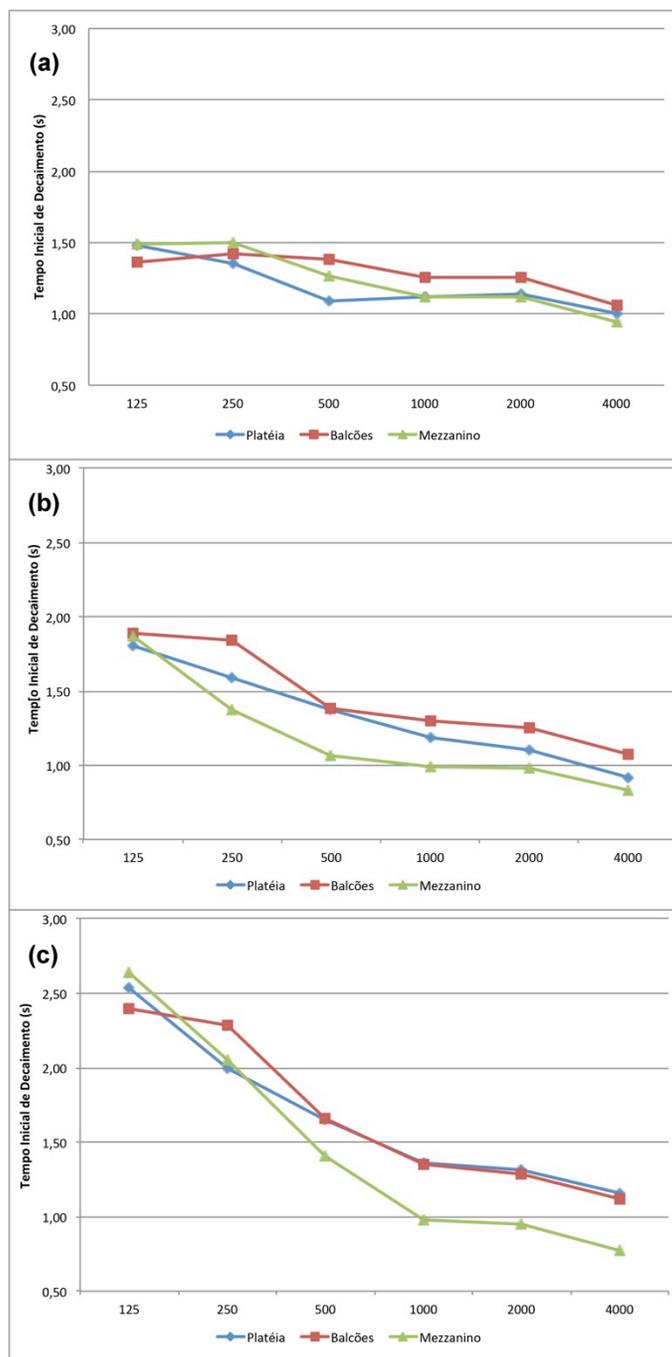


Figura 7.8: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 1

Tal fato pode ser explicado provavelmente pelo tipo de revestimento das paredes laterais e de fundo da área do mezanino, que embora possuam ripas de madeira espaçadas na tentativa de formar uma superfície difusa, possui lã mineral revestida de tecido, que absorve parte desta energia sonora.

Ao se adicionar os painéis verticais da concha na Configuração 2, obtêm-se os gráficos da Figura 7.9. Com as paredes verticais da concha de orquestra, as curvas do Tempo Inicial de Decaimento apresentam uma certa tendência a ficarem mais próximas umas das outras, se tornando mais parecidas com as curvas do tempo de reverberação. Apesar de pequena, o mezanino apresenta uma certa melhora nos valores do Tempo Inicial de Decaimento. A variação nos balcões e na plateia é bem menor, mostrando que as paredes verticais da concha exercem pouca influência na sensação de reverberância para o ouvinte.

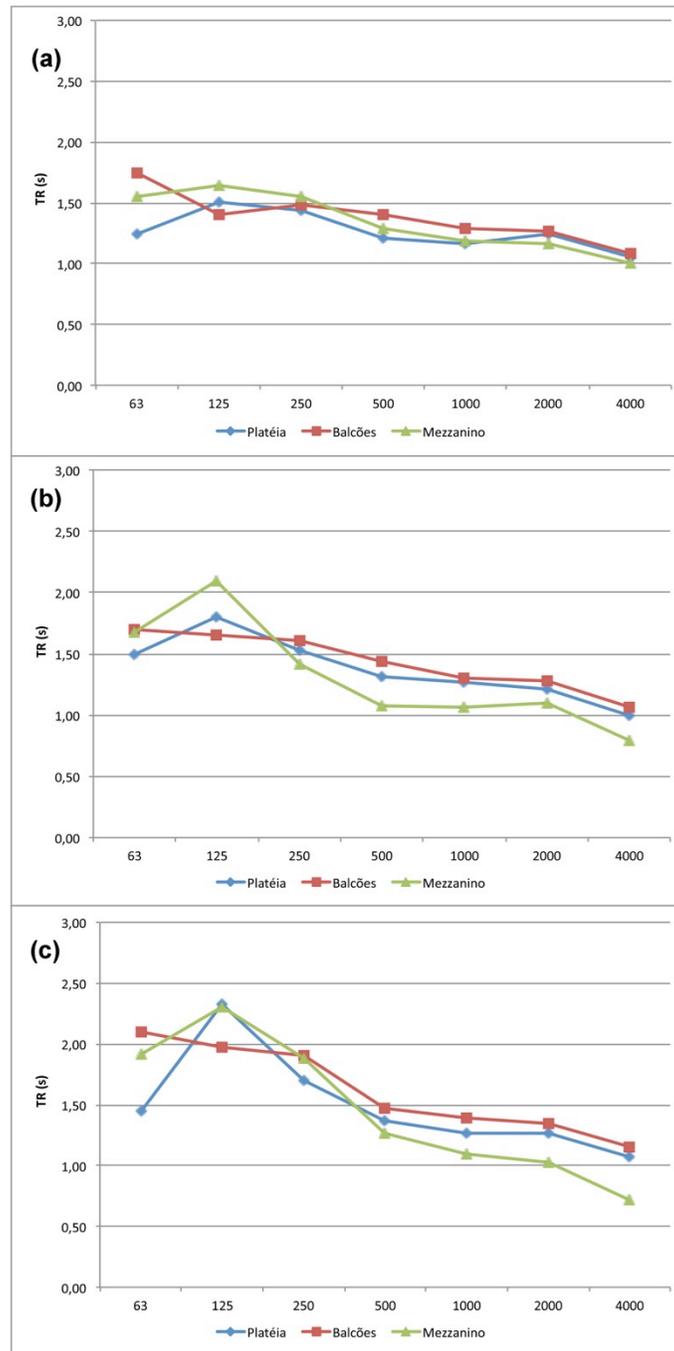


Figura 7.9: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 2

Nos gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.10 estão indicados os resultados do Tempo Inicial de Decaimento da Configuração 3. O gráfico (a) mostra os resultados referentes à posição de Fonte 1, o gráfico (b) mostra os resultados

referentes à posição de Fonte 2 e o gráfico (c) mostra os resultados referentes à posição de Fonte 3.

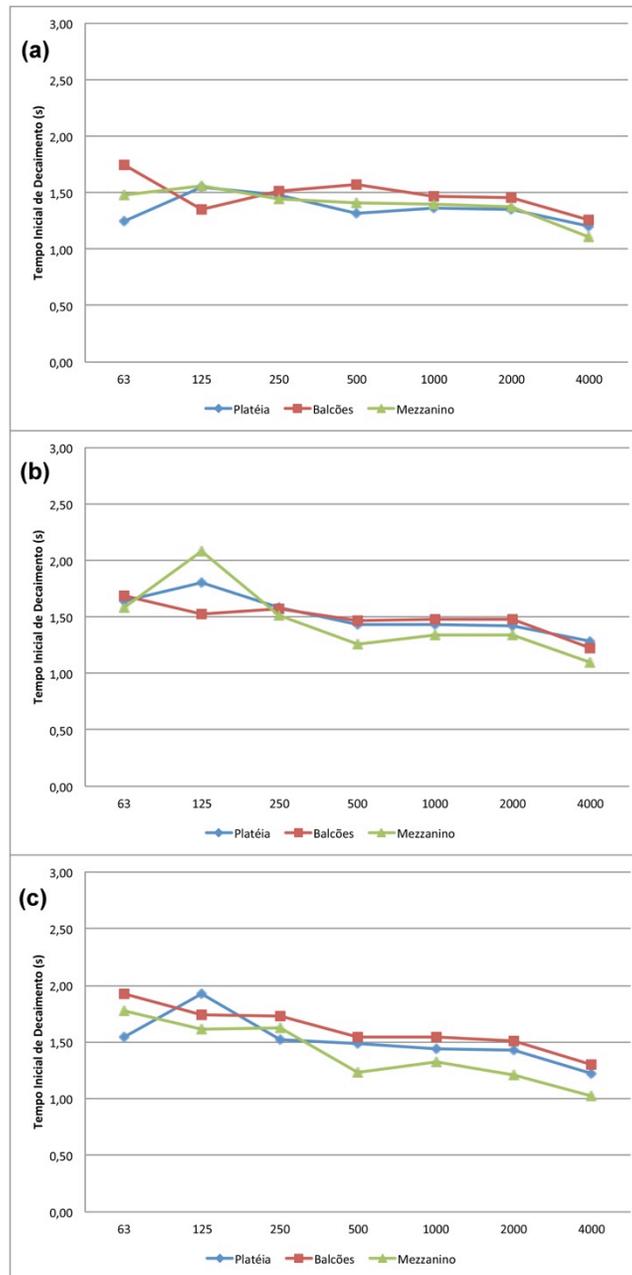


Figura 7.10: Gráficos comparativos do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do Teatro em relação às diferentes posições de Fonte na Configuração 3

Ao se adicionar o teto da concha de orquestra os valores do Tempo Inicial de Decaimento apresentam uma tendência ainda maior de serem mais próximos

um do outro nos diferentes setores do teatro, de maneira similar ao comportamento do Tempo de Reverberação. Os valores são também maiores em relação às configurações 1 e 2, mostrando que a concha de orquestra com teto pode beneficiar mais significativamente a sensação de reverberância no ouvinte. O mezanino ainda é a área que apresenta menor valor do Tempo Inicial de Decaimento, entretanto é a área que mais se beneficia com a adição do teto da concha.

O gráfico da Figura 7.11 mostra a diferença dos valores do Tempo Inicial de Decaimento entre a Configuração 1 e a Configuração 3 nos três setores do teatro. O Mezanino é a área que apresenta a maior variação dos valores do Tempo Inicial de Decaimento, de até 0,32 segundos nas faixas de médias e altas frequências. A variação nos valores de baixa frequência nos balcões não são tão relevantes uma vez que a percepção da sensação de perda em baixa frequência não está relacionada às primeiras reflexões.

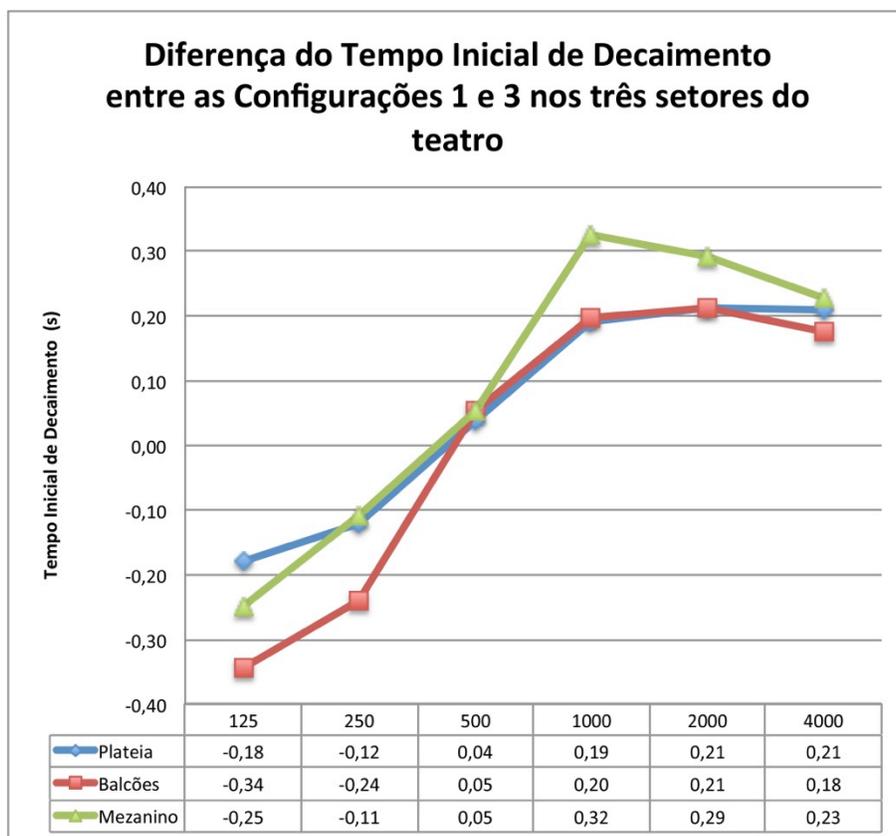


Figura 7.11: Gráfico da diferença entre as configurações 1 e 3 nos três setores do Teatro

Outra observação importante a ser considerada é a de que o mezanino apresenta uma característica peculiar que merece certa atenção. Ao se sentar em qualquer posição do mezanino, com exceção da primeira fileira de cadeiras, o espectador não consegue contato visual com a área do proscênio. O contato visual passa a ser apenas da boca de cena para dentro da caixa cênica. Desta maneira, não há contato visual com a seção das cordas representada pela Fonte 1. A falta de contato visual indica que há também problemas do ouvinte receber o som direto dos instrumentos. Nesta posição do teatro, o ouvinte recebe em sua maioria sons das primeiras reflexões das diversas superfícies como o teto e balcões laterais. Como as paredes laterais do mezanino, como mencionado anteriormente, são diferentes das áreas dos balcões e da plateia, a porção de reflexão lateral do som também é menor, pressupondo que grande parte do que se ouve provém de reflexões do teto. Com a adição do teto da concha de orquestra é possível que esta contribua com um maior número de primeiras reflexões direcionadas à área do mezanino, melhorando desta maneira os valores do parâmetro Tempo Inicial de Decaimento e conseqüentemente a sensação de reverberância. Embora não tenha sido medido nenhum parâmetro relacionado especificamente às reflexões laterais, devido à esta particularidade das paredes laterais e de fundo do mezanino que propicia um número menor de reflexões laterais é provável que mesmo com o aumento da sensação de reverberância devido à adição do teto da concha a sensação auditiva no mezanino deve ser diferente das outras áreas do teatro como a plateia e os balcões.

O gráfico da Figura 7.12 mostra a comparação entre o Tempo de Reverberação e o Tempo Inicial de Decaimento nas Configurações 1 e 3. Pode-se observar que tanto o Tempo de Reverberação quanto o Tempo Inicial de Decaimento possuem comportamento semelhante na curva de decaimento ao se adicionar a concha de orquestra no palco. Tanto na Configuração 1 como na Configuração 3, o Tempo de Reverberação é maior que o Tempo inicial de Decaimento, mostrando que a curva de decaimento sonoro da sala é similar à curva do Gráfico B da Figura 3.2 mostrada no capítulo 3. Este tipo de curva de

decaimento sonoro representa uma sala com sensação maior de Clareza e menor sensação de Reverberância.

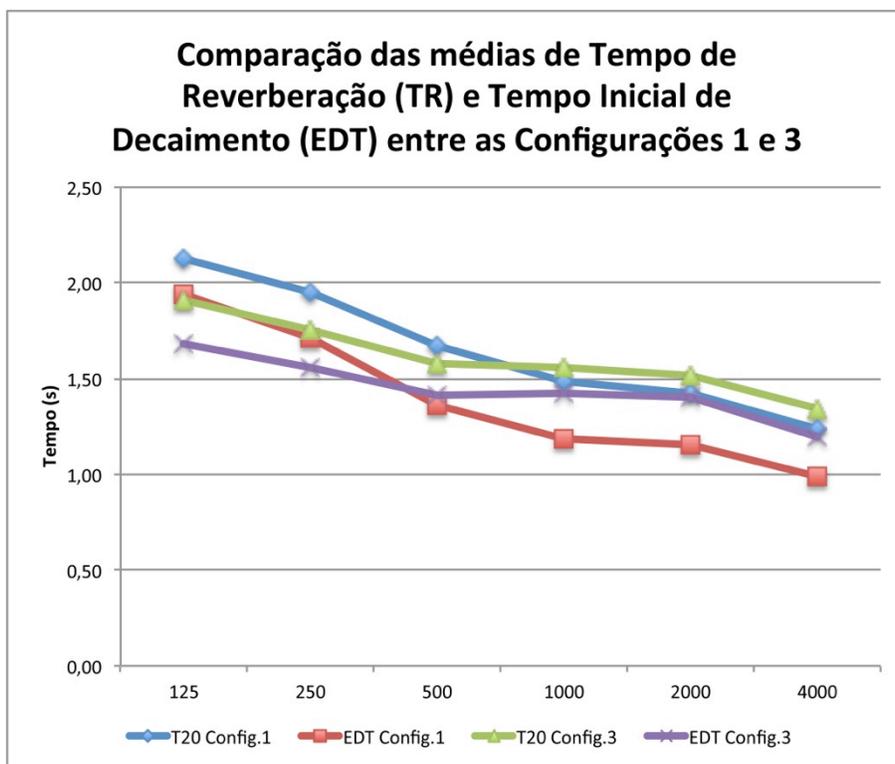


Figura 7.12: Gráfico da comparação entre o Tempo Inicial de Decaimento e o Tempo de Reverberação nas Configurações 1 e 3

A variação do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 1 e 2 na faixa de altas frequências é de 4% e na faixa de baixas frequências a variação chega até aproximadamente 14%. Entretanto a diminuição do valor do Tempo Inicial de Decaimento em baixas frequências não representa um grande problema. Schultz (1965) mostra que a sensação de “calor” causada pelas baixas frequências está relacionada com o campo reverberante e não com as reflexões iniciais. Desta forma, O Tempo de Reverberação em baixa frequência é mais importante para a sensação de calor do que o Tempo Inicial de Decaimento. A variação do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 1 e 3 na faixa de altas frequências é de aproximadamente 17% e na faixa de baixas frequências de até 10%. A norma ISO 3382-1 (2009) propõe que o valor do limite do observável (JND) seja de 5% de variação. Considerando os resultados apresentados pode-se

dizer que a adição das paredes verticais da concha de orquestra no palco pode melhorar muito pouco a sensação de Reverberância na área da plateia. Com a adição do teto da concha conforme a configuração 3, a sensação de reverberância pode ser mais perceptível na área da plateia.

### **7.2.3 Índice de Clareza – $C_{80}$**

Os resultados dos valores médios do parâmetro Índice de Clareza -  $C_{80}$  podem ser vistos no gráfico da Figura 7.13. A recomendação dos valores do Índice de Clareza de acordo com o ranking proposto por Beranek (2003) são de -4dB a +2dB. Os valores obtidos na Configuração 1 especialmente na faixa de médias e altas frequências é maior do que o recomendado, em torno de +4dB, indicando que nesta configuração, a sensação de Clareza é bastante elevada. Índices de Clareza menores beneficiam a sensação de conjunto e aumentam a sensação de reverberância. Barron (2003) sugere em sua pesquisa através de questionários aplicados em diversos grupos de ouvintes na Inglaterra que há dois grupos distintos de ouvintes, aqueles que preferem maior Clareza e os que preferem maior sensação de Reverberância. Com a adição dos painéis verticais da concha de orquestra na Configuração 2, os valores do parâmetro  $C_{80}$  diminuem em torno de 1 dB na faixa de médias e altas frequência. Ao se adicionar o teto da concha de orquestra os valores do parâmetro  $C_{80}$  apresentam uma variação maior, quase em torno de 3 dB.

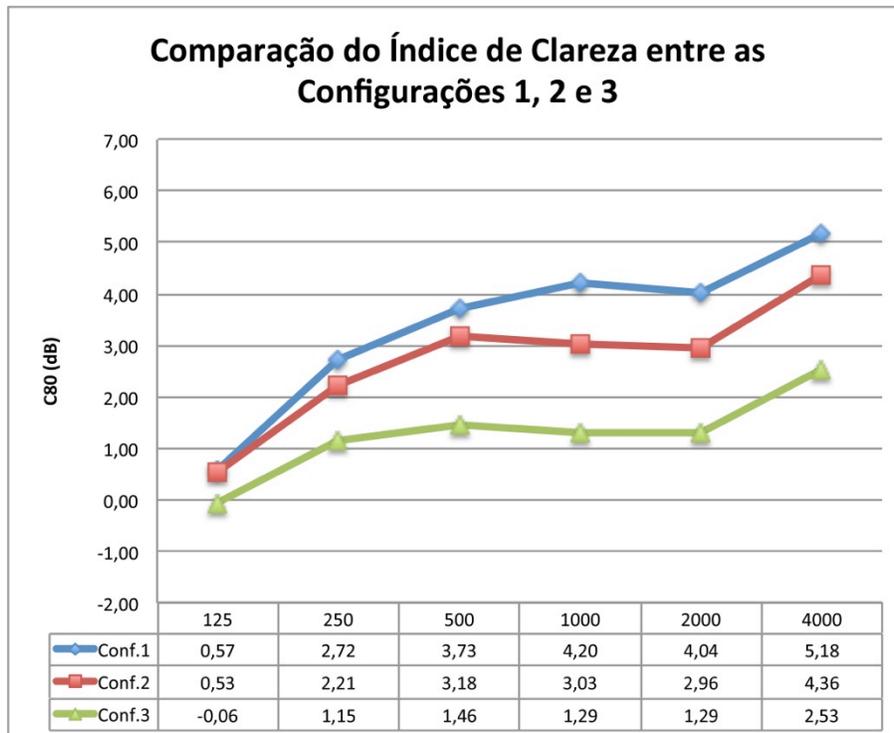


Figura 7.13: Gráfico da comparação dos valores médios do Índice de Clareza entre as Configurações 1,2 e 3

Os resultados obtidos são similares aos de Bradley (1996), em sua pesquisa com três diferentes tipos de concha de orquestra. Ao se adicionar uma concha de orquestra no palco, tem-se a impressão de que as primeiras reflexões irão aumentar, assim como o valor do Índice de Clareza, entretanto não é isso o que ocorre. Se o valor do parâmetro  $C_{80}$  diminuiu, significa que a energia reverberante aumentou. Isto mostra que, devido à forma difusa das torres verticais e do teto, o som deve refletir diversas vezes dentro da concha antes de ser projetado para a plateia. O resultado do índice de Clareza vem de encontro ao que acontece com os resultados do Tempo de Reverberação e do Tempo Inicial de Decaimento. Para que o Índice de Clareza tenha diminuído, ou a energia sonora inicial diminui ou a energia sonora final aumentou. Possivelmente as duas tenham ocorrido, eventualmente em faixas de frequência diferentes. Na faixa de altas e médias frequências, o formato policilíndrico das paredes verticais e do teto da concha formou um campo reverberante que foi projetado para a plateia, aumentando os valores do Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento e diminuindo os valores do Índice de Clareza. Caso seguisse o mesmo padrão das

faixas de alta e média frequência, os valores de Clareza em 125Hz e 250Hz deveriam ter aumentado. Entretanto, na faixa das baixas frequências, os valores do Índice de Clareza diminuíram com menor variação. A causa possível para esta pequena variação é o Efeito de Profundidade das Poltronas, *Seat Dip Effect*, que causa a perda de energia sonora inicial nas baixas frequências (BRADLEY, 1991). Para entender melhor a variação dos valores do Índice de Clareza em baixa frequência é necessário o estudo de outros parâmetros como Força Sonora (G), Força Sonora Inicial ( $G_{early}$ ) e Força Sonora Tardia ( $G_{late}$ ). Outra possível conclusão é a de que a concha de orquestra pode ter prejudicado também a projeção da energia inicial, sendo ela a responsável pela perda em energia inicial em baixa frequência. Bradley (1991) sugere que para se evitar o Efeito de Profundidade das Poltronas, a área da plateia deve ser angulada em aproximadamente 15 graus. A área da plateia no teatro possui dois ângulos de inclinação, sendo a plateia frontal com 10 graus de inclinação e a plateia do fundo com 18 graus de inclinação. Pressupõe-se então que, em baixa frequência, a concha de orquestra pode prejudicar a propagação tanto da energia inicial como a energia final para a área da plateia. A queda dos valores do Tempo Inicial de Decaimento em baixa frequência também sugere isso.

O gráfico da Figura 7.14 mostra a diferença dos valores do Índice de Clareza entre as Configurações 1 e 3 nos três setores do Teatro.

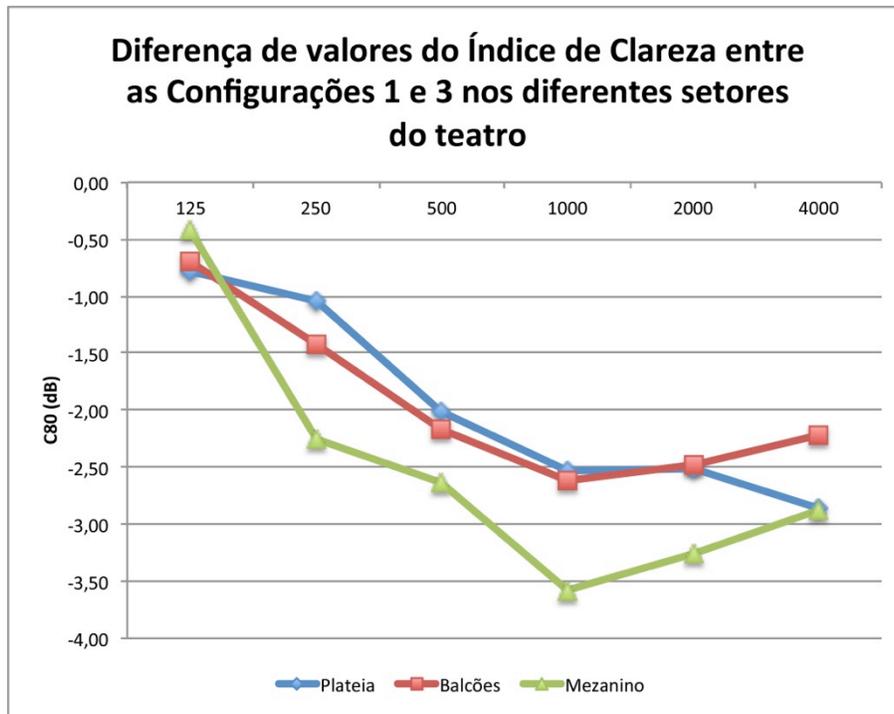


Figura 7.14: Gráfico da diferença de valores do Índice de Clareza entre as Configurações 1 e 3 nos três setores do Teatro

Assim como nos valores do Tempo Inicial de Decaimento, o mezanino é o setor que tem maior influência da concha de orquestra. A variação média do Índice de Clareza é de aproximadamente 3,5 dB em 1000Hz. As variações do parâmetro  $C_{80}$  também foram expressivas na área da plateia e dos balcões, chegando a valores de até 2,6 dB na frequência de 1000Hz. A norma ISO 3382-1 (2009) propõe o valor do limite do observável (JND) para o parâmetro  $C_{80}$  de 1 dB, entretanto, estudos recentes como o de Jasinski *et al.* (2011) e Giacomoni *et al.* (2011) indicam que este valor é bem maior, em torno de 4 dB e é dependente do Tempo de Reverberação da sala analisada. Desta maneira, a variação no valor do Índice de Clareza é expressiva.

Os parâmetros que avaliam a energia sonora são medidos em decibels, uma unidade logarítmica. Para cada dobro da energia sonora, tem-se um acréscimo de 3dB. Se o valor do parâmetro  $C_{80}$  entre as Configurações 1 e 3 caiu em aproximadamente 3,5 dB, significa que a energia sonora tardia da Configuração 3 praticamente dobrou em relação à energia sonora tardia da

Configuração 1. Isto é uma indicação que o campo reverberante aumentou, melhorando a sensação de conjunto e de reverberância na área da plateia.

### 7.3 Comparação entre a Configuração 3 e a Configuração 4

A comparação entre as configurações 3 e 4 se faz necessária para avaliar se a diferença de inclinação do teto da concha entre as duas configurações proporciona alguma alteração no desempenho acústico na área da plateia.

A seguir, apresentam-se os dados comparativos dos parâmetros Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento e Índice de Clareza entre essas configurações.

#### 7.3.1 Tempo de Reverberação

A comparação dos resultados do Tempo de Reverberação em função de frequência entre as Configurações 3 e 4 pode ser observada no gráfico da Figura 7.15.

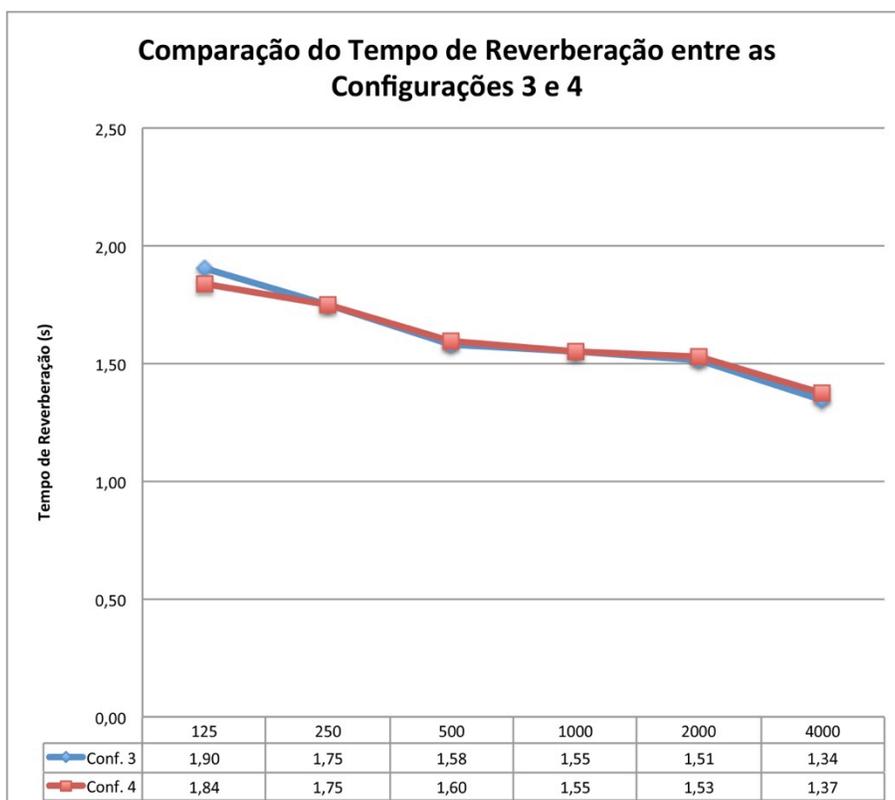


Figura 7.15: Gráfico comparativo do Tempo de Reverberação entre as Configurações 3 e 4

O Gráfico da Figura 7.15 mostra que não há diferença no tempo de reverberação na área da plateia, sendo para este parâmetro, indiferente o ângulo de inclinação do teto da concha.

Mesmo quando analisado o tempo de reverberação em função da fonte, a comparação dos resultados mostram que não há uma diferença perceptível conforme pode ser visto no gráfico da Figura 7.16.

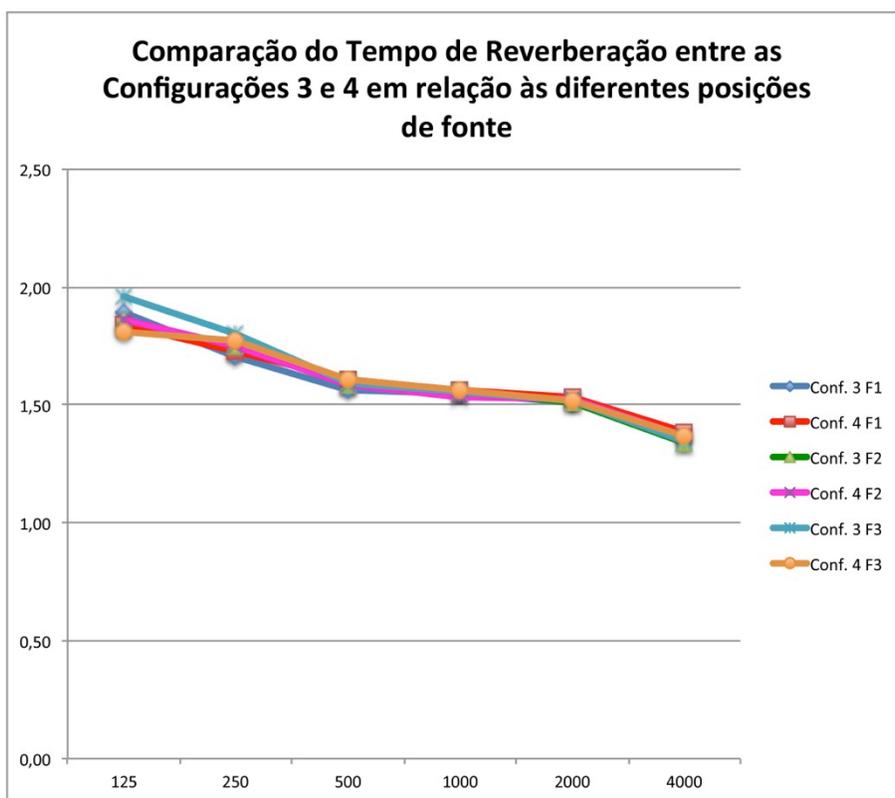


Figura 7.16: Comparação do Tempo de Reverberação entre as configurações 3 e 4 em função das diferentes posições de fonte

Para o parâmetro Tempo de Reverberação, a variação de 10 graus do ângulo de inclinação dos painéis do teto da concha mostra-se inexpressivo. Como a distância entre a altura dos painéis verticais da concha e a altura do arco do proscênio é de apenas 1m, não há a possibilidade de promover uma considerável variação de altura entre os painéis da concha, formando um ângulo que pudesse de fato projetar o som em direção à plateia como é o caso dos painéis verticais

laterais. Uma variação maior no ângulo de cada painel, acima dos 5 graus de acordo com as montagens das configurações 3 e 4, faria com que parte do som fosse projetado para as costas do painel logo à frente e no caso do primeiro painel, para a parede frontal que delimita o arco do proscênio. Desta maneira o som retornaria para dentro da caixa cênica e possivelmente perderia energia para novamente ser projetado à área da plateia.

### 7.3.2 Tempo Inicial de Decaimento - EDT

Os resultados da comparação do Tempo Inicial de Decaimento entre as configurações 3 e 4 podem ser vistos no gráfico da Figura 7.17.

Assim como no caso do parâmetro Tempo de Reverberação, o Tempo Inicial de Decaimento também não apresenta diferença considerável devido à angulação do teto da concha de orquestra.

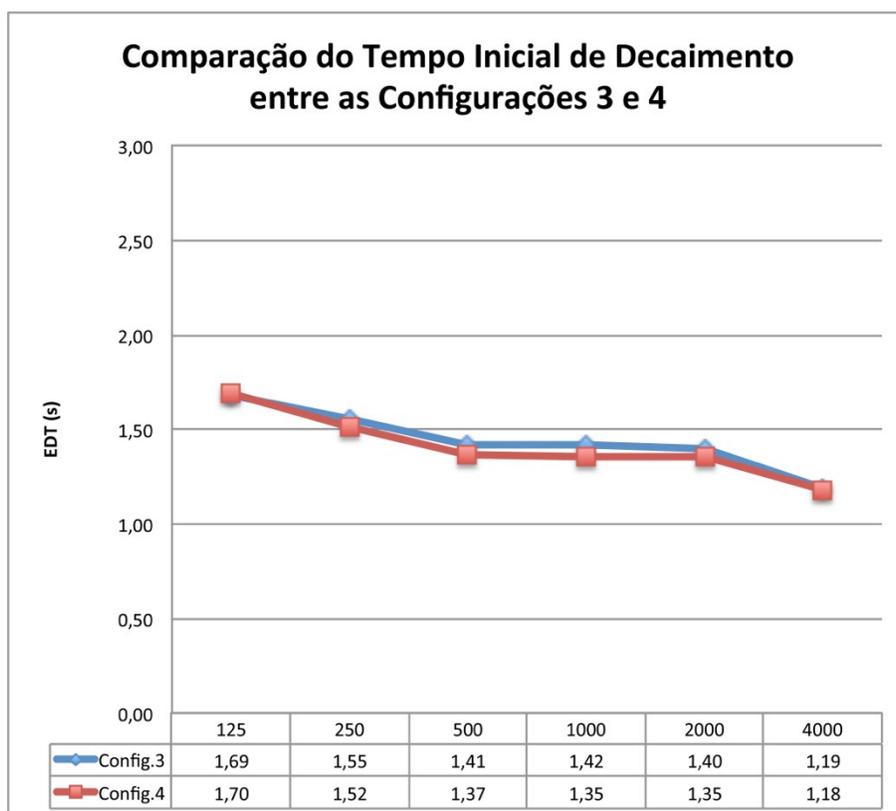


Figura 7.17: Gráfico Comparativo do Tempo Inicial de Decaimento entre as configurações 3 e 4.

Como visto anteriormente, o parâmetro Tempo Inicial de Decaimento pode sofrer alteração em função da posição do ouvinte. A Figura 7.18 mostra os gráficos da comparação das configurações 3 e 4 do Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores básicos do teatro em função da posição das fontes.

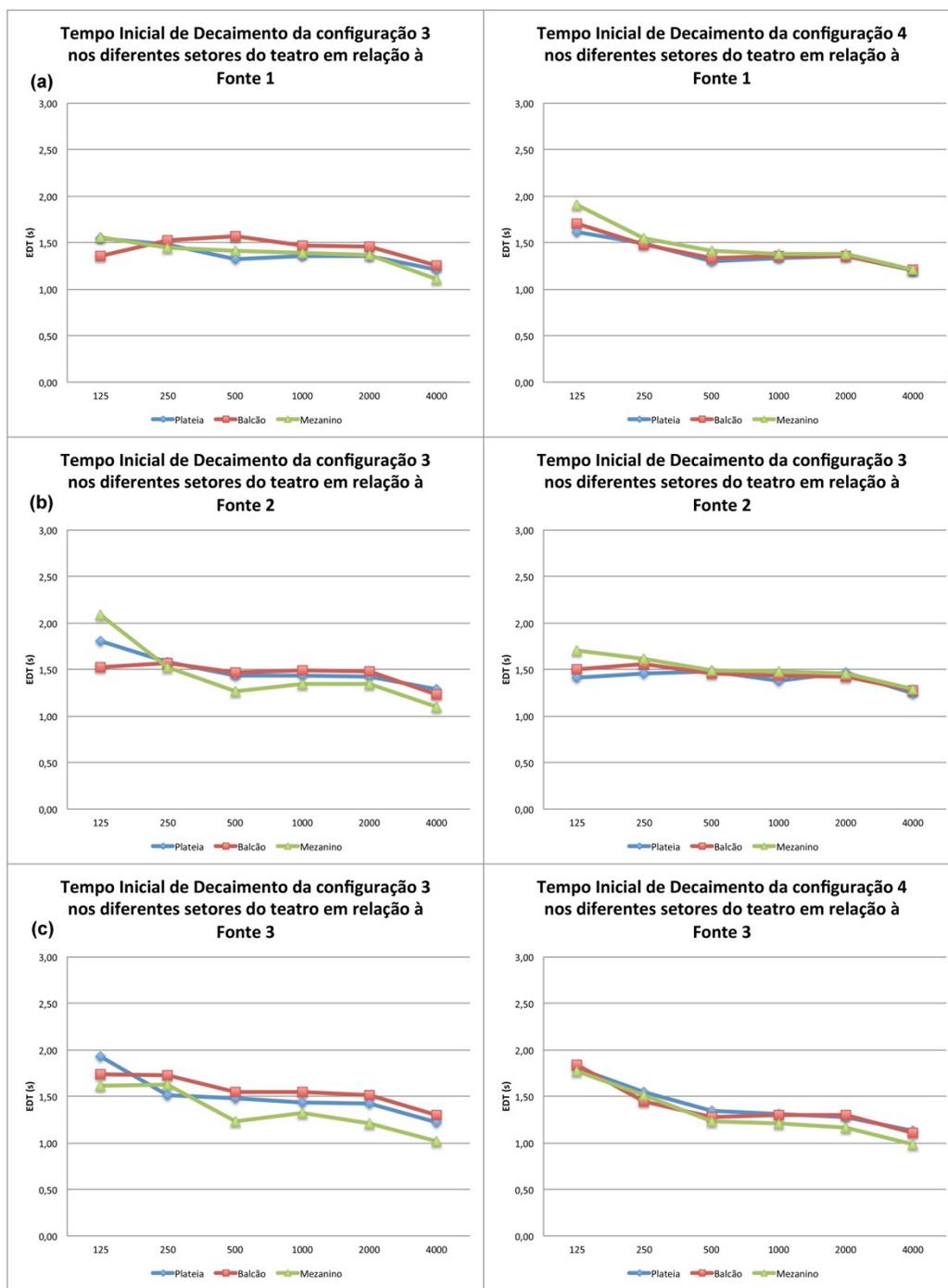


Figura 7.18: Comparação entre o Tempo Inicial de Decaimento nos 3 setores do teatro nas configurações 3 e 4

A Configuração 4 mostra que o ângulo de 5 graus do teto da concha em direção à plateia propicia uma menor variação do parâmetro EDT nos diversos setores do teatro em função das diferentes posições de fonte. Os valores também são bastante próximos aos da configuração 3 com exceção da posição da Fonte 3 como mostrado nos gráficos (c) da Figura 7.18. Nesta posição de fonte, apesar de não haver grande variação entre os setores do teatro na configuração 4, os valores do parâmetro EDT são um pouco mais baixos em médias e altas frequências, chegando a uma diferença de até 0,25s em média frequência em relação à configuração 3 nas áreas da plateia e dos balcões. A área do mezanino não apresenta uma diferença considerável. Como o parâmetro Tempo Inicial de Decaimento é um melhor descritor da sensação subjetiva de reverberância, estima-se que a escolha da configuração 3 possa trazer maior benefício para as áreas da plateia e dos balcões.

### **7.3.3 Índice de Clareza**

Os resultados da comparação dos valores médios do parâmetro Índice de Clareza -  $C_{80}$  entre as configurações 3 e 4 podem ser vistos no gráfico da Figura 7.19. A diferença de valores do parâmetro  $C_{80}$  é bastante pequena, sendo praticamente imperceptível, não havendo diferença entre as configurações 3 e 4. Como visto anteriormente, os valores do Limite do Observável – JND para o parâmetro  $C_{80}$  podem ser de até 4dB. A mudança do ângulo do teto da concha apresenta variações bem menores que 1 dB. Mesmo se fosse considerado o valor do Limite do Observável proposto pela norma ISO 3382-1 (2009) que é de 1 dB, a variação entre as configurações 3 e 4 não seriam notadas.

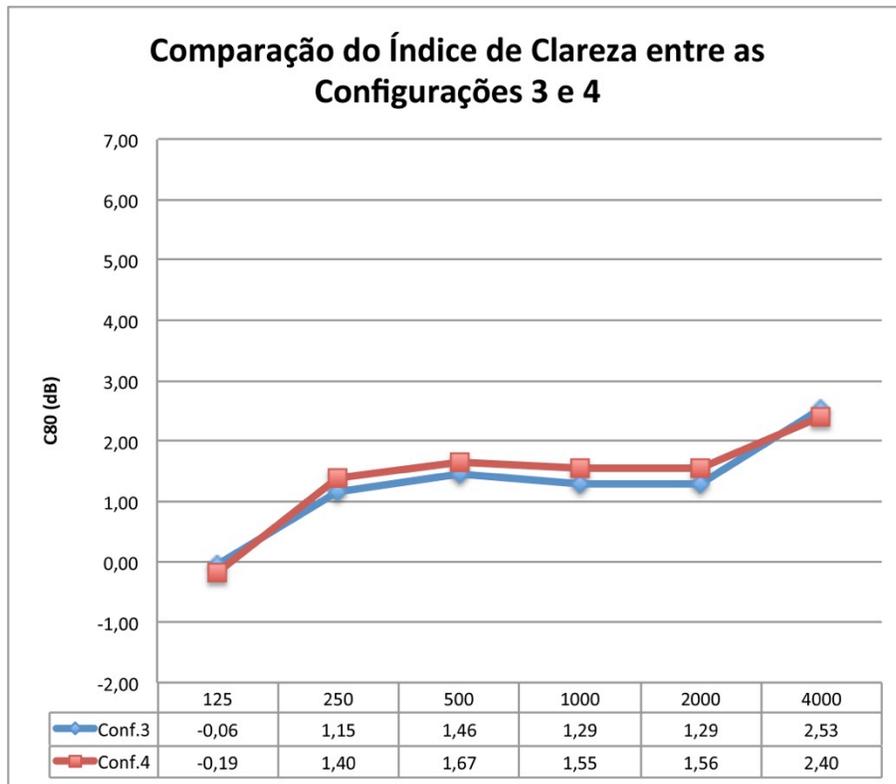


Figura 7.19: Comparação do Índice de Clareza entre as Configurações 3 e 4

A comparação dos valores do parâmetro C80 entre as configurações 3 e 4 nos 3 setores básicos do teatro pode ser vista nos gráficos (a) e (b) da Figura 7.20.

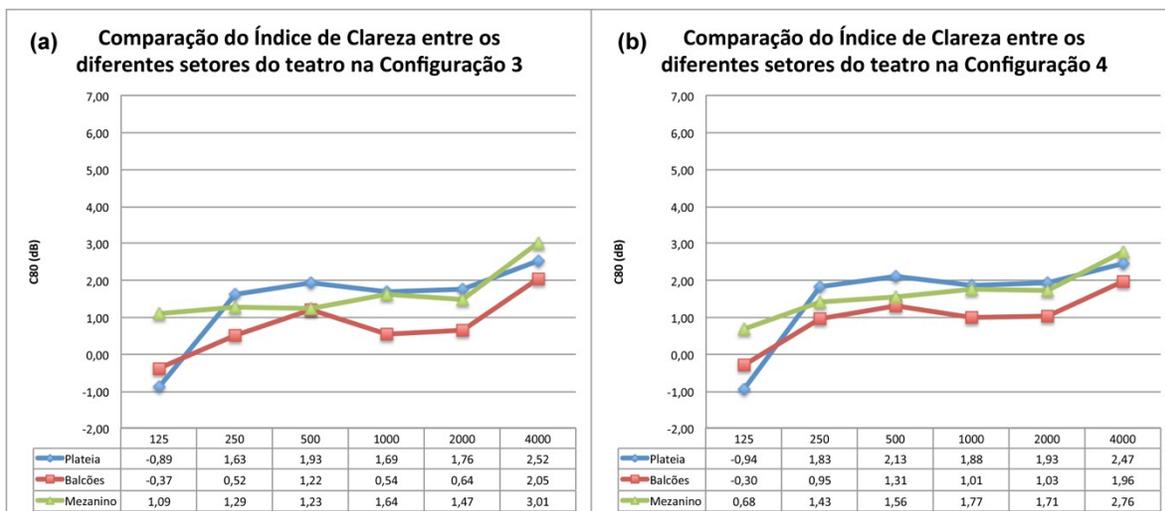


Figura 7.20: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 3 e 4 nos diferentes setores do teatro

Os gráficos da Figura 7.20 mostram as mesmas tendências de curva entre os diferentes setores nas duas configurações, não apresentando variação considerável que possa sugerir um maior benefício na escolha de uma das configurações.

## 7.4 Comparação entre as Configurações 4 e 5

A comparação entre as configurações 4 e 5 são necessárias uma vez que a configuração 5 é exatamente a montagem da configuração 4 com apenas dois terços da concha de orquestra. Foram retirados dois painéis verticais laterais no fundo da concha e o painel mais ao fundo do teto. O fundo da concha foi então movido para frente para encontrar os demais painéis verticais restantes conforme o esquema da Figura 6.21.

### 7.4.1 Tempo de Reverberação

A comparação do Tempo de Reverberação entre as configurações 4 e 5 pode ser vista no gráfico da Figura 7.21.

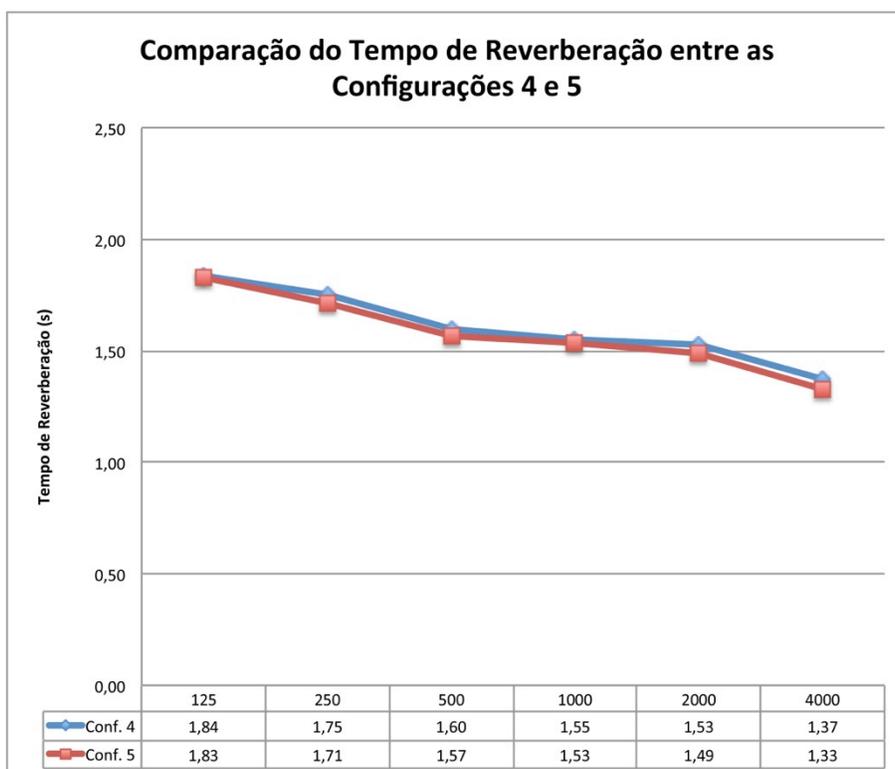


Figura 7.21: Comparação do Tempo de Reverberação entre as Configurações 4 e 5

O Tempo de Reverberação é praticamente o mesmo entre as configurações, não havendo alteração ao diminuir o tamanho da concha de orquestra.

Mesmo ao se comparar as configurações 4 e 5 em relação às diferentes posições de fonte, percebe-se que não há grande variação no Tempo de Reverberação conforme o gráfico da Figura 7.22.

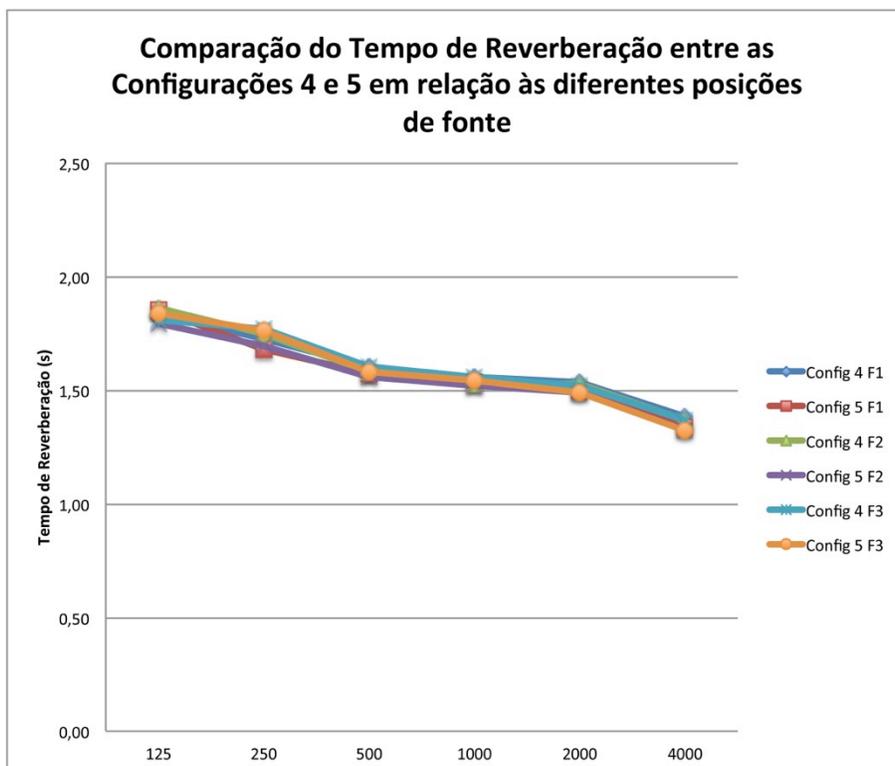


Figura 7.22: Comparação do Tempo de Reverberação entre as Configurações 4 e 5 em relação às três posições de Fonte

Mesmo com a redução do tamanho da concha de orquestra os valores do Tempo de Reverberação não se alteraram e a concha manteve a homogeneidade do parâmetro nas diferentes posições de fonte. A concha reduzida em seu tamanho se torna mais propícia para grupos orquestrais menores e até mesmo para música de câmara com pequenos grupos ou solistas e preserva o mesmo Tempo de Reverberação da configuração com a concha em seu tamanho completo.

## 7.4.2 Tempo Inicial de Decaimento

Os valores referentes à comparação entre as configurações 4 e 5 do Tempo Inicial de Decaimento podem ser vistos no gráfico da Figura 7.23.

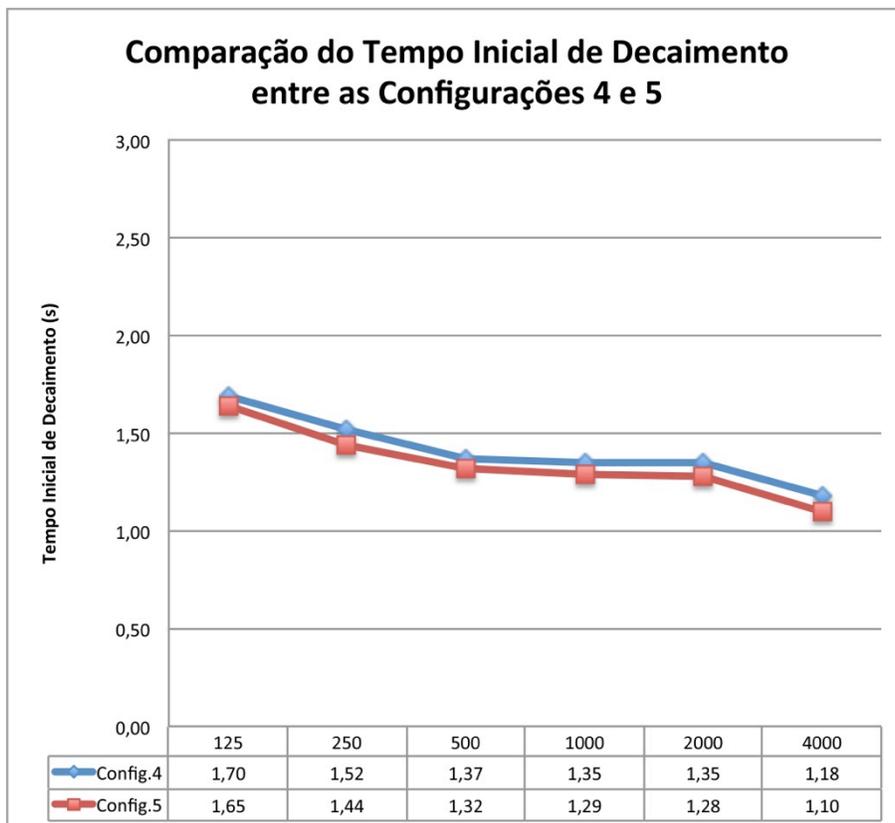


Figura 7.23: Comparação do Tempo Inicial de Decaimento entre as Configurações 4 e 5

Pode-se observar que há uma pequena variação praticamente imperceptível entre as duas configurações chegando a menos de 0,1s. Estatisticamente há pelo menos 25% de chance desta pequena variação fazer parte do desvio padrão da média dos resultados.

Conforme visto anteriormente, o Tempo Inicial de Decaimento é um parâmetro que pode sofrer variação de acordo com o local na área da plateia. Como há uma certa variação no Tempo Inicial de Decaimento entre as configurações 3 e 4, a comparação da configuração 5 pode ser feita em relação às duas anteriores para verificar o comportamento do parâmetro ao se reduzir o tamanho da concha de orquestra. Os gráficos (a), (b) e (c) da Figura 7.24 mostram

os valores do Tempo Inicial de Decaimento para as configurações 3, 4 e 5 nos três setores básicos do teatro em função da posição da fonte sonora.

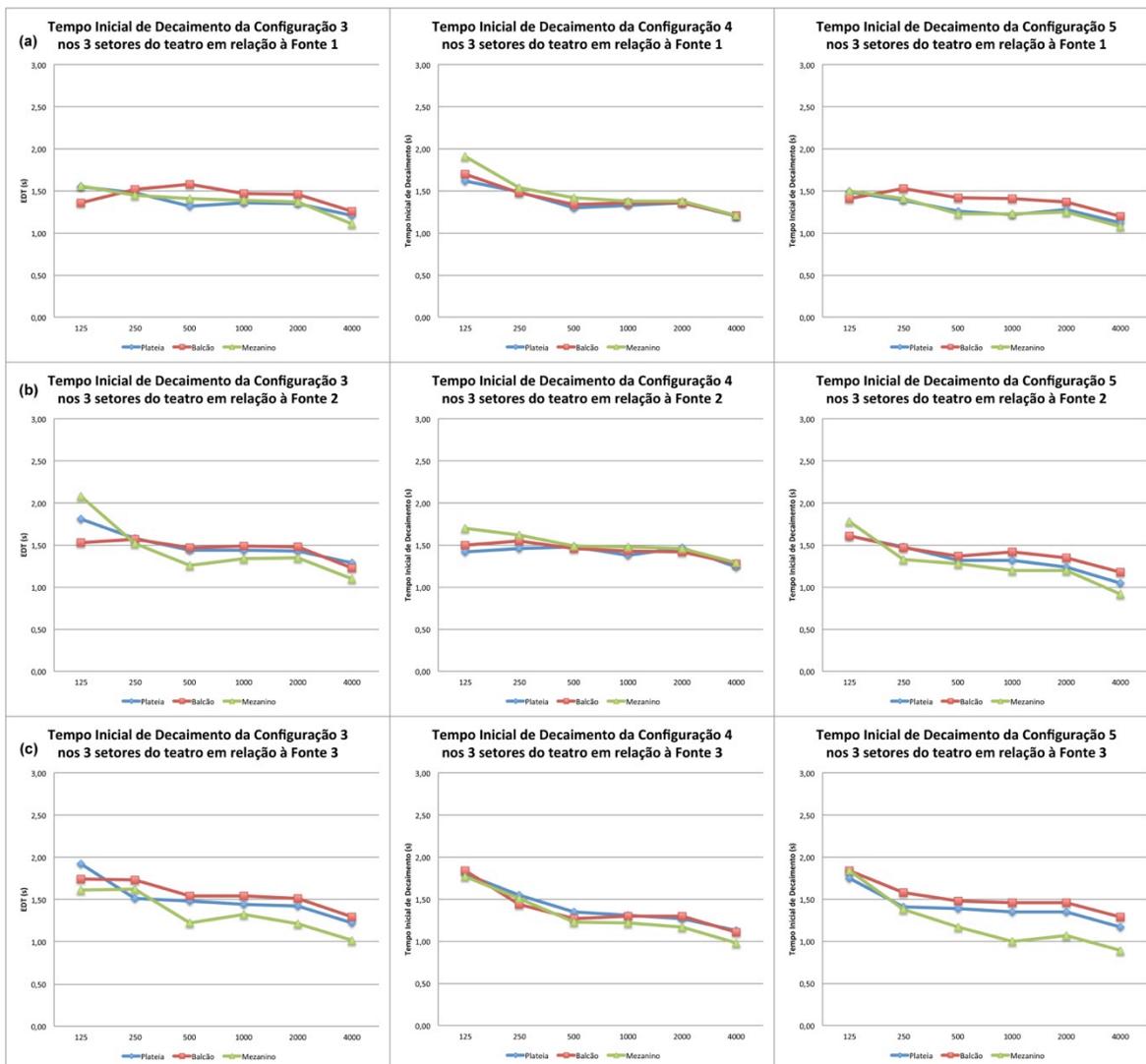


Figura 7.24: Tempo Inicial de Decaimento das Configurações 3, 4 e 5 nos diferentes setores do teatro em função da posição da fonte.

De uma maneira generalizada ao se observar os gráficos, pode-se perceber que os valores do Tempo Inicial de Decaimento da configuração 5 apresentam as mesmas tendências dos valores do Tempo Inicial de Decaimento da configuração 3. Em relação à Fonte 1, o gráfico (a) da configuração 4 apresenta valores mais homogêneos do parâmetro EDT nos diversos setores do teatro. Nas configurações 3 e 5, ainda em relação à Fonte 1, os valores do parâmetro EDT no setor dos balcões apresentam uma pequena tendência de serem superiores aos outros dois

setores do teatro. No gráfico (c), que representa os valores do parâmetro EDT nas três configurações em relação à Fonte 3, os valores dos balcões e da plateia nas configurações 3 e 5 apresentam um aumento em relação aos valores no mezanino, diferente da configuração 4 onde os valores são bastante próximos nos três setores.

A diminuição do tamanho da concha e a consequente aproximação da parede do fundo propiciam algumas reflexões iniciais que são projetadas aos balcões e à área da plateia, aumentando os valores do parâmetro EDT nestes dois setores.

### 7.4.3 Índice de Clareza

Os valores médios da comparação do Índice de Clareza entre as configurações 4 e 5 podem ser vistas no gráfico da Figura 7.25.

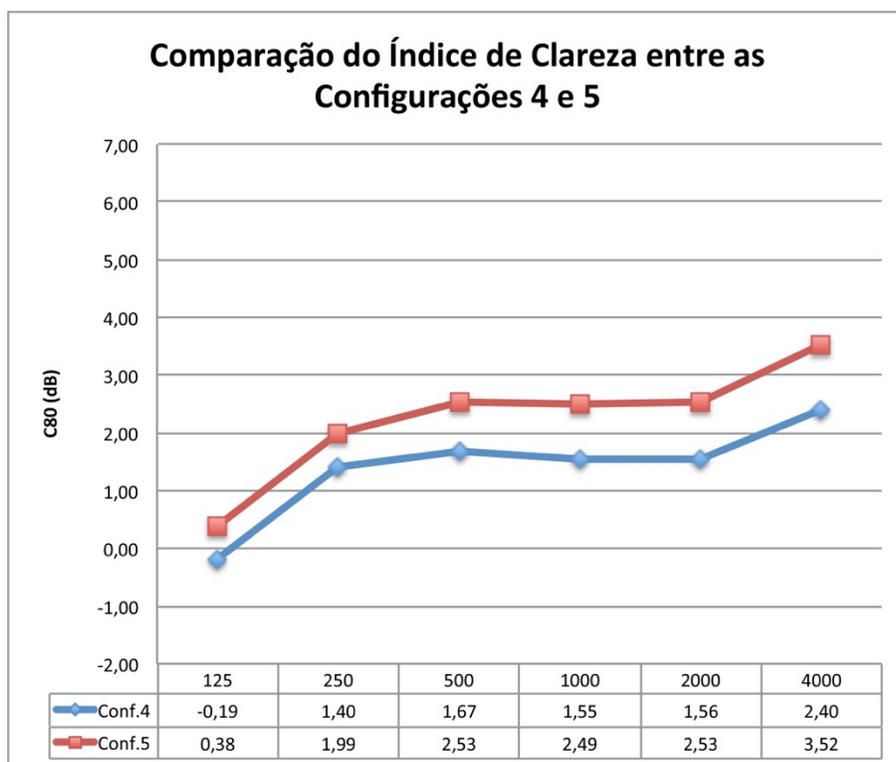


Figura 7.25: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 4 e 5

Há uma variação de aproximadamente 1dB nos valores em médias e altas frequências. A redução do tamanho da concha de orquestra propicia uma melhor

clareza, entretanto não é possível afirmar com certeza se esta variação é ou não perceptível pela plateia. Ao se analisar a variação do parâmetro C80 em função dos diversos setores do teatro, observa-se que há um aumento dos valores do Índice de Clareza de maneira homogênea nas áreas da plateia, balcões e mezanino como pode ser observado nos gráficos da Figura 7.26.

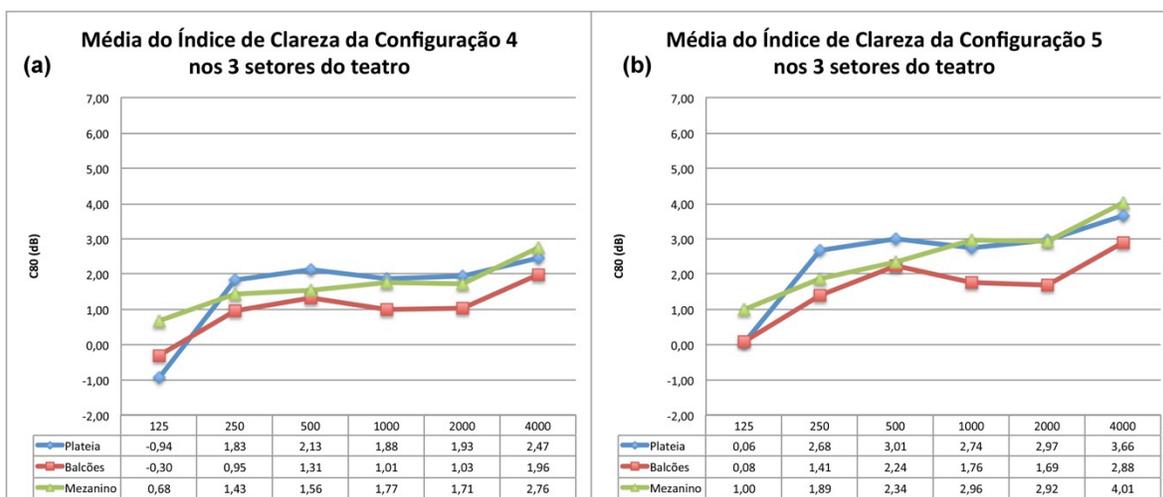


Figura 7.26: Comparação do Índice de Clareza entre as configurações 4 e 5 nos 3 setores do teatro

A tendência das curvas dos gráficos (a) e (b) da Figura 7.26 é praticamente a mesma, havendo uma variação em torno de 1 dB aumentando os valores do parâmetro C80 com a diminuição do tamanho da concha de orquestra no palco.

## 7.5 Considerações

Embora esta pesquisa não tenha contemplado a análise da influência da concha de orquestra no palco, algumas considerações se fazem necessárias.

A literatura já mostra que conchas de orquestra, sejam articuladas ou de contenção, melhoram consideravelmente o ambiente acústico no palco, aumentando o número de primeiras reflexões para os músicos, especialmente as laterais, melhorando a audibilidade do próprio instrumento e do grupo orquestral proporcionando um ambiente mais propício acusticamente para a performance

musical em grupo (BARRON; DAMMERUD, 2006; DAMMERUD, J.; BARRON; KAHLE, 2011; GADE, 1989a, b; GADE, 2011; VAN LUXEMBURG *et al.*, 2010).

Percebe-se que, em teatros com caixa cênica em particular, o uso de concha de orquestra no palco é altamente recomendado para que a performance musical do grupo orquestral possa ser melhorada. Uma vez que o ambiente no palco é melhor do ponto de vista acústico, pressupõe-se que o grupo terá condições apropriadas para uma execução musical de melhor qualidade. Independente da influência da concha de orquestra em relação à área da plateia, uma performance musical de melhor qualidade proporcionada pelo conjunto musical irá necessariamente melhorar a experiência auditiva da plateia.

Os resultados desta e de outras pesquisas (BRADLEY, 1996; FARINA *et al.*, 1995; HAN, 1988) mostram que a concha de orquestra pode melhorar de fato a percepção acústica na área da plateia mas não é isoladamente um artifício de grande variação acústica para que seja um componente único que propicie a variação acústica necessária em um teatro de múltiplo uso. Farina *et al.* (1995) propõem que a concha de orquestra pode melhorar a percepção acústica na área da plateia desde que o teatro já tenha condições acústicas que suporte a prática musical. Ou seja, a concha de orquestra sozinha não irá transformar um espaço acústico propício à fala em um espaço acústico adequado à música.



## 8 Conclusões

O Teatro Municipal de Paulínia é um teatro de múltiplo uso que utiliza uma concha de orquestra para promover a variabilidade acústica necessária quando utilizado para eventos que necessitem abrigar um grupo musical acústico como uma orquestra sinfônica. O uso da concha de orquestra normalmente é utilizado para melhorar o ambiente acústico do palco mas também pode influenciar acusticamente a área da plateia.

Por meio da comparação dos parâmetros analisados, Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento e Índice de Clareza entre as diferentes configurações de palco, com e sem concha de orquestra, é possível dizer que a adição da concha de orquestra no palco pode modificar a percepção acústica na área da plateia e que o teto da concha tem importância decisiva na melhoria das sensações subjetivas de reverberância e conjunto.

O aumento dos valores do Tempo de Reverberação e Tempo Inicial de Decaimento na faixa de altas frequências pode melhorar a sensação de reverberância na área da plateia, e juntamente com a diminuição dos valores do Índice de Clareza na mesma faixa de frequência, a sensação de conjunto deve melhorar. O teto da concha de orquestra propicia uma área maior de reflexão difusa, devido ao seu formato convexo, e contribui substancialmente para o aumento dos valores do Tempo de Reverberação e Tempo Inicial de Decaimento encontrados. A área que tem maior benefício da concha de orquestra é o mezanino, apresentando maior variação nos valores do Tempo Inicial de Decaimento e Índice de Clareza.

A variação na angulação do teto da concha não traz grandes variações nos valores dos parâmetros e portanto não é possível afirmar que traga algum benefício perceptível à área da plateia. Se a altura dos painéis verticais fosse menor, ou a altura do arco do proscênio fosse maior, seria possível uma montagem diferenciada na altura e angulação dos painéis do teto da concha

formando um ângulo que pudesse projetar de maneira mais eficaz o som para plateia e desta maneira talvez propiciar uma maior variação nos valores dos parâmetros estudados.

A diminuição para dois terços do tamanho da concha de orquestra praticamente não trouxe uma grande variação acústica na área da plateia. Os valores do Tempo de Reverberação foram praticamente os mesmos, houve um pequeno aumento nos valores do Tempo Inicial de Decaimento nas áreas dos balcões e da plateia e um aumento pequeno nos valores do parâmetro  $C_{80}$  melhorando a sensação de clareza.

A concha de orquestra no palco também causou a diminuição do Tempo de Reverberação em baixa frequência, e portanto, propicia a sensação de perda em baixa frequência, diminuindo a sensação subjetiva de “Calor”.

Devido à densidade superficial do material utilizado na construção da concha, ela pode ser considerada uma concha articulada de acordo com a classificação proposta por Jaffe (1974). Uma das características das conchas articuladas é a de deixar espaços abertos para que o som produzido no palco possa reverberar na caixa cênica e, se os espaços da caixa cênica e da plateia forem acusticamente acoplados, o som pode ser projetado da caixa cênica para a plateia, especialmente na faixa de baixas frequências. Embora os espaços abertos da montagem da concha estudada seja maior do que os recomendados pela literatura, a concha de orquestra não permitiu o bom acoplamento dos espaços da caixa cênica e da plateia na faixa de baixas frequências.

Desta maneira, novas configurações podem ser propostas na montagem da concha visando uma maior área de aberturas laterais com o objetivo de melhorar o acoplamento em baixa frequência entre os espaços da caixa cênica e da plateia.

Em função da análise dos efeitos da influência da concha de orquestra na área da plateia e dos tipos de espetáculos que devem utilizar a concha de orquestra pode-se sugerir determinadas configurações em função do tipo de espetáculo apresentado. Para espetáculos como os dos concertos internacionais com orquestras sinfônicas com ou sem solistas a configuração mais adequada independente do repertório apresentado é a configuração 3 ou a configuração 4

utilizando a montagem normalmente proposta onde as cordas são montadas na área do proscênio.

Para grupos menores como orquestras de câmara, instrumentos solos, duos, trios, quartetos e quintetos, a montagem mais adequada seria a da configuração 5. Entretanto, seria recomendado, tanto no caso de grupos de câmara como grandes orquestras, que o grupo musical se posicionasse da linha da boca de cena para dentro da caixa cênica, não utilizando o proscênio. Embora pequena a diferença, há uma certa melhora no Tempo Inicial de Decaimento nas posições 2 e 3 da fonte, que traria benefícios na sensação de reverberância, sem contar que a área do mezanino teria melhor visibilidade do grupo e conseqüentemente influência do som direto. Caso na montagem fossem deixados determinados espaços mais abertos entre os painéis laterais há a possibilidade de um melhor acoplamento em baixa frequência.

Outra possibilidade que implicaria em uma reforma da concha, seria a de diminuir a altura dos painéis laterais em por exemplo 2m. Desta maneira, a área que propiciaria reflexões laterais ainda seria grande e o espaço entre o final da concha e a altura da boca de cena aumentaria em 2m. Isso tornaria possível uma variação maior na altura e angulação dos painéis do teto da concha e aumentaria a área de acoplamento lateral entre a caixa cênica e o espaço acústico da concha de orquestra. Possivelmente o acoplamento em baixa frequência poderia ser maior melhorando a sensação de calor na área da plateia.

Do ponto de vista do repertório executado até o momento no teatro, as configurações recomendadas são pertinentes uma vez que tanto o repertório romântico como o contemporâneo se beneficiariam de um aumento na sensação de reverberância na área da plateia uma vez que o teatro apresenta valores do Tempo de Reverberação e Tempo Inicial de Decaimento abaixo dos valores recomendados para salas de concerto.

Apesar de não ter sido estudado na configuração de ópera, com o proscênio rebaixado formando um fosso de orquestra e com a fonte sonora inserida nele, o teatro apresenta fortes indícios de que é um ambiente bastante propício para a produção deste tipo de espetáculo.

Os resultados mostraram também que, a curva de decaimento do teatro, devido aos espaços acoplados da caixa cênica com a área da plateia, é um tipo de curva que propicia maior clareza. Mesmo com a concha de orquestra montada em sua maior configuração, a diferença acústica na plateia pode ser notada mas é pequena. Portanto a concha de orquestra não pode ser considerada como um artifício único para promover a variação acústica necessária em teatros de múltiplo uso para a prática musical.

Se subjetivamente esta pequena variação trazida pela concha de orquestra é ou não considerável para a percepção acústica da plateia ainda é motivo de estudos. A percepção musical é aprendida e ela depende das referencias que o indivíduo teve ao longo de sua experiência. Um ouvinte que teve a oportunidade de vivenciar a prática musical em diversas salas de concerto ao redor do mundo terá uma percepção diferente daquele indivíduo que apenas teve a chance de apreciar um grupo musical em uma ou duas salas diferentes. Quanto maiores as referencias, maiores as possibilidades de comparações. O Brasil, por exemplo, possui apenas uma sala de concertos nos moldes europeus, a Sala São Paulo. Grande parte dos teatros brasileiros são salas de ópera do final do século XIX ou teatros construídos no século XX como salas de múltiplo uso sem variabilidade acústica, privilegiando normalmente a fala. Estas salas, de maneira geral, possuem maior clareza. Não é de se estranhar portanto que haja uma preferencia por salas com maior clareza pelo público em geral no Brasil, uma vez que as pessoas em sua maioria, aprenderam a ouvir música orquestral em salas deste tipo. Portanto, parâmetros propostos pela literatura, talvez não sejam totalmente adequados para a realidade brasileira, abrindo mais um campo de pesquisas neste assunto.

Desta maneira, este estudo despertou a necessidade de futuras pesquisas na área como o desempenho acústico do teatro especificamente voltado à ópera, com posições de fonte localizadas no fosso de orquestra. A pesquisa de novas formações e montagens da concha de orquestra também é recomendada com a finalidade de entender melhor e tentar solucionar o problema do acoplamento de baixa frequência causado pela montagem da concha de orquestra. Há também a

necessidade de pesquisas relacionadas ao limite do observável (JND) para que se possa ter maiores subsídios na avaliação acústica subjetiva baseada na análise objetiva de parâmetros medidos.



## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10152 - 2000 - Nível de Ruído para Conforto Acústico*.

BARRON, M. *Auditorium Acoustics*. 2. ed. [S.l.]: Spon Press, 2003.

BARRON, M. Balcony overhangs in concert auditoria. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 98, n. 5, p. 2580–2589, 1995a.

BARRON, M. Bass sound in concert auditoria. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 97, n. 2, p. 1088–1098, 1995b.

BARRON, M. Late lateral energy fractions and the envelopment question in concert halls. *Applied Acoustics*, v. 62, n. 2, p. 185–202, fev. 2001.

BARRON, M. Measured Early Lateral Energy Fractions In Concert Halls And Opera Houses. *Journal of Sound and Vibration*, v. 232, n. 1, p. 79–100, 20 abr. 2000.

BARRON, M.; DAMMERUD, J. J. Stage Acoustics in Concert Halls - Early Investigations. In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUDITORIUM ACOUSTICS 2006, 2006, Copenhagen, Denmark. *Anais...* Copenhagen, Denmark: [s.n.], 2006.

BERANEK, L. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. 2nd. ed. [S.l.]: Springer, 2003.

BERANEK, L. The sound strength parameter G and its importance in evaluating and planning the acoustics of halls for music. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 129, n. 5, p. 3020, 2011.

BERNTSON, A.; ANDERSSON, J. Investigations Of Stage Acoustics For A Symphony Orchestra. 2007, Seville. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROOM ACOUSTICS, 2007, Seville. *Anais...* Seville: [s.n.], 2007.

BISTAFÁ, S. R. *Acústica arquitetônica: qualidade sonora em salas de audição crítica. Descrição detalhada*. Brasília: CNPq, 2005. Disponível em: <[www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSARQ-CNPq.pdf](http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSARQ-CNPq.pdf)>

BRADLEY, D. T.; WANG, L. M. The effects of simple coupled volume geometry on the objective and subjective results from nonexponential decay. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 118, n. 3, p. 1480–1490, 2005.

BRADLEY, J. Using ISO 3382 measures, and their extensions, to evaluate acoustical conditions in concert halls. *Acoust Sci Technol*, v. 26, n. 2, p. 170–178, 2005.

BRADLEY, J. S. Some effects of orchestra shells. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 100, n. 2, p. 889, 1996.

BRADLEY, J. S. Some further investigations of the seat dip effect. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 90, n. 1, p. 324, 1991.

BRADLEY, J.S. Review of objective room acoustics measures and future needs. *Applied Acoustics*, v. 72, n. 10, p. 713–720, out. 2011.

BRADLEY, JOHN S.; SOULODRE, G. A. The influence of late arriving energy on spatial impression. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 97, n. 4, p. 2263–2271, 1995.

COX, T. J.; D'ANTONIO, P. *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*. 2. ed. [S.I.]: Taylor & Francis, 2009.

CRUNELLE, M. Acoustic History Revisited. 1993, Banff, Canada. In: THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTIC ECOLOGY, 1993, Banff, Canada. *Anais...* Banff, Canada: [s.n.], 1993.

D'ANTONIO, P.; COX, T. J. Diffusor application in rooms. *Applied Acoustics*, v. 60, n. 2, p. 113–142, 1 jun. 2000.

DAMMERUD, J.; BARRON, M.; KAHLE, E. Objective Assessment of Acoustic Conditions for Symphony Orchestras. *Building Acoustics*, v. 18, n. 3, p. 207–219, 1 dez. 2011.

DAMMERUD, JENS J.; BARRON, M.; KAHLE, E. *Objective assessment of acoustic conditions on concert hall stages – limitations and new strategies*. Disponível em: <<http://opus.bath.ac.uk/20341/>>. Ago. 2010

DAMMERUD, JENS JORGEN. *Stage Acoustics for Symphony Orchestras in Concert Halls*. Disponível em: <<http://opus.bath.ac.uk/20339/>>. Set. 2009

DART, T. *Interpretação da música*. [S.I.]: MARTINS EDITORA, 1990.

EGAN, M. D. *Architectural Acoustics*. [S.I.]: J. Ross Publishing, 2007.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. *Master Handbook of Acoustics*. 5. ed. [S.I.]: McGraw-Hill/TAB Electronics, 2009.

FARINA, A.; FAUSTI, P.; POMPOLI, R. The Acoustical Shell of the “Nouvo Teatro Comunale” In: PROCEEDINGS OF THE 15TH INTERNATIONAL CONGRESS ON

ACOUSTICS 1995, Trondheim, Norway. *Anais...* Trondheim, Norway: [s.n.], 26 jun. 1995.

GADE, A.C. Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. II. Field experiments and synthesis of results. *Acustica*, v. 69, n. 6, p. 249–262, 1989a.

GADE, A.C. Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I. Methods and laboratory experiments. *Acustica*, v. 69, n. 5, p. 193–203, 1989b.

GADE, ANDERS CHRISTIAN. Acoustics for Symphony Orchestras; Status After Three Decades of Experimental Research. *Building Acoustics*, v. 18, n. 3, p. 181–206, 1 dez. 2011.

GIACOMONI, C. *et al.* *Final Report: Just Noticeable Difference of Clarity Index (C80), Phase 2.*, n° EAC-2011-26. [S.I.]: University of Hartford Acoustics, 30 jun. 2011.

HAAN, C.; FRICKE, F. R. An evaluation of the importance of surface diffusivity in concert halls. *Applied Acoustics*, v. 51, n. 1, p. 53–69, maio 1997.

HAN, J. Stage sound-reflectors in Hangzhou Theatre. *Applied Acoustics*, v. 24, n. 3, p. 233–241, 1988.

IAZZETTA, F. H.; FIGUEIREDO, F. L.; MASIERO, B. S. Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical. In: IV CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 2004, Guimarães, Portugal. *Anais...* Guimarães, Portugal: [s.n.], 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 3382-1: Acoustic Measurement of room acoustic parameter Part1: Performance Spaces.*

IZENOUR, P. G. C. *Theater Design: Second Edition.* 2 Sub ed. [S.I.]: Yale University Press, 1997.

JAFFE, C. Design Considerations for a Demountable Concert Enclosure (Symphonic Shell) (Reprint). *J. Audio Eng. Soc.*, v. 22, n. 3, p. 163–170, 1974.

JASINSKI, C. M. *et al.* Investigations of the just-noticeable-difference of clarity index (C80). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 130, n. 4, p. 2429–2429, 2011.

JOHNSON, F. R. Orchestra Enclosure for the Tanglewood Music Shed. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 31, n. 11, p. 1587, 1959.

KAHLE, E.; JULLIEN, J.-P. Some New Considerations on the Subjective Impression of Reverberance and its Correlation With Objective Criteria. In: ASA CONFERENCE 1994, Cambridge. *Anais...* Cambridge: [s.n.], maio 1994.

KAHLE, E.; KATZ, B. F. G. Design of a new stage shell for the Stadthaus in Winterthur, Switzerland. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 115, n. 5, p. 2477–2477, 2004.

KIM, J. H. *et al.* The effect of reflectors on Sound strength (G) and IACC in a fan-shape hall. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROOM ACOUSTICS, ISRA 2010, Melbourne, Australia. *Anais...* Melbourne, Australia: [S.I: s.n.], 2010.

LINDSAY, R. B. The Story of Acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 39, n. 4, p. 629, 1966.

LONG, M. *Architectural Acoustics*. 1. ed. [S.I.]: Academic Press, 2006.

LUYKX, M.; METKEMEIJER, R.; VERCAMMEN, M. Variable acoustics of theatre De Spiegel in Zwolle (NL). In: ISRA - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROOM ACOUSTICS 2007, Sevilla. *Anais...* Sevilla: [s.n.], 2007.

MARSHALL, A. H.; GOTTLOB, D.; ALRUTZ, H. Acoustical conditions preferred for ensemble. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 64, n. 5, p. 1437–1442, 1978.

MARSHALL, A. H.; MEYER, J. The Directivity and Auditory Impressions of Singers. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 58, n. 3, p. 130–140, 1985.

MASSIN, B.; MASSIN, J. *História da música ocidental*. [S.I.]: Nova Fronteira, 1997.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. *Architectural Acoustics: Principles and Design*. 1st. ed. [S.I.]: Prentice Hall, 1998.

MENG, Z.; ZHAO, F.; HE, M. The Just Noticeable Difference of Noise Length and Reverberation Perception. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES, 2006. ISCIT '06, 18 out. 2006, [S.I.]: IEEE, 18 out. 2006. p. 418–421.

MÖLLER, H. *et al.* Designing Halls with variable acoustics. In: JOINT BALTIC-NORDIC ACOUSTICS MEETING 2008, Reykjavik, Iceland. *Anais...* Reykjavik, Iceland: [s.n.], 2008.

ORLOWSKI, R. Multi-purpose halls and variable acoustics. 2002, Sevilla. *Anais...* Sevilla: [s.n.], 2002.

PASSERI JR., L. *Subsídios para o Projeto de Teatros e Auditórios Multifuncionais: Recursos de Variabilidade Acústica*. 2008. USP, 2008.

POMPOLI, R.; PRODI, N. Guidelines For Acoustical Measurements Inside Historical Opera Houses: Procedures And Validation. *Journal of Sound and Vibration*, v. 232, n. 1, p. 281–301, 20 abr. 2000.

RIBEIRO, M. R. Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study. *Centro de Estudos do Departamento de Engenharia*, 2002.

RINDEL, J. H. Design of new ceiling reflectors for improved ensemble in a concert hall. *Applied Acoustics*, v. 34, n. 1, p. 7–17, 1991.

SCHENCK, H. *Theories Of Engineering Experimentation*. [S.l.]: Taylor & Francis, 1979.

SCHROEDER, M. R. *et al.* Acoustical Measurements in Philharmonic Hall (New York). *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 40, n. 2, p. 434–440, 1966.

SCHULTZ, T. J. Acoustics of the concert hall. *IEEE Spectrum*, v. 2, n. 6, p. 56–67, jun. 1965.

SCHULTZ, THEODORE J.; WATTERS, B. G. Propagation of Sound across Audience Seating. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 36, n. 5, p. 885–896, 1964.

SKALEVIK, M. Orchestra Canopy Arrays - Some significant features. In: JOINT BALTIC-NORDIC ACOUSTICS MEETING 2006, Gothenburg, Sweden. *Anais...* Gothenburg, Sweden: [s.n.], 2006.

VAN DEN BRAAK, E. *et al.* Influence of stage risers on stage acoustics. In: FORUM ACUSTICUM 2005, Budapest. *Anais...* Budapest: [s.n.], 2005.

VAN DEN BRAAK, E. W. M.; VAN LUXEMBURG, L. C. J. New (stage) parameter for conductor's acoustics? In: PROCEEDINGS OF THE 155TH ASA CONFERENCE 2008, Paris. *Anais...* Paris: [s.n.], 2008.

VAN LUXEMBURG, L. C. J. *et al.* Stage acoustics, Further development of parameter LQ\_7-40. In: INTERNOISE 2010, 13 jun. 2010, Lisbon, Portugal. *Anais...* Lisbon, Portugal: [s.n.], 13 jun. 2010.



**Apêndice A – Lista de Compositores, Período e  
Quantidade de Peças Musicais Executadas na Série  
Concertos de Paulínia entre os anos de 2009 a 2012**



Compositor	Número de Peças Executadas	Período Musical
Beethoven	27	Classico
Mozart	24	Classico
Brahms	21	Romantico
Dvorak	11	Romantico
Schubert	11	Romantico
Schumman	10	Romantico
Tchaikovsky	9	Romantico
Haydn	8	Classico
Vivaldi	6	Barroco
Mendelsson	5	Classico
Gershwin	5	Contemporaneo
Chopin	5	Romantico
Piazzolla	5	Contemporaneo
Fauré	5	Contemporaneo
Mahler	4	Contemporaneo
R. Strauss	4	Contemporaneo
Bernstein	4	Contemporaneo
Bach	4	Barroco
Shostakovich	3	Contemporaneo
D. Ellington	3	Contemporaneo
Marconi	3	Contemporaneo
Prokofiev	2	Contemporaneo
Ginstera	2	Contemporaneo
Lizst	2	Romantico
Rachmaninoff	2	Romantico
Borodin	2	Romantico
C. Gomes	2	Romantico
Rodgers	2	Contemporaneo
Pixinguinha	2	Contemporaneo
P.S. Santos	2	Contemporaneo
H. Oswald	2	Contemporaneo
Franck	1	Contemporaneo
Warlok	1	Contemporaneo
Holst	1	Contemporaneo
Paganini	1	Romantico
Wagner	1	Romantico
Sibelius	1	Romantico
Bartok	1	Contemporaneo
Gazunov	1	Romantico
Grieg	1	Romantico
Verdi	1	Romantico
Debussy	1	Contemporaneo
Guerra-Peixe	1	Contemporaneo
Mussorgsky	1	Romantico
Lacerda (português)	1	Romantico
Berlioz	1	Romantico
Bruch	1	Romantico
Ravel	1	Contemporaneo
Chausson	1	Romantico
Tavares	1	Contemporaneo
Farrenc	1	Romantico
Rossini	1	Romantico
Telemann	1	Barroco
Arlen	1	Contemporaneo
Leclair	1	Contemporaneo
Lalo	1	Contemporaneo
Stravinsky	1	Contemporaneo
Villa-Lobos	1	Contemporaneo
Gotschalk	1	Contemporaneo
Kráser	1	Contemporaneo
Guinga	1	Contemporaneo
K-Ximbinho	1	Contemporaneo
Edu Lobo	1	Contemporaneo
<b>Total</b>	<b>175</b>	



**Apêndice B – Resultados das Medições dos Parâmetros Tempo de Reverberação (TR), Tempo Inicial de Decaimento (EDT) e índice de Clareza (C80) em cada uma das configurações de palco medida.**



## B.1. Resultados das medições da Configuração 1

Resultados das Medições da Configuração 1																									
Tempo de Reverberação - TR						Tempo Inicial de Decaimento - EDT						Índice de Clareza - C80													
Fonte 1						Fonte 1						Fonte 1													
125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz								
P1	2,00	1,61	1,49	1,42	1,41	1,20	P1	1,33	1,72	1,14	1,22	1,17	1,05	P1	6,12	6,38	6,54	6,77	6,87	7,95					
P2	1,85	1,72	1,50	1,45	1,38	1,17	P2	1,57	1,25	0,78	1,10	1,34	0,97	P2	3,65	6,74	7,13	5,98	6,73	8,09					
P3	2,17	1,79	1,46	1,48	1,44	1,23	P3	1,39	1,02	1,44	1,13	1,02	0,95	P3	-1,62	5,39	3,32	4,58	6,05	6,57					
P4	2,08	2,00	1,45	1,48	1,47	1,27	P4	1,95	1,53	1,32	1,05	1,22	1,04	P4	2,40	3,69	2,88	4,23	3,68	3,90					
P5	2,16	1,77	1,52	1,51	1,51	1,27	P5	1,67	1,30	1,10	1,15	1,10	1,03	P5	-4,13	1,57	3,45	3,29	0,99	0,59					
P6	1,66	1,61	1,49	1,50	1,45	1,30	P6	1,59	1,23	1,13	1,21	1,02	0,95	P6	-4,35	0,54	1,91	0,98	0,75	1,85					
P7	1,82	1,84	1,49	1,51	1,44	1,26	P7	2,32	1,10	0,97	1,03	1,11	0,91	P7	-0,88	1,46	2,91	2,45	-0,25	1,49					
P8	2,04	1,67	1,39	1,49	1,35	1,20	P8	0,82	1,01	0,93	0,89	0,90	0,91	P8	-0,53	4,39	2,61	2,52	2,23	2,34					
P9	1,92	1,84	1,57	1,52	1,40	1,26	P9	1,36	1,68	1,03	1,15	1,47	1,15	P9	2,44	5,43	6,84	6,02	4,17	6,90					
P10	1,80	1,63	1,48	1,48	1,49	1,34	P10	1,23	1,59	1,23	1,17	1,23	1,08	P10	-3,70	-1,15	4,50	3,84	2,50	3,51					
P11	1,91	1,75	1,66	1,48	1,51	1,28	P11	1,62	1,49	1,04	1,17	1,16	1,11	P11	2,53	2,62	2,43	1,48	0,86	2,93					
P12	1,91	1,64	1,52	1,59	1,45	1,27	P12	0,94	1,33	1,00	1,18	0,97	0,91	P12	2,99	-0,02	3,67	3,07	4,25	3,51					
P13	1,99	1,75	1,45	1,49	1,43	1,29	P13	0,82	1,23	1,21	1,11	1,13	0,91	P13	2,23	3,87	2,38	0,28	0,75	0,61					
P14	1,88	1,80	1,54	1,40	1,45	1,17	P14	1,16	1,12	1,01	0,94	0,95	0,92	P14	3,15	4,75	5,14	2,32	3,27	5,39					
P15	1,65	1,38	1,46	1,41	1,44	1,23	P15	1,77	1,75	1,62	1,11	1,16	0,95	P15	0,49	3,35	5,18	5,11	6,10	7,22					
P16	1,53	1,72	1,57	1,53	1,49	1,27	P16	1,70	1,22	1,44	1,20	1,29	0,97	P16	2,53	1,84	1,90	3,05	2,03	4,60					
P17	1,70	1,65	1,50	1,47	1,36	1,21	P17	1,84	1,53	1,43	1,19	1,28	1,24	P17	-1,05	3,82	3,40	4,05	3,18	3,29					
P18	1,57	1,52	1,65	1,46	1,42	1,32	P18	0,93	1,47	1,49	1,49	1,30	1,10	P18	2,05	2,68	2,14	1,40	1,71	2,72					
P19	1,65	1,69	1,45	1,52	1,41	1,27	P19	1,66	1,65	1,50	1,53	1,47	1,17	P19	2,14	2,40	3,06	1,94	2,04	3,38					
P20	1,83	1,90	1,57	1,49	1,48	1,35	P20	1,05	1,40	1,39	1,47	1,51	1,23	P20	1,16	-0,06	-1,60	-0,31	0,32	0,89					
P21	1,66	1,72	1,53	1,47	1,35	1,22	P21	1,51	1,37	1,39	1,17	1,32	0,98	P21	1,08	-0,08	-0,35	1,54	0,65	2,22					
P22	2,08	1,76	1,58	1,42	1,35	1,20	P22	1,90	1,54	1,00	0,96	1,06	0,93	P22	2,04	0,19	0,43	2,77	3,02	2,99					
P23	2,13	1,86	1,46	1,40	1,40	1,23	P23	1,32	1,69	1,28	1,16	1,01	0,92	P23	2,83	2,24	2,24	3,43	3,52	3,59					
P24	1,99	1,80	1,53	1,41	1,42	1,20	P24	1,62	1,53	1,42	1,11	0,97	0,95	P24	0,57	1,54	2,88	3,49	3,89	4,34					
P25	2,18	1,53	1,44	1,52	1,45	1,25	P25	1,31	1,53	1,40	1,27	1,28	1,06	P25	2,89	1,38	2,02	2,46	0,05	2,34					
P26	2,11	1,75	1,59	1,41	1,38	1,21	P26	1,29	1,36	1,09	1,03	1,11	0,79	P26	4,20	3,81	3,43	2,52	0,98	1,94					
Fonte 2						Fonte 2						Fonte 2													
P1	2,13	2,03	1,66	1,52	1,35	1,26	P1	2,13	1,91	1,74	1,63	1,65	1,64	P1	-0,14	4,08	3,95	4,80	2,56	5,42					
P2	1,97	2,06	1,67	1,48	1,46	1,26	P2	1,89	1,84	1,85	1,38	1,57	1,29	P2	0,66	4,55	4,45	2,80	4,73	6,38					
P3	2,37	1,96	1,73	1,55	1,48	1,28	P3	1,70	1,63	1,54	1,53	1,23	0,90	P3	-0,04	1,73	4,24	3,18	5,50	5,87					
P4	2,25	1,86	1,58	1,50	1,52	1,24	P4	2,27	1,67	1,46	1,21	1,07	0,85	P4	-2,89	0,79	3,05	4,35	5,22	5,19					
P5	2,23	2,01	1,62	1,49	1,42	1,21	P5	1,75	1,89	1,38	0,77	0,66	0,54	P5	-2,54	-0,92	4,90	6,00	7,07	8,20					
P6	1,77	1,98	1,72	1,47	1,41	1,24	P6	2,15	1,53	1,15	1,19	1,10	0,86	P6	-1,74	1,64	4,31	3,70	4,80	5,77					
P7	2,36	1,98	1,65	1,52	1,45	1,25	P7	1,94	1,25	1,16	1,00	1,04	0,86	P7	0,65	2,87	5,10	4,57	4,50	5,17					
P8	2,29	2,09	1,57	1,44	1,37	1,13	P8	1,28	1,11	0,86	0,76	0,73	0,61	P8	1,30	3,34	5,52	6,35	6,99	7,73					
P9	1,84	1,79	1,65	1,47	1,40	1,19	P9	1,46	2,02	1,67	1,25	1,10	0,75	P9	4,85	3,76	5,22	7,43	7,87	8,62					
P10	2,02	2,10	1,72	1,51	1,47	1,27	P10	1,80	1,72	1,62	1,34	1,36	1,12	P10	1,08	2,28	4,22	3,47	2,37	2,93					
P11	2,32	2,06	1,72	1,53	1,54	1,28	P11	1,68	1,55	1,33	1,28	1,08	0,93	P11	0,35	2,02	0,91	2,22	4,19	4,83					
P12	2,44	1,99	1,63	1,49	1,42	1,19	P12	1,63	0,92	0,72	0,90	0,70	0,66	P12	2,34	6,65	6,92	6,34	6,88	7,70					
P13	2,04	1,87	1,58	1,42	1,37	1,18	P13	2,54	1,94	0,88	0,80	0,80	0,63	P13	2,93	4,84	7,04	6,54	6,84	7,41					
P14	1,87	1,75	1,47	1,30	1,40	1,18	P14	1,04	2,07	0,51	0,75	0,88	0,67	P14	4,71	2,68	9,58	7,35	6,44	7,92					
P15	2,38	1,98	1,54	1,40	1,36	1,15	P15	1,83	1,64	1,60	1,50	1,35	1,22	P15	1,79	4,12	4,55	3,24	3,67	5,69					
P16	2,15	2,01	1,58	1,52	1,45	1,28	P16	1,82	1,90	1,43	1,26	1,29	1,06	P16	0,20	-0,41	3,73	2,95	1,82	3,48					
P17	2,17	1,89	1,61	1,42	1,40	1,18	P17	2,24	1,99	1,32	1,36	1,34	1,15	P17	1,11	5,17	5,50	3,27	3,33	5,60					
P18	2,21	1,90	1,73	1,52	1,47	1,30	P18	1,81	1,50	1,55	1,46	1,21	1,19	P18	-0,02	2,98	3,12	2,50	3,28	3,86					
P19	2,19	2,05	1,59	1,44	1,47	1,24	P19	1,69	1,89	1,92	1,56	1,58	1,25	P19	-0,79	3,18	2,40	0,98	3,32	5,05					
P20	1,71	2,06	1,61	1,50	1,50	1,28	P20	2,16	1,80	1,89	1,73	1,59	1,40	P20	-0,43	2,23	0,99	-0,21	-2,00	-1,21					
P21	2,05	1,81	1,59	1,48	1,45	1,21	P21	2,28	2,17	1,50	1,30	1,17	0,88	P21	-0,41	1,67	2,63	4,20	3,39	5,47					
P22	2,08	1,92	1,63	1,42	1,41	1,23	P22	1,79	1,19	1,19	1,06	1,01	0,89	P22	-0,51	4,85	4,52	5,46	4,43	5,57					
P23	2,24	1,97	1,80	1,42	1,34	1,15	P23	2,11	1,43	0,85	0,76	0,79	0,71	P23	1,39	5,01	7,69	6,92	6,69	7,31					
P24	2,34	1,92	1,71	1,42	1,32	1,17	P24	1,74	0,94	0,81	0,64	0,66	0,68	P24	2,32	6,89	6,78	7,74	8,16	7,23					
P25	2,03	1,92	1,71	1,52	1,48	1,25	P25	2,32	1,62	1,24	1,44	1,40	1,16	P25	0,91	3,57	3,44	3,62	2,82	4,00					
P26	2,19	2,03	1,63	1,43	1,40	1,18	P26	0,99	0,87	0,81	0,72	0,87	0,68	P26	5,72	6,59	5,30	7,52	6,17	7,24					
Fonte 3						Fonte 3						Fonte 3													
P1	2,68	1,67	1,83	1,49	1,39	1,25	P1	3,01	2,28	1,93	1,61	1,66	1,53	P1	-0,23	2,54	2,10	4,08	3,19	5,11					
P2	2,37	2,40	1,93	1,58	1,47	1,27	P2	2,63	1,91	1,85	1,65	1,66	1,48	P2	0,29	3,53	2,79	3,74	0,19	2,82					
P3	2,38	2,07	1,88	1,60	1,49	1,34	P3	2,60	2,25	1,76	1,69	1,66	1,43	P3	-2,17	0,17	2,38	2,33	3,39	4,29					
P4	2,57	2,10	1,79	1,52	1,49	1,34	P4	2,05	2,03	1,74	1,59	1,76	1,38	P4	0,04	-0,58	0,75	1,36	1,28	1,95					
P5	2,50	2,02	1,89	1,62	1,54	1,32	P5	3,07	2,09	1,70	1,31	1,24	0,93	P5	-2,95	-0,41	2,73	4,33	4,79	5,62					
P6	2,23	2,22	1,76	1,53	1,55	1,28	P6	2,75	2,19	1,62	1,25	1,09	1,06	P6	-2,26	1,03	3,34	3,77	3,75	4,96					
P7	2,35	2,09	1,86	1,56	1,42	1,24	P7	2,59	1,61	1,48	1,19	1,09	0,85	P7	1,81	3,71	4,57	3,89	5,55	6,37					
P8	1,95	2,20	1,68	1,43	1,35	1,16	P8	2,86	1,90	0,94	0,69	0,68	0,42	P8	-1,60	4,17	6,50	7,71	7,68	9,69					
P9	2,10	1,94	1,82	1,49	1,33	1,23	P9	2,25	2,20	1,89	1,81	1,67	1,81	P9	-2,47	2,58	2,62	3,97	3,61	7,42					
P10	2,24	2,30	1,89	1,54	1,49	1,28	P10	2,69	2,23	1,92	1,49	1,49	1,33	P10	-1,77	1,70	4,75	3,07	6,00	6,44					
P11	2,53	2,16	1,85	1,61	1,45	1,30	P11	1,96	1,74	1,58	1,34	1,24	1,06	P11	-4,44	0,90	1,71	4,39	3,86	6,69					
P12	2,14	2,20	1,80	1,41	1,33	1,17	P12	2,01	1,55	1,39	0,75	0,58	0												

## B.2. Resultado das medições da Configuração 2

Resultados das Medições da Configuração 2																											
Tempo de Reverberação - TR							Tempo Inicial de Decaimento - EDT							Índice de Clareza - C80													
Fonte	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	1,79	1,59	1,58	1,48	1,44	1,24	P1	1,41	1,71	1,17	1,15	1,23	1,08	P1	4,01	5,89	6,26	6,82	7,14	8,16	P1	0,20	3,84	3,72	5,11	4,56	5,24
P2	1,94	1,80	1,40	1,46	1,49	1,27	P2	1,60	1,05	1,00	1,11	1,04	0,95	P2	1,98	7,14	4,71	4,13	4,22	6,32	P2	0,92	3,85	3,64	1,99	2,34	5,21
P3	2,09	1,66	1,44	1,49	1,45	1,29	P3	1,51	1,30	1,42	1,22	1,23	1,07	P3	-0,07	1,67	3,80	2,62	2,15	3,23	P3	-0,05	1,98	1,60	1,35	3,15	3,64
P4	1,81	1,78	1,51	1,53	1,54	1,27	P4	2,15	1,52	1,47	1,28	1,24	1,00	P4	-2,77	4,02	2,34	2,88	2,74	3,53	P4	-3,10	0,60	2,34	3,29	2,59	3,31
P5	1,73	1,72	1,55	1,42	1,47	1,31	P5	1,69	1,36	1,38	1,20	1,25	1,04	P5	1,94	1,94	1,66	1,67	1,55	1,34	P5	-2,00	3,01	2,72	2,03	2,11	3,27
P6	1,47	1,61	1,58	1,54	1,52	1,33	P6	1,81	1,26	1,19	1,18	1,24	1,07	P6	2,19	1,76	1,73	1,59	1,44	1,30	P6	-2,59	1,92	1,31	3,04	3,09	4,02
P7	1,89	1,74	1,54	1,51	1,47	1,31	P7	1,58	1,41	1,07	1,05	1,26	1,00	P7	2,11	1,82	1,76	1,52	1,46	1,30	P7	-1,04	0,88	2,56	4,09	3,45	4,86
P8	1,97	1,66	1,48	1,49	1,46	1,30	P8	1,11	1,16	1,06	1,01	1,09	1,03	P8	2,22	1,83	1,10	0,94	1,06	0,78	P8	0,83	4,16	5,72	5,73	5,61	5,96
P9	1,87	1,72	1,51	1,50	1,45	1,26	P9	1,45	1,70	1,25	1,35	1,53	1,25	P9	2,41	1,91	1,58	1,51	1,47	1,17	P9	-0,74	3,80	2,67	2,51	2,18	4,42
P10	1,90	1,68	1,54	1,53	1,54	1,33	P10	1,30	1,58	1,27	1,22	1,44	1,02	P10	2,02	2,14	1,67	1,57	1,50	1,37	P10	-1,60	0,11	4,09	2,81	3,66	3,95
P11	1,85	1,64	1,64	1,56	1,46	1,32	P11	1,48	1,85	1,11	1,19	1,24	1,15	P11	2,23	2,14	1,67	1,57	1,54	1,35	P11	-0,69	3,34	1,93	1,89	2,59	4,07
P12	1,83	1,71	1,59	1,52	1,49	1,34	P12	1,03	1,30	1,09	1,08	1,09	0,99	P12	2,05	1,89	1,46	1,44	1,37	1,25	P12	1,21	4,41	4,56	6,71	6,13	6,51
P13	2,06	1,74	1,58	1,47	1,49	1,30	P13	0,76	1,34	1,28	1,18	0,99	0,92	P13	2,07	2,01	1,58	1,62	1,50	1,28	P13	3,61	3,71	4,09	3,95	5,38	6,55
P14	1,90	1,80	1,51	1,47	1,43	1,32	P14	1,13	1,19	1,06	1,02	0,99	0,97	P14	2,07	2,02	1,58	1,62	1,50	1,28	P14	-0,27	3	7,09	5,87	6,64	8,45
P15	1,64	1,63	1,53	1,53	1,42	1,32	P15	1,81	1,42	1,40	1,08	1,10	0,86	P15	2,07	2,01	1,58	1,62	1,50	1,28	P15	0,26	0,46	2,62	2,27	1,9	3,05
P16	1,57	1,71	1,60	1,56	1,43	1,34	P16	1,57	1,35	1,46	1,27	1,27	1,08	P16	1,81	1,96	1,61	1,53	1,46	1,25	P16	-2,84	-3,68	1,91	1,67	1,22	2,18
P17	1,67	1,72	1,47	1,53	1,45	1,31	P17	1,73	1,80	1,48	1,27	1,39	1,18	P17	1,60	1,97	1,61	1,53	1,46	1,33	P17	-1,37	-1,85	2,04	2,01	2,64	3,71
P18	1,66	1,64	1,70	1,46	1,51	1,33	P18	1,15	1,49	1,50	1,46	1,35	1,19	P18	2,14	1,93	1,90	1,55	1,49	1,37	P18	-1,97	-0,47	3,16	3,08	0,49	2,59
P19	1,55	1,56	1,52	1,58	1,49	1,36	P19	1,99	1,67	1,51	1,52	1,60	1,23	P19	2,29	1,91	1,79	1,50	1,54	1,31	P19	-4,69	-4,71	0,77	0,42	-0,25	1,03
P20	2,14	1,76	1,67	1,58	1,57	1,41	P20	1,12	1,57	1,56	1,50	1,48	1,23	P20	2,01	1,73	1,77	1,64	1,51	1,40	P20	-2,63	-1,67	0,79	-1,51	-2,45	-0,77
P21	1,82	1,60	1,74	1,50	1,48	1,28	P21	1,59	1,54	1,40	1,27	1,25	1,14	P21	1,88	2,11	1,78	1,57	1,42	1,33	P21	1,34	3,16	3,81	3,80	2,76	6,18
P22	1,95	1,76	1,45	1,50	1,43	1,31	P22	1,66	1,69	1,30	1,08	1,11	0,96	P22	2,26	2,11	1,59	1,46	1,47	1,30	P22	0,35	2,39	3,42	4,13	3,82	6,34
P23	1,87	1,70	1,48	1,47	1,40	1,26	P23	2,17	1,62	1,00	1,11	1,25	0,98	P23	2,00	1,94	1,66	1,49	1,38	1,22	P23	4,99	4,79	6,04	6,64	6,62	8,15
P24	1,97	1,81	1,50	1,51	1,46	1,29	P24	1,70	1,58	1,37	1,23	1,11	1,01	P24	1,89	2,12	1,59	1,39	1,40	1,22	P24	-0,27	3,64	5,26	6,11	6,88	9,44
P25	1,76	1,55	1,54	1,57	1,46	1,30	P25	1,25	1,63	1,52	1,34	1,26	1,00	P25	1,42	2,31	1,77	1,61	1,54	1,31	P25	-2,36	3,37	3,08	3,42	4,45	5,55
P26	1,91	1,66	1,49	1,50	1,53	1,27	P26	1,49	1,25	1,14	1,10	1,03	0,90	P26	1,89	1,91	1,73	1,47	1,42	1,30	P26	0,40	-0,05	6,74	6,68	6,93	8,23
Fonte 2							Fonte 2							Fonte 2													
P1	2,02	1,65	1,65	1,52	1,48	1,31	P1	2,04	2,04	1,63	1,59	1,49	1,34	P1	-1,97	3,43	3,86	3,66	3,33	4,90	P1	-1,97	3,43	3,86	3,66	3,33	4,90
P2	1,84	1,84	1,47	1,51	1,42	1,34	P2	2,03	1,87	1,93	1,54	1,47	1,18	P2	-1,06	4,14	2,42	3,07	2,01	3,89	P2	-1,06	4,14	2,42	3,07	2,01	3,89
P3	2,19	1,84	1,62	1,61	1,51	1,33	P3	1,83	1,50	1,27	1,37	1,46	1,00	P3	-0,07	1,67	3,80	2,62	2,15	3,23	P3	-0,07	1,67	3,80	2,62	2,15	3,23
P4	1,99	1,78	1,73	1,51	1,48	1,29	P4	2,14	1,71	1,37	1,29	1,06	0,87	P4	-2,41	1,35	3,53	2,13	4,93	4,91	P4	-2,41	1,35	3,53	2,13	4,93	4,91
P5	2,23	1,84	1,52	1,53	1,49	1,30	P5	1,90	1,70	1,14	1,22	1,18	0,86	P5	-1,78	-1,17	3,19	1,27	2,42	4,92	P5	-1,78	-1,17	3,19	1,27	2,42	4,92
P6	2,28	1,81	1,71	1,49	1,51	1,34	P6	1,93	1,87	1,15	1,29	1,21	0,96	P6	-4,56	0,70	2,18	2,60	2,80	4,21	P6	-4,56	0,70	2,18	2,60	2,80	4,21
P7	1,96	1,86	1,49	1,52	1,43	1,28	P7	2,00	1,08	1,13	1,12	1,26	0,87	P7	-0,81	2,94	3,16	3,32	2,12	4,22	P7	-0,81	2,94	3,16	3,32	2,12	4,22
P8	1,74	1,85	1,57	1,49	1,33	1,25	P8	1,78	1,06	0,90	0,88	0,75	0,69	P8	-1,14	2,69	4,56	4,31	4,95	6,11	P8	-1,14	2,69	4,56	4,31	4,95	6,11
P9	1,82	1,79	1,64	1,54	1,43	1,25	P9	1,58	1,74	1,51	1,16	1,34	1,28	P9	4,08	4,38	5,62	6,06	3,86	3,88	P9	4,08	4,38	5,62	6,06	3,86	3,88
P10	1,97	1,87	1,61	1,51	1,51	1,35	P10	1,68	1,44	1,32	1,49	1,19	0,93	P10	2,83	3,12	2,02	2,90	3,70	4,37	P10	2,83	3,12	2,02	2,90	3,70	4,37
P11	2,08	1,77	1,60	1,57	1,51	1,32	P11	1,45	1,42	1,30	1,53	1,30	1,13	P11	-0,07	2,37	1,57	1,48	3,28	3,24	P11	-0,07	2,37	1,57	1,48	3,28	3,24
P12	1,54	1,66	1,54	1,41	1,41	1,27	P12	1,18	0,96	1,07	0,77	0,84	0,87	P12	0,24	4,90	4,82	5,55	5,97	5,40	P12	0,24	4,90	4,82	5,55	5,97	5,40
P13	2,36	1,82	1,64	1,50	1,44	1,22	P13	1,90	1,28	1,01	0,93	0,81	0,77	P13	2,32	4,13	4,89	4,54	5,10	5,49	P13	2,32	4,13	4,89	4,54	5,10	5,49
P14	1,83	1,70	1,54	1,51	1,35	1,25	P14	1,07	1,52	0,66	0,81	0,85	0,71	P14	5,15	4,06	7,52	4,52	5,95	7,21	P14	5,15	4,06	7,52	4,52	5,95	7,21
P15	2,18	1,85	1,52	1,48	1,45	1,22	P15	1,15	1,63	1,46	1,27	1,20	0,99	P15	-0,30	1,54	4,26	4,90	5,39	7,02	P15	-0,30	1,54	4,26	4,90	5,39	7,02
P16	1,85	1,79	1,53	1,53	1,46	1,29	P16	1,89	1,90	1,54	1,31	1,35	1,08	P16	-0,41	1,11	2,54	0,29	1,78	3,55	P16	-0,41	1,11	2,54	0,29	1,78	3,55
P17	2,18	1,88	1,54	1,50	1,45	1,24	P17	1,52	1,43	1,58	1,50	1,29	1,07	P17	2,00	5,66	4,21	3,08	3,61	5,27	P17	2,00	5,66	4,21	3,08	3,61	5,27
P18	2,17	1,89	1,62	1,57	1,55	1,35	P18	1,79	1,59	1,64	1,42	1,40	1,21	P18	0,06	1,99	2,24	1,07	0,86	1,99	P18	0,06	1,99	2,24	1,07	0,86	1,99
P19	1,88	1,87	1,53	1,50	1,53	1,35	P19	2,30	1,90	1,82	1,56	1,60	1,20	P19	1,04	4,24	2,82	1,48	2,48	3,78	P19	1,04	4,24	2,82	1,48	2,48	3,78
P20	1,89	1,96	1,55	1,63	1,57	1,42	P20	1,62	1,58	1,83	1,60	1,70	1,49	P20	-0,98	0,13	-0,88	-1,41	-1,48	-0,22	P20	-0,98	0,13	-0,88	-1,41	-1,48	-0,22
P21	1,88	1,81	1,63	1,56	1,46	1,29	P21	2,58	2,17	1,23	1,43	1,43	1,00	P21	-0,65	1,86	1,44	3,35	2,90	5,28	P21	-0,65	1,86	1,44	3,35	2,90	5,28
P22	2,01	1,91	1,58	1,57	1,43	1,25	P22	2,11	1,21	1,23	1,11	1,18	0,79	P22	0,73	4,61	3,74	5,35	3,81	6,79	P22	0,73	4,61	3,74	5,35	3,81</	

### B.3. Resultado das medições da Configuração 3

Tempo de Reverberação - TR							Tempo Inicial de Decaimento - EDT							Índice de Clareza - C80						
Fonte	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	1,97	1,61	1,65	1,52	1,52	1,33	P1	1,78	1,86	1,20	1,41	1,24	1,19	P1	4,16	4,79	5,71	4,29	6,04	8,19
P2	2,07	1,75	1,63	1,55	1,47	1,38	P2	1,39	1,22	1,22	1,34	1,25	1,09	P2	2,26	6,16	4,67	3,35	1,23	2,84
P3	2,05	1,61	1,48	1,55	1,50	1,37	P3	1,59	1,29	1,39	1,34	1,48	1,14	P3	-3,47	3,54	0,79	1,76	1,94	1,69
P4	1,87	1,79	1,65	1,50	1,54	1,42	P4	2,21	1,56	1,58	1,44	1,40	1,16	P4	1,32	0,73	1,17	1,78	1,63	1,98
P5	1,94	1,72	1,65	1,55	1,55	1,41	P5	1,49	1,45	1,43	1,38	1,41	1,25	P5	-4,61	0,48	2,05	1,21	0,02	1,29
P6	1,70	1,76	1,48	1,46	1,57	1,40	P6	1,72	1,46	1,29	1,44	1,33	1,28	P6	-4,27	-0,58	0,79	0,65	-0,13	-0,43
P7	1,86	1,67	1,49	1,56	1,50	1,31	P7	1,83	1,60	1,28	1,19	1,43	1,24	P7	-1,94	1,68	1,58	-0,08	0,72	0,95
P8	2,11	1,74	1,55	1,51	1,47	1,29	P8	0,94	1,15	1,20	1,15	1,28	1,13	P8	3,16	2,30	1,85	1,84	2,10	2,52
P9	1,72	1,74	1,59	1,53	1,51	1,29	P9	1,53	1,54	1,39	1,49	1,43	1,27	P9	2,56	3,07	5,32	3,17	2,08	3,10
P10	1,62	1,62	1,65	1,51	1,52	1,37	P10	1,37	1,64	1,37	1,52	1,49	1,22	P10	-4,15	-2,21	1,74	2,66	2,25	3,65
P11	1,82	1,66	1,64	1,52	1,52	1,36	P11	1,64	1,76	1,31	1,43	1,21	1,24	P11	0,86	2,32	1,04	0,11	0,61	0,70
P12	1,62	1,70	1,63	1,58	1,58	1,35	P12	1,12	1,17	1,17	1,23	1,26	1,24	P12	1,14	-2,30	1,79	1,48	1,79	1,54
P13	2,16	1,82	1,49	1,56	1,49	1,32	P13	0,86	1,51	1,35	1,18	1,23	1,06	P13	4,40	2,36	-0,23	-1,16	0,29	2,78
P14	2,05	2,07	1,51	1,61	1,54	1,31	P14	1,20	1,37	1,27	1,14	1,19	1,09	P14	5,23	2,19	0,85	0,52	-0,09	1,12
P15	1,85	1,68	1,49	1,56	1,48	1,34	P15	1,61	1,50	1,60	1,50	1,61	1,30	P15	0,92	2,24	3,56	2,61	2,43	4,22
P16	1,89	1,70	1,50	1,57	1,54	1,42	P16	1,39	1,31	1,66	1,44	1,32	1,16	P16	0,81	0,79	0,10	0,26	2,09	4,73
P17	1,62	1,72	1,54	1,57	1,51	1,34	P17	1,76	1,75	1,71	1,53	1,46	1,34	P17	-3,02	2,96	1,29	2,85	1,60	1,98
P18	1,63	1,55	1,72	1,62	1,54	1,37	P18	1,06	1,58	1,74	1,56	1,46	1,33	P18	1,05	2,27	0,55	0,66	1,06	0,99
P19	1,65	1,66	1,52	1,60	1,53	1,34	P19	1,82	1,64	1,60	1,71	1,71	1,40	P19	2,59	2,31	3,00	1,46	1,83	3,06
P20	2,09	1,84	1,68	1,67	1,58	1,41	P20	1,14	1,50	1,67	1,71	1,67	1,36	P20	-0,57	-1,31	-0,19	-0,25	-1,29	-0,10
P21	1,84	1,64	1,54	1,49	1,48	1,36	P21	1,62	1,37	1,49	1,43	1,52	1,21	P21	1,37	-1,25	-0,82	-0,07	-1,12	0,92
P22	2,20	1,73	1,58	1,59	1,51	1,30	P22	1,65	1,62	1,31	1,21	1,27	0,99	P22	2,03	-0,76	-0,88	1,83	1,04	2,43
P23	1,86	1,72	1,47	1,49	1,51	1,32	P23	1,66	1,55	1,17	1,49	1,34	1,13	P23	2,36	0,19	0,18	1,79	1,28	3,32
P24	1,92	1,76	1,60	1,56	1,47	1,29	P24	2,00	1,35	1,41	1,42	1,30	1,18	P24	1,11	-0,24	0,52	0,99	1,33	2,83
P25	1,83	1,52	1,53	1,52	1,54	1,36	P25	1,25	1,51	1,53	1,50	1,52	1,15	P25	3,81	-0,29	1,13	0,39	-0,26	0,84
P26	1,99	1,59	1,51	1,48	1,45	1,31	P26	1,18	1,29	1,56	1,32	1,29	0,98	P26	1,28	0,93	1,77	-0,07	-0,50	0,87
Fonte 2							Fonte 2							Fonte 2						
P1	2,11	1,80	1,60	1,56	1,53	1,38	P1	1,78	1,65	1,53	1,61	1,58	1,48	P1	-1,79	1,79	1,51	1,95	0,78	2,36
P2	1,99	1,79	1,61	1,55	1,53	1,35	P2	1,63	1,94	1,50	1,60	1,58	1,48	P2	-2,11	2,94	2,53	0,48	1,16	2,13
P3	1,83	1,79	1,62	1,62	1,59	1,41	P3	2,04	1,53	1,61	1,53	1,63	1,27	P3	-0,57	1,57	2,33	1,20	2,49	2,27
P4	1,96	1,79	1,56	1,59	1,60	1,44	P4	1,94	1,59	1,46	1,47	1,36	1,23	P4	-3,51	0,09	3,01	1,70	2,58	2,36
P5	2,08	1,89	1,68	1,60	1,54	1,41	P5	1,67	1,54	1,32	1,34	1,16	1,20	P5	-3,17	-1,06	2,05	2,66	3,35	3,18
P6	1,74	1,66	1,63	1,56	1,54	1,37	P6	1,96	1,70	1,29	1,47	1,37	1,22	P6	-3,30	0,41	2,32	0,66	1,18	2,23
P7	1,96	1,82	1,65	1,56	1,57	1,33	P7	2,07	1,05	1,48	1,35	1,33	1,20	P7	0,05	0,08	1,86	0,76	1,27	2,18
P8	1,84	1,64	1,57	1,57	1,49	1,28	P8	1,62	1,14	1,05	1,03	1,03	1,02	P8	-0,11	0,88	2,93	3,19	3,97	3,11
P9	1,68	1,64	1,63	1,51	1,51	1,28	P9	1,67	1,40	1,30	1,14	1,42	1,25	P9	1,83	0,24	3,47	3,32	1,98	3,12
P10	1,72	1,83	1,71	1,59	1,57	1,40	P10	1,84	1,71	1,67	1,60	1,56	1,38	P10	0,45	0,54	1,51	1,63	1,34	2,11
P11	1,90	1,95	1,54	1,60	1,58	1,39	P11	1,86	1,84	1,51	1,57	1,57	1,38	P11	-1,66	2,01	0,01	0,01	-0,03	0,72
P12	1,61	1,92	1,51	1,55	1,51	1,35	P12	1,63	1,90	1,51	1,55	1,50	1,35	P12	-0,28	3,46	3,61	2,66	2,61	3,49
P13	2,01	1,73	1,68	1,51	1,51	1,32	P13	1,66	1,55	1,15	1,25	1,02	0,90	P13	1,87	3,47	3,02	2,84	2,67	4,87
P14	1,82	1,66	1,46	1,51	1,44	1,31	P14	1,09	1,18	0,86	1,17	1,10	0,94	P14	2,75	1,44	5,14	3,08	2,95	5,10
P15	1,95	1,78	1,56	1,54	1,45	1,31	P15	1,18	1,61	1,62	1,55	1,60	1,34	P15	-1,85	1,08	2,57	1,14	2,45	3,79
P16	1,88	1,72	1,65	1,62	1,59	1,39	P16	1,77	1,78	1,65	1,54	1,45	1,19	P16	-0,07	-1,03	1,48	0,02	1,23	3,19
P17	1,55	1,76	1,62	1,57	1,51	1,32	P17	1,71	1,59	1,49	1,34	1,64	1,24	P17	1,09	3,46	4,28	0,57	0,47	2,87
P18	2,16	1,85	1,58	1,62	1,60	1,43	P18	1,41	1,56	1,54	1,64	1,52	1,29	P18	-1,39	1,65	0,32	-0,54	0,02	0,46
P19	1,68	1,83	1,59	1,57	1,56	1,31	P19	1,84	1,56	1,81	1,64	1,59	1,42	P19	-0,23	2,39	1,33	-0,28	1,34	1,70
P20	2,16	1,72	1,68	1,72	1,56	1,44	P20	1,57	1,78	1,68	1,76	1,89	1,51	P20	-0,33	-1,58	-1,15	-2,08	-3,25	-1,93
P21	1,97	1,63	1,58	1,66	1,48	1,37	P21	2,09	2,03	1,52	1,32	1,53	1,19	P21	-1,25	1,09	0,32	1,19	1,53	2,95
P22	1,57	1,55	1,61	1,47	1,49	1,29	P22	2,09	1,43	1,23	1,42	1,27	1,14	P22	-0,95	1,74	2,59	0,62	1,34	2,24
P23	1,65	1,66	1,47	1,46	1,38	1,26	P23	2,24	1,44	1,16	1,38	1,21	0,93	P23	-0,63	3,12	2,81	2,16	2,54	4,85
P24	1,77	1,70	1,58	1,44	1,38	1,23	P24	1,87	0,98	1,04	1,29	1,18	0,92	P24	1,52	5,16	3,78	1,34	3,33	4,75
P25	2,15	1,80	1,58	1,58	1,46	1,33	P25	2,19	1,69	1,37	1,51	1,64	1,36	P25	0,37	1,74	1,61	1,16	0,17	1,04
P26	1,84	1,91	1,39	1,48	1,47	1,29	P26	2,03	1,55	1,26	1,14	1,25	1,06	P26	3,25	3,46	1,89	3,41	2,44	3,23
Fonte 3							Fonte 3							Fonte 3						
P1	2,06	1,84	1,61	1,57	1,56	1,37	P1	2,18	1,86	1,59	1,60	1,45	1,30	P1	1,17	3,71	2,90	1,89	2,47	3,51
P2	2,08	1,79	1,63	1,57	1,51	1,37	P2	1,63	1,56	1,88	1,62	1,46	1,31	P2	1,27	3,87	1,38	1,80	3,15	4,03
P3	1,80	1,85	1,65	1,59	1,55	1,44	P3	2,17	1,65	1,61	1,64	1,64	1,42	P3	-1,95	2,66	0,48	-0,50	0,91	2,43
P4	2,20	1,82	1,63	1,62	1,54	1,43	P4	2,36	1,84	1,48	1,51	1,51	1,27	P4	-1,90	1,28	-0,26	0,40	0,51	1,63
P5	1,81	2,04	1,59	1,59	1,50	1,39	P5	1,70	1,36	1,49	1,42	1,48	1,21	P5	-4,89	-0,33	-0,61	1,14	0,54	2,21
P6	1,88	1,81	1,59	1,69	1,59	1,36	P6	2,47	1,39	1,55	1,44	1,39	1,23	P6	-3,02	0,96	0,00	2,00	0,46	1,65
P7	2,08	1,74	1,65	1,53	1,56	1,34	P7	1,96	1,42	1,40	1,28	1,24	1,09	P7	-3,50	1,73	0,82	1,88	1,61	2,50
P8	2,03	1,84	1,59	1,54	1,46	1,32	P8	1,37	0,81	1,06	1,05	1,25	0,96	P8	0,86	4,42	1,76	4,17	2,98	4,46
P9	1,96	1,85	1,56	1,53	1,48	1,30	P9	2,08	1,61	1,52	1,47	1,38	1,18	P9	-0,30	2,63	1,73	1,82	2,61	4,73
P10	2,02	1,91	1,58	1,59	1,61	1,40	P10	1,79	1,73	1,60	1,72	1,52	1,28	P10	-3,93	0,16	1,74	1,09	0,73	1,87
P11	1,86	1,82	1,61	1,60	1,58	1,40	P11	1,95	1,58	1,56	1,51	1,62	1,32	P11	-1,25	1,72	-0,67	0,68	0,33	0,96
P12	1,71	1,68	1,69	1,53	1,51	1,34	P12	1,45	1,41	1,04	1,04	1,17	1,09	P12	2,65	2,95	4,42	4,		

## B.4. Resultado das medições da Configuração 4

Tempo de Reverberação - TR							Tempo Inicial de Decaimento - EDT							Índice de Clareza - C80						
Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	2,11	1,66	1,64	1,56	1,53	1,36	P1	1,37	1,93	1,29	1,40	1,38	1,16	P1	3,89	5,39	5,63	5,27	3,70	4,34
P2	1,95	1,71	1,69	1,61	1,55	1,42	P2	1,77	1,23	1,09	1,18	1,33	1,05	P2	2,14	5,73	4,74	3,78	2,98	4,01
P3	1,79	1,68	1,57	1,51	1,56	1,38	P3	1,80	1,35	1,43	1,30	1,34	1,18	P3	-3,23	3,73	1,01	2,20	1,80	1,98
P4	1,74	1,89	1,79	1,57	1,56	1,43	P4	2,12	1,44	1,29	1,39	1,43	1,25	P4	0,64	0,90	1,32	2,02	1,80	2,18
P5	1,74	1,83	1,70	1,60	1,57	1,46	P5	1,88	1,49	1,39	1,41	1,31	1,30	P5	-4,21	0,47	2,07	0,55	-0,19	-0,58
P6	1,87	1,68	1,53	1,63	1,55	1,46	P6	1,65	1,29	1,29	1,31	1,35	1,15	P6	-4,40	-1,23	0,78	-0,51	-0,48	0,99
P7	1,79	1,65	1,60	1,58	1,54	1,40	P7	1,80	1,63	1,26	1,26	1,37	1,18	P7	-2,06	1,12	1,63	0,31	-1,17	-0,07
P8	1,93	1,62	1,49	1,59	1,52	1,38	P8	1,13	1,24	1,13	1,06	1,28	1,13	P8	1,29	0,89	1,60	0,66	1,17	0,94
P9	1,91	1,75	1,69	1,56	1,49	1,36	P9	1,69	1,72	1,46	1,39	1,37	1,38	P9	2,72	3,57	5,79	4,89	6,09	7,16
P10	1,71	1,65	1,49	1,57	1,60	1,40	P10	1,31	1,49	1,43	1,46	1,39	1,26	P10	-5,20	-2,64	3,58	2,21	1,81	1,52
P11	1,76	1,61	1,77	1,58	1,53	1,45	P11	1,78	1,91	1,23	1,43	1,38	1,22	P11	1,25	2,15	0,85	-0,34	1,33	0,77
P12	1,69	1,64	1,54	1,51	1,56	1,42	P12	1,11	1,15	1,29	1,41	1,35	1,17	P12	1,23	-1,72	1,50	1,27	1,09	0,84
P13	2,01	1,78	1,45	1,57	1,47	1,33	P13	0,89	1,24	1,38	1,21	1,23	1,15	P13	2,73	2,22	-0,15	-0,52	1,40	1,45
P14	1,86	1,91	1,49	1,54	1,45	1,37	P14	1,22	1,23	1,46	1,13	1,27	1,16	P14	3,16	1,62	1,56	1,06	-0,70	-0,48
P15	1,78	1,60	1,61	1,56	1,56	1,36	P15	1,55	1,38	1,40	1,24	1,48	1,10	P15	0,56	3,60	3,89	4,28	3,82	5,44
P16	1,61	1,74	1,62	1,59	1,61	1,43	P16	1,64	1,47	1,59	1,44	1,50	1,28	P16	0,24	0,96	0,33	0,48	0,89	2,99
P17	2,03	1,75	1,58	1,58	1,53	1,36	P17	1,59	1,61	1,30	1,30	1,43	1,24	P17	-1,90	3,72	3,40	3,04	1,42	1,77
P18	1,63	1,71	1,58	1,59	1,53	1,42	P18	1,22	1,52	1,58	1,48	1,58	1,31	P18	0,19	1,29	0,60	0,08	-0,14	1,72
P19	1,67	1,54	1,68	1,56	1,53	1,42	P19	2,09	1,55	1,59	1,66	1,61	1,24	P19	3,24	1,98	4,02	2,40	3,62	5,12
P20	1,88	1,75	1,76	1,65	1,65	1,47	P20	1,11	1,60	1,55	1,58	1,68	1,43	P20	-0,15	-0,80	-0,12	-0,83	-1,84	-0,73
P21	1,87	1,64	1,84	1,66	1,57	1,35	P21	2,10	1,57	1,50	1,28	1,31	1,26	P21	2,33	-1,11	-1,75	0,00	0,13	0,57
P22	2,01	1,98	1,58	1,51	1,53	1,33	P22	1,96	1,68	1,38	1,20	1,19	1,04	P22	1,95	0,40	-0,29	0,28	0,89	1,96
P23	1,75	1,79	1,45	1,50	1,50	1,34	P23	2,03	1,66	1,21	1,33	1,25	1,09	P23	2,82	0,14	0,85	0,94	0,05	1,87
P24	1,81	1,87	1,62	1,45	1,45	1,33	P24	1,94	1,15	1,05	1,40	1,22	1,16	P24	0,75	-1,55	-0,24	0,75	1,33	1,47
P25	1,97	1,50	1,53	1,58	1,54	1,41	P25	1,48	1,75	1,57	1,37	1,51	1,26	P25	1,53	-1,01	1,44	0,27	-0,30	0,31
P26	1,86	1,82	1,59	1,51	1,50	1,36	P26	1,31	1,47	1,35	1,26	1,16	0,96	P26	1,41	1,01	1,70	-0,11	-0,47	0,99
Fonte 2							Fonte 2							Fonte 2						
P1	1,83	1,83	1,49	1,54	1,54	1,38	P1	1,85	1,84	1,72	1,73	1,54	1,44	P1	-4,01	2,49	2,46	2,34	1,65	3,62
P2	1,88	1,72	1,56	1,58	1,58	1,39	P2	1,84	1,90	1,58	1,52	1,53	1,43	P2	1,55	2,81	1,61	0,52	0,62	1,65
P3	1,85	1,65	1,61	1,63	1,60	1,37	P3	1,98	1,76	1,41	1,40	1,64	1,46	P3	-3,33	0,25	2,08	0,45	0,49	0,78
P4	1,95	1,71	1,69	1,60	1,54	1,45	P4	2,02	1,73	1,12	1,40	1,53	1,18	P4	-2,25	1,27	3,42	1,52	1,62	2,61
P5	1,76	1,75	1,64	1,65	1,58	1,38	P5	1,91	1,40	1,38	1,20	1,03	0,90	P5	-2,25	0,23	1,13	2,70	4,29	4,41
P6	1,75	1,70	1,60	1,54	1,56	1,38	P6	1,90	1,62	1,47	1,42	1,32	1,22	P6	-3,68	1,25	1,56	0,57	1,35	1,47
P7	1,93	1,81	1,58	1,55	1,65	1,40	P7	1,99	1,15	1,31	1,41	1,04	1,09	P7	-0,79	1,09	1,32	0,26	3,28	3,04
P8	1,96	1,62	1,61	1,49	1,52	1,35	P8	1,67	1,10	1,09	1,01	1,15	0,91	P8	-0,85	1,32	1,56	3,27	3,51	3,84
P9	1,83	1,69	1,68	1,51	1,48	1,35	P9	1,20	1,56	1,27	1,28	1,37	1,23	P9	4,23	4,01	3,83	2,83	2,78	2,34
P10	1,71	1,67	1,64	1,59	1,60	1,41	P10	1,38	1,29	1,47	1,33	1,37	1,26	P10	-1,26	2,02	1,57	2,23	2,41	2,53
P11	1,69	1,69	1,65	1,64	1,57	1,40	P11	1,47	1,26	1,08	1,48	1,53	1,37	P11	-2,53	1,55	-0,43	0,00	-0,01	0,72
P12	1,80	1,79	1,48	1,42	1,51	1,38	P12	1,22	1,15	1,14	1,16	1,25	1,03	P12	-1,70	3,15	3,78	2,96	2,99	3,83
P13	1,87	1,64	1,87	1,51	1,54	1,34	P13	1,40	1,57	1,13	1,30	1,06	0,99	P13	0,09	2,82	2,63	2,77	2,45	2,97
P14	1,73	1,82	1,45	1,41	1,42	1,30	P14	1,22	1,22	0,86	1,03	1,02	0,90	P14	4,11	2,09	6,13	2,96	4,30	5,96
P15	2,09	1,81	1,53	1,55	1,57	1,40	P15	1,01	1,34	1,55	1,49	1,49	1,29	P15	-1,00	1,59	1,66	2,61	2,85	4,40
P16	1,82	1,67	1,63	1,54	1,57	1,47	P16	1,40	1,89	1,63	1,36	1,30	1,23	P16	-0,57	-0,63	0,82	0,37	-0,02	0,41
P17	1,94	1,89	1,53	1,52	1,50	1,34	P17	1,65	1,21	1,40	1,51	1,39	1,26	P17	0,83	4,19	2,68	0,90	2,24	2,39
P18	1,83	1,79	1,75	1,58	1,59	1,43	P18	1,70	1,50	1,52	1,55	1,60	1,35	P18	-1,54	-1,27	0,24	0,52	-0,79	0,64
P19	1,65	1,74	1,49	1,58	1,52	1,36	P19	1,85	1,89	1,82	1,67	1,68	1,56	P19	0,73	3,12	1,22	0,08	1,76	1,23
P20	1,79	1,87	1,62	1,62	1,57	1,47	P20	1,80	1,80	1,76	1,57	1,81	1,62	P20	-2,35	-1,23	-1,65	-0,81	-2,66	-2,15
P21	1,82	1,74	1,60	1,54	1,51	1,33	P21	1,95	2,10	1,51	1,46	1,47	1,17	P21	-1,62	0,81	1,26	1,03	0,44	2,65
P22	1,85	1,67	1,55	1,49	1,49	1,34	P22	1,81	1,26	1,38	1,40	1,33	1,14	P22	-2,08	2,53	1,89	2,08	1,69	2,29
P23	1,86	1,77	1,50	1,46	1,46	1,31	P23	1,87	1,38	1,06	1,22	1,18	0,97	P23	0,75	3,72	3,07	2,96	2,00	3,62
P24	1,94	1,85	1,48	1,40	1,45	1,31	P24	1,76	1,09	1,03	1,16	1,15	0,96	P24	0,90	6,50	3,85	2,85	3,11	3,68
P25	1,86	1,73	1,58	1,55	1,54	1,37	P25	1,91	1,52	1,36	1,49	1,49	1,31	P25	-0,81	2,29	1,91	1,63	0,92	1,72
P26	2,13	1,80	1,51	1,48	1,47	1,33	P26	1,73	1,30	1,30	1,06	1,18	1,08	P26	3,27	1,81	1,97	3,58	3,39	3,49
Fonte 3							Fonte 3							Fonte 3						
P1	2,03	1,74	1,64	1,71	1,52	1,36	P1	1,93	2,07	1,65	1,39	1,36	1,27	P1	2,57	3,27	3,14	4,22	2,89	4,19
P2	1,85	1,72	1,65	1,53	1,56	1,39	P2	1,40	1,66	1,76	1,55	1,53	1,30	P2	2,26	4,01	1,81	1,72	1,11	2,76
P3	2,09	1,81	1,71	1,62	1,54	1,38	P3	1,70	1,56	1,63	1,52	1,66	1,24	P3	-1,03	2,85	1,07	0,80	1,61	3,34
P4	2,00	1,72	1,60	1,61	1,55	1,41	P4	2,30	1,53	1,49	1,52	1,62	1,36	P4	-0,46	2,49	1,16	0,64	0,79	2,09
P5	1,86	1,86	1,52	1,60	1,51	1,43	P5	1,95	1,72	1,63	1,39	1,34	1,18	P5	-4,72	1,06	-0,43	1,99	2,27	2,64
P6	1,76	1,83	1,61	1,62	1,63	1,42	P6	2,53	1,63	1,30	1,33	1,30	1,18	P6	-4,63	-0,49	1,80	1,12	0,66	1,61
P7	1,91	1,77	1,53	1,61	1,51	1,41	P7	2,20	1,33	1,16	1,29	1,24	1,06	P7	-1,00	0,39	0,84	1,76	2,40	2,22
P8	1,97	1,59	1,52	1,48	1,50	1,38	P8	1,33	1,25	0,98	1,00	1,13	1,02	P8	1,26	2,35	4,06	3,76	3,31	4,32
P9	1,82	1,61	1,59	1,56	1,47	1,35	P9	2,50	1,71	1,58	1,65	1,31	1,18	P9	-0,79	4,09	0,38	1,11	2,04	3,02
P10	1,50	1,86	1,69	1,62	1,57	1,43	P10	1,70	1,58	1,53	1,52	1,44	1,26	P10	-3,44	1,38	0,78	1,67	2,16	2,30
P11	1,71	1,79	1,79	1,67	1,57	1,41	P11	2,13	1,22	1,36	1,60	1,52	1,36	P11	-3,84	1,36	2,15	1,50	1,34	1,73
P12	1,73	1,61	1,59	1,56	1,46	1,33	P12	1,27	1,26	0,90	0,82	1,10	1,11	P12	2,92	3,19	5,42			

## B.5. Resultado das medições da Configuração 5

Tempo de Reverberação - TR							Tempo Inicial de Decaimento - EDT							Índice de Clareza - C80						
Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Fonte 1	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	1,81	1,67	1,57	1,54	1,48	1,31	P1	1,42	1,79	1,19	1,39	1,41	1,26	P1	3,70	5,75	6,41	5,62	4,27	3,40
P2	2,01	1,60	1,58	1,55	1,43	1,27	P2	1,55	1,04	1,27	1,13	1,20	1,03	P2	3,69	6,53	5,24	4,92	6,01	7,85
P3	1,93	1,71	1,57	1,55	1,54	1,33	P3	1,53	1,05	1,56	1,13	1,28	1,09	P3	-1,63	5,04	2,62	2,21	1,37	2,57
P4	1,90	1,78	1,58	1,60	1,53	1,37	P4	1,61	1,31	1,57	1,19	1,45	1,15	P4	1,13	1,51	0,94	2,41	1,09	3,30
P5	1,82	1,66	1,66	1,53	1,51	1,38	P5	1,33	1,67	1,22	1,16	1,15	1,09	P5	-3,19	1,78	2,28	1,01	1,12	1,58
P6	1,91	1,71	1,58	1,57	1,51	1,41	P6	1,52	1,30	1,05	1,28	1,30	1,14	P6	-4,92	1,03	1,29	1,11	0,42	0,79
P7	1,78	1,72	1,55	1,59	1,50	1,36	P7	2,24	1,26	1,22	1,25	1,28	1,09	P7	-1,29	0,94	1,92	0,81	-1,42	-0,59
P8	1,85	1,68	1,51	1,50	1,51	1,36	P8	0,97	1,14	1,08	1,03	0,98	0,96	P8	0,74	3,13	2,03	1,39	1,23	1,18
P9	1,94	1,79	1,58	1,55	1,50	1,31	P9	1,28	1,67	1,21	1,36	1,29	1,20	P9	3,00	3,95	4,56	4,91	4,94	4,65
P10	1,69	1,50	1,46	1,55	1,51	1,34	P10	1,61	1,67	1,43	1,36	1,40	1,22	P10	-4,85	-1,81	4,46	2,57	0,71	1,42
P11	1,70	1,63	1,58	1,54	1,53	1,41	P11	1,60	1,57	1,30	1,33	1,43	1,24	P11	0,42	1,57	0,74	0,53	0,29	-0,17
P12	1,86	1,69	1,74	1,57	1,47	1,38	P12	1,21	1,14	0,98	0,98	1,10	1,02	P12	2,67	1,59	2,28	2,97	0,75	0,29
P13	1,86	1,64	1,62	1,48	1,51	1,35	P13	1,16	1,47	1,25	1,28	1,22	1,00	P13	2,04	1,93	1,49	-0,13	0,04	0,43
P14	1,57	1,60	1,48	1,59	1,49	1,31	P14	1,18	1,27	1,18	1,14	1,14	1,04	P14	3,16	3,36	2,39	1,68	1,63	2,81
P15	1,83	1,58	1,61	1,48	1,46	1,33	P15	1,57	1,56	1,41	1,41	1,22	1,09	P15	0,69	3,75	4,28	3,59	4,62	6,86
P16	1,75	1,74	1,64	1,52	1,51	1,39	P16	1,54	1,22	1,37	1,30	1,39	1,29	P16	1,78	1,15	0,83	1,06	0,84	2,97
P17	1,66	1,69	1,49	1,48	1,48	1,35	P17	1,72	1,76	1,33	1,44	1,48	1,24	P17	-1,03	4,57	2,50	3,22	2,63	2,62
P18	1,69	1,57	1,59	1,62	1,55	1,39	P18	0,90	1,66	1,54	1,52	1,35	1,18	P18	2,30	1,83	0,87	1,58	1,46	2,61
P19	1,63	1,56	1,52	1,59	1,49	1,36	P19	2,09	1,58	1,76	1,69	1,56	1,33	P19	2,70	2,61	2,23	0,70	1,36	2,61
P20	1,99	1,73	1,69	1,56	1,60	1,40	P20	1,10	1,71	1,55	1,49	1,62	1,39	P20	0,16	-0,77	1,25	-1,25	0,23	1,12
P21	2,14	1,66	1,60	1,54	1,49	1,34	P21	1,32	1,23	1,24	1,28	1,36	1,21	P21	0,93	-0,75	-2,50	0,25	-1,13	-0,14
P22	2,13	1,90	1,61	1,56	1,46	1,29	P22	1,81	1,30	1,18	1,16	1,24	1,08	P22	1,19	-0,06	0,14	1,74	1,48	1,92
P23	1,85	1,84	1,51	1,48	1,45	1,27	P23	1,41	1,42	0,94	1,08	1,26	1,00	P23	-0,23	0,11	1,56	2,04	1,00	2,96
P24	1,72	1,70	1,51	1,49	1,47	1,30	P24	1,87	1,48	1,25	1,21	1,12	1,00	P24	-0,13	0,66	1,76	1,14	2,39	2,71
P25	1,94	1,62	1,51	1,53	1,53	1,32	P25	1,25	1,72	1,37	1,39	1,41	1,23	P25	1,66	-0,55	0,41	1,18	0,40	0,58
P26	1,97	1,64	1,64	1,51	1,45	1,29	P26	1,33	1,28	1,42	1,27	1,11	0,95	P26	3,40	1,71	2,54	1,62	0,29	1,32
Fonte 2							Fonte 2							Fonte 2						
P1	1,789	1,746	1,584	1,556	1,448	1,341	P1	1,90	1,67	1,70	1,62	1,55	1,23	P1	-1,41	2,71	3,09	3,71	4,41	7,03
P2	2,081	1,579	1,5	1,555	1,529	1,391	P2	1,91	1,89	1,54	1,46	1,48	1,21	P2	0,44	2,27	2,29	1,94	3,84	5,18
P3	1,924	1,7	1,538	1,555	1,489	1,392	P3	1,84	1,75	1,30	1,43	1,36	1,16	P3	-1,30	2,11	3,21	1,85	2,19	3,89
P4	1,943	1,947	1,581	1,513	1,522	1,386	P4	1,79	1,35	1,31	1,47	1,25	1,00	P4	-0,37	2,19	3,80	2,34	3,95	4,91
P5	1,603	1,616	1,655	1,552	1,55	1,376	P5	1,66	1,78	1,21	1,21	0,92	0,81	P5	-1,53	-1,90	3,54	3,78	5,10	5,17
P6	1,45	1,738	1,614	1,641	1,571	1,389	P6	1,75	1,44	1,39	1,24	1,27	0,94	P6	-4,87	0,95	2,20	1,59	2,83	4,28
P7	1,911	1,708	1,468	1,496	1,521	1,351	P7	1,83	1,39	1,18	1,14	1,12	1,08	P7	0,85	2,57	2,38	2,46	2,28	3,63
P8	1,893	1,668	1,568	1,507	1,519	1,305	P8	1,14	1,10	1,12	0,99	0,83	0,76	P8	-1,72	1,73	3,75	3,97	5,16	5,30
P9	1,821	1,648	1,641	1,497	1,395	1,31	P9	1,01	1,26	1,27	1,38	1,36	1,19	P9	5,37	4,93	5,19	3,74	2,98	3,79
P10	1,745	1,578	1,588	1,54	1,556	1,328	P10	1,38	1,77	1,21	1,43	1,41	1,17	P10	0,82	1,39	4,34	1,97	1,03	3,14
P11	1,679	1,591	1,517	1,565	1,529	1,394	P11	1,81	1,41	1,36	1,44	1,36	1,17	P11	-0,25	0,77	0,56	0,33	2,18	3,43
P12	1,672	1,722	1,552	1,513	1,466	1,317	P12	1,28	0,96	1,28	1,04	0,93	0,82	P12	0,20	5,44	4,99	4,72	5,41	6,78
P13	1,96	1,79	1,61	1,53	1,52	1,27	P13	1,12	1,43	1,07	0,93	0,92	0,72	P13	-2,09	2,97	4,13	3,76	4,36	5,82
P14	1,91	1,67	1,46	1,51	1,41	1,30	P14	1,14	1,22	0,80	0,96	0,99	0,86	P14	4,97	0,78	5,55	5,93	5,35	5,76
P15	1,99	1,81	1,51	1,49	1,48	1,29	P15	1,30	1,48	1,36	1,41	1,44	1,30	P15	0,01	1,68	3,36	2,76	2,39	4,02
P16	1,58	1,61	1,57	1,59	1,56	1,39	P16	1,86	1,73	1,54	1,47	1,36	1,27	P16	-1,47	-2,97	1,41	1,36	0,32	1,38
P17	1,39	1,52	1,55	1,53	1,46	1,33	P17	1,82	1,14	1,17	1,51	1,45	1,12	P17	-0,45	2,62	4,41	1,76	1,90	4,26
P18	1,68	1,64	1,62	1,61	1,60	1,39	P18	2,03	1,41	1,71	1,61	1,38	1,21	P18	-0,59	1,33	-0,28	0,68	0,69	2,85
P19	1,91	1,89	1,68	1,49	1,54	1,36	P19	1,74	1,40	1,60	1,85	1,60	1,42	P19	-0,18	1,46	2,39	0,74	1,49	2,10
P20	2,00	1,86	1,63	1,61	1,57	1,38	P20	1,83	1,97	1,69	1,59	1,64	1,52	P20	-1,47	-0,04	-0,62	-0,91	-1,69	-1,26
P21	1,66	1,71	1,64	1,58	1,46	1,31	P21	2,43	1,64	1,36	1,24	1,32	1,03	P21	0,71	0,61	1,25	1,13	1,44	4,28
P22	1,52	1,86	1,54	1,51	1,45	1,28	P22	1,84	1,39	1,18	1,21	1,20	0,95	P22	0,27	2,42	1,67	2,12	2,58	3,72
P23	1,90	1,62	1,40	1,43	1,38	1,24	P23	1,80	1,48	1,43	1,14	1,15	0,77	P23	-1,04	3,43	2,73	4,04	4,60	6,14
P24	1,80	1,64	1,50	1,41	1,38	1,24	P24	1,87	0,83	1,02	1,10	0,94	0,69	P24	0,78	6,20	5,01	4,52	4,48	6,44
P25	2,06	1,68	1,60	1,55	1,50	1,38	P25	1,34	1,50	1,61	1,44	1,44	1,15	P25	-3,16	1,39	1,59	1,88	1,72	3,34
P26	1,79	1,60	1,46	1,46	1,47	1,28	P26	1,40	1,18	1,05	1,06	1,12	0,89	P26	2,94	2,73	2,49	4,46	4,45	4,24
Fonte 3							Fonte 3							Fonte 3						
P1	1,77	1,57	1,55	1,53	1,43	1,31	P1	1,90	1,67	1,70	1,62	1,55	1,23	P1	1,23	4,79	2,27	3,94	4,35	4,80
P2	2,03	1,72	1,52	1,61	1,52	1,34	P2	1,91	1,89	1,54	1,46	1,48	1,21	P2	2,96	5,41	4,02	2,84	5,35	5,40
P3	1,86	1,66	1,71	1,56	1,58	1,36	P3	1,84	1,75	1,30	1,43	1,36	1,16	P3	-0,24	2,71	3,11	3,20	4,43	3,83
P4	1,84	1,78	1,63	1,57	1,59	1,38	P4	1,79	1,35	1,31	1,47	1,25	1,00	P4	-0,79	3,07	1,27	2,51	3,33	3,40
P5	1,86	1,88	1,57	1,60	1,53	1,36	P5	1,66	1,78	1,21	1,21	0,92	0,81	P5	-2,37	2,65	1,57	3,29	2,35	3,21
P6	1,83	1,69	1,67	1,62	1,54	1,36	P6	1,75	1,44	1,39	1,24	1,27	0,94	P6	1,11	1,42	1,45	1,49	2,97	4,31
P7	1,96	1,96	1,65	1,55	1,56	1,33	P7	1,83	1,39	1,18	1,14	1,12	1,08	P7	3,44	2,19	2,63	2,35	2,93	3,77
P8	1,92	1,65	1,58	1,44	1,49	1,29	P8	1,14	1,10	1,12	0,99	0,83	0,76	P8	4,25	5,29	4,89	3,76	5,59	5,84
P9	1,85	1,64	1,51	1,56	1,40	1,28	P9	1,01	1,26	1,27	1,38	1,36	1,19	P9	-0,10	5,18	3,86	3,39	2,68	3,48
P10	1,78	1,74	1,58	1,52	1,58	1,37	P10	1,38	1,77	1,21	1,43	1,41	1,17	P10	-1,85	1,75	3,86	1,61	3,37	2,99
P11	2,17	1,88	1,65	1,58	1,52	1,40	P11	1,81	1,41	1,36	1,44	1,36	1,17	P11	-1,74	1,75	0,30	1,12	1,38	2,55
P12	2,02	1,85	1,57	1,55	1,49	1,34	P12	1,28	0,96	1,28										