

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DO TEATRO RIBEIRO CONCEIÇÃO (LAMEGO)

MAGDA BELMIRA GOVERNO GOMES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

FEVEREIRO DE 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTOS DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +51-22-508 1446

✉ mec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizados na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respeito Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respeito Autor.

A meus Pais

“É preciso que eu suporte duas ou três larvas se quiser conhecer as borboletas”

Antoine de Saint-Exupéry

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, dedico a minha mais profunda gratidão. Vocês sempre foram meu porto seguro, minha maior motivação e as pessoas que mais acreditaram em mim, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidava. Por todo amor, paciência e sacrifício ao longo da minha jornada, eu não poderia ter chegado até aqui sem vocês. Obrigada por cada palavra de incentivo, por me ensinarem o valor da resiliência e por estarem ao meu lado, nos dias bons e nos maus. Este trabalho é tão meu quanto de vocês, pois reflete tudo o que aprendi com os exemplos de força, dedicação e generosidade que sempre me deram. A vocês, meu mais sincero amor e eterna gratidão.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, expresso o meu maior agradecimento. Sua orientação, paciência e dedicação foram essenciais para a realização deste trabalho. Agradeço por todas as horas dispensadas em discussões, revisões e pelo incentivo constante. Sua experiência e comprometimento não apenas enriqueceram este trabalho, mas também contribuíram de forma significativa para o meu crescimento académico e pessoal. Suas palavras de encorajamento e críticas construtivas me guiaram em momentos de dúvida, e sua confiança no meu potencial foi um dos principais alicerces que me sustentaram até à conclusão desta dissertação. Obrigado por ser um exemplo de profissionalismo, conhecimento e generosidade.

Ao engenheiro António Eduardo Batista da Costa, minha sincera gratidão pelo apoio técnico indispensável durante a realização deste trabalho. Sou imensamente grata pelo seu profissionalismo, disponibilidade e apoio ao longo desta jornada.

Aos meus colegas de faculdade, deixo aqui meu mais sincero agradecimento pelo apoio e por todos os momentos que vivemos juntos ao longo desta caminhada. Cada conversa, cada desafio superado em equipa e cada instante de descontração fizeram desta experiência algo muito mais especial. Vocês foram uma fonte constante de motivação, inspiração e aprendizagem. A amizade e a parceria que construímos serão lembradas com muito carinho, e levo comigo não apenas as conquistas académicas, mas também as memórias e os laços que criamos ao longo do caminho.

Ao meu namorado agradeço por estar ao meu lado nos momentos mais desafiadores, oferecendo palavras de encorajamento, compreensão e força. Sua presença foi essencial para que eu pudesse enfrentar os obstáculos com mais leveza e determinação. Este trabalho também é reflexo do seu carinho e do seu incentivo, que nunca me deixaram desistir. Obrigado por acreditar em mim e por ser meu porto seguro em todos os momentos.

A todos,

O meu sincero obrigado!

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo a caracterização acústica do Teatro Ribeiro Conceição, situado na cidade de Lamego, através de análises decorrentes de medições realizadas *in situ*.

O teatro foi inaugurado em 1929, mantendo a sua atividade cultural até 1987, ano em que apresentava um estado avançado de degradação. Após a sua reabilitação foi reinaugurado a 23 de Fevereiro de 2008, como a mais bela sala de espetáculos da região duriense.

Para um melhor entendimento da dissertação quanto aos conceitos teóricos básicos de acústica e dos parâmetros utilizados nos ensaios, procedeu-se à sua descrição: Tempo de Reverberação (TR), Absorção sonora, inteligibilidade da palavra, Tempo Central (TS), Claridade (C_{80}), Definição (D_{50}), *Speech Transmission Index* (STI), entre outros.

Conhecidos os resultados através dos ensaios *in situ*, procede-se à verificação dos mesmos de acordo com o regulamento nacional (RRAE) e também de forma a verificar se os valores obtidos se encontram de acordo com a sua utilização.

Desta forma, com o teatro desocupado realizou-se a caracterização acústica, no qual se obtiveram em síntese os seguintes valores dos parâmetros, com e sem o AVAC ligado, em vários pontos da sala:

- Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com/sem AVAC = 31/25 dB;
- Curvas de incomodidade NC (*Noise Criterion*) e NR (*Noise Rating*), com/sem AVAC: NC = 22/19 dB e NR = 24/22 dB;
- Tempo de reverberação médio (TR) [500, 1.000 Hz], com 0%/100% de ocupação: 1,1/1,0 s;
- *Speech Transmission Index* (STI) máximo, médio e mínimo com/sem AVAC: 0,60/0,70; 0,52/0,55 e 0,44/0,51;
- Claridade média (C_{80}), [500, 1.000 Hz]: 5,6 dB;
- Definição média (D_{50}), [500, 1.0000 Hz]: 0,65;
- Tempo Central médio (TS), [500, 1.000 Hz]: 58 ms;
- Rácios de Baixos (BR): 0,94/1,04.

Esta análise demonstrou que o Teatro Ribeiro Conceição não se encontra totalmente adequado para alguns tipos de música sinfónica, estando mais adequado para peças teatrais.

Apresenta-se uma comparação com cinco salas internacionais, com o mesmo formato em “ferradura” e com onze salas nacionais com formatos variados. Comparativamente com as salas internacionais verificou-se que se obteve um Tempo de reverberação médio maior.

Comparativamente com as onze salas nacionais de formatos diferentes o Teatro Ribeiro Conceição obteve um baixo Tempo de reverberação médio (1,05) inferior a

algumas outras salas (Auditório da FEUP e Cineteatro de Amarante) em que o volume é até inferior.

Faz-se uma comparação com dois teatros nacionais com formatos semelhantes (em ferradura), o Teatro S. João (Porto) e Teatro Sá de Miranda (Viana do Castelo), que foram também alvo de recente caracterização acústica. O Teatro Ribeiro Conceição revelou ter maiores valores médios de Claridade (C_{80}) e Definição (D_{50}), um valor intermédio de STI e um menor valor de Tempo Central, apesar de apresentar o menor valor Tempo de reverberação. Em resumo, os três teatros encontram-se mais adequados para funções teatrais (palavra) do que para música sinfónica, no geral.

Após a avaliação global do Teatro Ribeiro Conceição, são sugeridas algumas abordagens para possíveis desenvolvimentos futuros deste trabalho de forma a complementar a análise, face às conclusões retiradas.

PALAVRA-CHAVE: Acústica, Teatro, Tempo de reverberação, Inteligibilidade da palavra, Claridade.

ABSTRACT

This dissertation aims to acoustically characterize the Theater Ribeiro Conceição, located in the city of Lamego, Portugal, through analyses and measurements conducted in situ.

The theater was inaugurated on, 1929, and maintained its cultural activities until 1987, the year in which it was found to be in an advanced state of degradation. After its rehabilitation, it was reinaugurated on 2008, as the most beautiful performance hall in the Douro region.

For a better understanding of the dissertation some basic theoretical concepts of acoustics were provide and also about the parameters used in the tests: Reverberation Time (RT), sound absorption, Speech intelligibility, Central Time (TS), Clarity (C_{80}), Definition (D_{50}), Speech Transmission Index (STI), among others.

The on-site tests results were verified against the national regulation (RRAE) and also to check if the values were in accordance with the intended use.

With the unoccupied theater, an acoustic characterization was performed, during which the following parameter values were obtained with the HVAC system turned on and off, at various positions in the hall:

- Equivalent sound level of background noise (L_{Aeq}) with/without HVAC: 31/25 dB;
- Noise Criterion (NC) and Noise Rating (NR) curves, with/without HVAC: NC = 22/19 dB and NR = 24/22 dB;
- Average Reverberation Time (RT) [500, 1,000 Hz], with 0%/100% occupancy: 1.1/1.0 s;
- Speech Transmission Index (STI) maximum, average, and minimum values, with/without HVAC: 0.60/0.70, 0.52/0.55, and 0.44/0.51;
- Average Clarity (C_{80} [500, 1,000 Hz]: 5.6 dB;
- Average Definition (D_{50}) [500, 1,000 Hz]: 0.65;
- Average Central Time (TS) [500, 1,000 Hz]: 58 ms;
- Bass Ration (BR):0,94/1,04.

This analysis demonstrated that this theater is less suitable for certain types of symphonic music, being more appropriate for theatrical performances.

A comparison was made with five international halls of the same "horseshoe" shape and eleven national halls with varied layouts. Compared to the international halls, it was found that the Theater Ribeiro Conceição achieved a lower Reverberation time.

When compared to the eleven national halls of varying designs, the Theater Ribeiro Conceição exhibited a low mean reverberation time (1.05 seconds) compared to some other venues (such as the FEUP Auditorium and the Cineteatro de Amarante), even though their volumes are smaller.

A comparison was also made with two national theaters of similar layouts “horseshoe”: the Teatro S. João (Porto) and Teatro Sá de Miranda (Viana do Castelo), both of which also underwent recent acoustic characterization. The Theater Ribeiro Conceição was shown to have higher average values of Clarity (C_{80}) and Definition (D_{50}), an intermediate STI value, and a lower mean Central Time value, despite having the lowest reverberation time. In summary, the three theaters are better suited for theatrical performances (speech) than for symphonic music overall.

Finally, several approaches were suggested for future developments to complement the analysis based on the conclusions drawn from this work.

KEYWORDS: Acoustics, Theater, Reverberation time, Speech intelligibility, Clarity.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE QUADROS.....	XVII
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XXI
 INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
CONCEITOS E DEFINIÇÕES	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.1.1. NATUREZA DO SOM.....	3
2.1.2. SISTEMA AUDITIVO HUMANO	3
2.2. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS	5
2.2.1. ANÁLISE DA PRESSÃO	5
2.2.1.1. Natureza e propagação do som	5
2.2.1.2. Velocidade de propagação do som	6
2.2.1.3. Intensidade e potência sonoras.....	6
2.2.1.4. Pressão sonora e níveis de pressão sonora	7
2.2.2. FREQUÊNCIA	9
2.2.2.1. Definição	9
2.2.2.2. Bandas de frequência	11
2.2.2.3. Curvas de ponderação	13
2.2.2.4. Comprimento de onda.....	14
2.2.3. ANÁLISE NO TEMPO.....	15
2.3. ABSORÇÃO SONORA	16
2.3.1. GENERALIDADES.....	16
2.3.2. MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES SONOROS	18
a) Materiais porosos e fibrosos.....	18
b) Membranas	19
c) Ressonadores.....	20
2.4. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	20
2.4.1. DEFINIÇÃO	20
2.4.2. TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL	22
2.4.3. RÁCIO DE BAIXOS (<i>BR</i>)	23
2.5. ISOLAMENTO SONORO	24
2.5.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS.....	24
2.5.2. RUÍDO DE FUNDO E INCOMODIDADE.....	25

2.6.	INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA	28
2.6.1.	CONCEITOS BÁSICOS	28
2.6.2.	VARIABILIDADE DA EMISSÃO DA VOZ	29
2.6.3.	PARÂMETROS DE MEDIDA	29
2.7.	ACÚSTICA ARQUITETÓNICA	30
2.7.1.	INTRODUÇÃO	30
2.7.2.	INTERLIGAÇÃO DO SOM/ARQUITETURA.....	31
2.7.2.1.	Reflexões	31
2.7.2.2.	Ecos	31
2.7.2.3.	Discos suspensos	32
2.7.2.4.	Difusão	32
2.7.3.	ACÚSTICA VARIÁVEL	33
2.7.4.	PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS	34
2.7.4.1.	Clareza (<i>C80</i>)	34
2.7.4.2.	Definição (<i>D50</i>)	35
2.7.4.3.	Tempo central (<i>TS</i>)	36
2.7.5.	PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS	36
	ESTADO DA ARTE	39
3.1.	SALAS DE ESPETÁCULO	39
3.1.1.	CONTEXTO HISTÓRICO	39
a)	Antiguidade clássica	39
b)	Renascimento	40
c)	Barroco.....	41
d)	Neoclassicismo	42
e)	Romantismo	43
3.1.2.	ÓPERA.....	44
3.1.2.1.	Ópera Não Wagneriana	44
3.1.2.2.	Ópera Wagneriana	45
3.2.	CONSIDERAÇÕES ACÚSTICAS PARA SALAS DE ÓPERA E TEATRO	45
3.2.1.	ASPETOS GERAIS	45
3.2.2.	VOZ CANTADA.....	46
3.2.3.	ESTRUTURA FÍSICA E DISPOSIÇÃO	48
3.2.4.	GALERIAS/BALCÕES.....	49
3.2.5.	PROSCÉNIO	50
3.2.6.	TETOS E PAREDES	51
3.2.7.	A ORQUESTRA NO FOSSO	52
3.3.	LEGISLAÇÃO EM PORTUGAL	53
	TEATRO RIBEIRO CONCEIÇÃO	57
4.1.	ENQUADRAMENTO GERAL	57
4.2.	DESCRIÇÃO ARQUITETÓNICA E GEOMÉTRICA	59
	METODOLOGIA DOS ENSAIOS	65
5.1.	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	65
5.2.	PARÂMETROS DE MEDIÇÃO	66
5.2.1.	RUÍDO DE FUNDO	66

5.2.2. OUTROS PARÂMETROS.....	68
RESULTADOS.....	71
6.1. INTRODUÇÃO.....	71
6.2. RUÍDO DE FUNDO	71
6.2.1. MEDIÇÕES <i>IN SITU</i>	71
6.2.2. CURVAS DE INCOMODIDADE NC E NR.....	78
6.2.3. LEGISLAÇÃO NACIONAL (RRAE).....	78
6.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	79
6.3.1. SALA VAZIA	79
6.3.2. PREVISÃO PARA SALA OCUPADA	84
6.3.3. OBSERVAÇÃO COMPARATIVA CONSIDERANDO VALORES IDEAIS.....	86
6.3.4. LEGISLAÇÃO NACIONAL (RRAE)	87
6.4. RÁCIO DE BAIXOS (BR)	88
6.5. INTILIGIBILIDADE DA PALAVRA.....	91
6.6. CLARIDADE (C80)	95
6.7. DEFINIÇÃO (D50)	102
6.8. TEMPO CENTRAL (TS).....	108
6.9. EFEITO DO AVAC	115
COMPARAÇÃO COM OUTROS TEATROS.....	117
7.1. INTRODUÇÃO.....	117
a) Salas internacionais com formato semelhante (“ferradura”):	117
b) Salas portuguesas com formato semelhante (“ferradura”):.....	117
c) Salas portuguesas de outros formatos:	117
7.2. SALAS INTERNACIONAIS	119
7.3. SALAS NACIONAIS COM GEOMETRIA SEMELHANTE “FERRADURA”	121
7.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	121
7.3.2. CLARIDADE (C80).....	122
7.3.3. DEFINIÇÃO (D50)	124
7.3.4. TEMPO CENTRAL (TS).....	125
7.3.5. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)	127
7.4. SALAS NACIONAIS DE DIFERENTES DISPOSIÇÕES	128
7.4.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	128
7.4.2. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)	132
CONCLUSÃO	141
8.1. CONCLUSÕES	141
8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Esquema do ouvido humano [5]	4
Fig. 2.2 - Esquema do ouvido médio e interno [5]	5
Fig. 2.3 - Esquema de propagação do som [7]	6
Fig. 2.4 - Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) [1]	7
Fig. 2.5 - Pressão sonora e nível de pressão sonora [8]	8
Fig. 2.6 - Exemplos de gamas de emissão de fontes sonoras típicas [1]	9
Fig. 2.7 - Gamas de frequências audível (humanos) [1]	10
Fig. 2.8 - Som puro e os respetivos oscilogramas e espectros [9]	10
Fig. 2.9 - Som complexo e os seus respetivos oscilogramas e espectro [9]	11
Fig. 2.10 - Curvas de igual sensibilidade auditiva em fone [11]	13
Fig. 2.11 - Curvas de ponderação A, B, C e D [10]	14
Fig. 2.12 - Comprimento de onda, de um som puro (acima) e um som complexo (em baixo) [10]	15
Fig. 2.13 - Incidência sonora numa superfície, incluindo os fenómenos de transmissão, absorção e reflexão [10]	16
Fig. 2.14 - Representação esquemática da interação dos poros e das fibras, na dissipação da energia através destes. [10]	19
Fig. 2.15 - Representação esquemática de uma membrana [10]	20
Fig. 2.16 - Representação esquemática do funcionamento de um ressoador [10]	20
Fig. 2.17 - Definição de tempo de reverberação (RT60) (valor teórico, esq. e obtido por extrapolação do declive, dir.) [1]	21
Fig. 2.18 - Esquema representativo de transmissão de ruídos aéreos (esq.) e de percussão (dir.) [16]	25
Fig. 2.19 - Transmissão de ruído por via marginal e via direta [17]	25
Figs. 2.20 e 2.21 - Curva de incomodidade NC (Noise Criterion) (dir.) e Curvas de incomodidade NR (Noise Rating) (esq.) [18]	27
Fig. 2.22 - Reflexões de uma sala de espetáculos [19]	31
Fig. 2.23 - Reflectograma com eco [19]	32
Fig. 2.24 - Discos voadores (Royal Albert Hall, Londres) [19]	32
Fig. 2.25 - Vários mecanismos de absorção variável [20]	33
Fig. 2.26 - Representação da variação de volume da sala de espetáculos (Edwin Thomas Hall, Akron, EUA) [20]	34
Fig. 3.1 - Planta do Teatro de Dionísio, Atenas [21]	40
Fig. 3.2 - Exemplo de um palco Elisabetano [23]	40
Figs. 3.3 e 3.4 - Teatro Olímpico de Vincenza, em Vicenza (dir.) e Teatro All'antica, em Sabbioneta (esq.) [23]	41
Fig. 3.5 - Teatro San Cassiano, em Veneza (1637) [24]	42

Fig. 3.6 - Altes Gewandhaus em Leipzig, [23]	43
Fig. 3.7 - Imagem Opera House, em Londres (1732) [24]	44
Fig. 3.8 - Espectros do som orquestral e da voz cantada, mostrando o “singing formant” em torno de 3.000 Hz [19]	47
Fig. 3.9 - Padrão de diretividade da voz para um cantor barítono [19]	48
Fig. 3.10 - O efeito do ângulo de visão na visibilidade do palco [19]	49
Figs. 3.11 e 3.12 - Teatro Alla Scala, Milão (dir.) e o Teatro da Paz, Belém, Brasil (esq.) [24].	49
Fig. 3.13 - Projeto recomendado para elaboração de varandas em tetos de ópera [14]	50
Fig. 3.14 - Reflexões associadas à forma do projeto da ópera na planta (adaptado de [19]) ...	51
Fig. 3.15 - Reflexões com um teto inclinado do proscênio até o teto plano (adaptado de [19]).....	51
Figs. 3.16 e 3.17 - Projeto acústico proposto para a Deutsche Oper Berlin (esq.) projeto final de execução (dir.) [19]	52
Fig. 4.1 - Comendador Ribeiro Conceição [28]	57
Fig. 4.2 - Localização do Teatro Ribeiro Conceição, Lamego [30]	58
Fig. 4.3 - Teatro Ribeiro Conceição, em Lamego [27]	58
Fig. 4.4 - Planta do Teatro Ribeiro Conceição [28]	59
Fig. 4.5 - Planta do palco do teatro Ribeiro Conceição [28]	60
Figs. 4.6 e 4.7 - Palco totalmente aberto (dir.) e o palco condicionado através das bombalinas e pernas (esq.) [Fotos da autora]	60
Fig. 4.8 - Planta e alçado esquemático do fosso de orquestra [28]	61
Fig. 4.9 - Interior da sala do Teatro Ribeiro Conceição [Foto da autora]	62
Figs. 4.10 e 4.11 - Lustre estilo francês (esq.) e talha dourada (dir.) [Fotos da autora]	62
Figs. 4.12 e 4.13 - Cortinas aplicadas nas frisas e balcões (dir.), Paredes (esq.) [fotos da autora]	63
Figs. 4.14 e 4.15 - Teto em forma abobada (esq.) e Teto com o remate curvo nos pilares (dir.) [fotos da autora]	64
Fig. 4.16 - Cadeira almofadas do Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora]	64
Fig. 5.1 - Equipamentos de medição: A – Fonte Sonora, B – Sonómetro C – Calibrador de microfone e D – Microfone [31], [32], [33] e [34]	66
Figs. 5.2 e 5.3 - Fonte sonora (esq.) Sonómetro aplicado no tripé no Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora]	67
Fig. 5.4 – Planta do Teatro Ribeiro Conceição dos sete pontos escolhidos para as medições do ruído de fundo: 1, 2 e 3 situados na plateia, 9 no 1º balcão, 11 no camarote 1ª ordem, 12 no 2º balcão e o 14 no camarote 2ª ordem (adaptado de [28])	67
Figs. 5.5 e 5.6 - Fonte sonora instalada no centro do palco (esq.), e o software DIRAC (dir.), no Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora]	69
Fig. 5.7 - Planta do Teatro Ribeiro Conceição com a representação da fonte sonora (FS) e dos quatorze pontos, escolhidos para as medições de TR , TS , C_{80} , D_{50} e STI : pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 situados na plateia, 8 e 7 frisas, 9, 10 e 11 no 1º balcão do primeiro nível e 12, 13 e 14 no 2º balcão do segundo nível (adaptado de [28])	69

Fig. 6.1 - Valores de níveis de pressão sonora dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado	73
Fig. 6.2 - Valores de níveis sonoro dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) com a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado	73
Fig. 6.3 - Valores de níveis de pressão sonora dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado	74
Fig. 6.4 - Valores de níveis sonoros dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) com a curva A em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado	74
Fig. 6.5 - Valores médios dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (dB), de todos os pontos com e sem a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava com AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição	76
Fig. 6.6 - Valores médios dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (dB), de todos os pontos com e sem a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava sem AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição	76
Fig. 6.7 - Comparação entre os valores médios do nível de pressão sonora de ruído de fundo (RF), em bandas de frequência de 1/3 de oitava com e sem o AVAC ligado e a respetiva variação dos níveis de pressão, do Teatro Ribeiro Conceição	77
Fig. 6.8 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava com o AVAC ligado, no Teatro Ribeiro Conceição.....	81
Fig. 6.9 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição	82
Figura 6.10 - Média dos valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava com e sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição	82
Fig. 6.11 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava, com o AVAC ligado, no Teatro Ribeiro Conceição.....	83
Fig. 6.12 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem o AVAC ligado, no Teatro Ribeiro Conceição	83
Fig. 6.13 - Valores do Tempo de reverberação com a percentagem de ocupação da sala de (0%), (50%) e com (100%) em bandas de 1/1 oitava sem AVAC ligado	86
Figura 6.14 - Comparação dos valores do parâmetro <i>BR</i> para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a respetiva média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	89
Figura 6.15 - Comparação dos valores do parâmetro <i>BR</i> para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a respetiva média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	90
Figura 6.16 - Comparação dos valores do parâmetro <i>BR</i> para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC e a correspondente variação entre eles	90
Figura 6.17 - Comparação dos valores do parâmetro <i>STI</i> para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	93
Figura 6.18 - Comparação dos valores do parâmetro <i>STI</i> para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	94

Figura 6.19 - Comparação dos valores do parâmetro STI médio para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC e a correspondente variação entre eles	94
Figura 6.20 - Esquema representativo das linhas de igual STI (Speech Transmission Index) com a respetiva fonte sonora (FS) do Teatro Ribeiro Conceição	95
Figura 6.21 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	98
Figura 6.22 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	98
Figura 6.23 - Média dos Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem e com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	99
Figura 6.24 - Comparação dos valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	99
Figura 6.25 - Comparação dos valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	100
Figura 6.26 - Comparação dos valores médios do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação do Teatro Ribeiro Conceição	101
Figura 6.27 - Valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	105
Figura 6.28 - Valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	105
Figura 6.29 - Média dos valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com e sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	106
Figura 6.30 - Comparação dos valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	106
Figura 6.31 - Comparação dos valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	107
Figura 6.32 - Comparação dos valores médios do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação do Teatro Ribeiro Conceição	108
Figura 6.33 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	111
Figura 6.34 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	111
Figura 6.35 - Média dos valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com e sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	112
Figura 6.36 - Comparação dos valores do Tempo central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	112
Figura 6.37 - Comparação dos valores do Tempo central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição	113

Figura 6.38 - Comparação dos valores médios do parâmetro Tempo Central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação, no Teatro Ribeiro Conceição	114
Fig. 7.1 - Valores do Tempo de reverberação TR (s) [500, 1.000 Hz] desocupado, das cinco salas internacionais e do Teatro Ribeiro Conceição [15]	119
Fig. 7.2 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] (s) desocupado em função do Volume das cinco salas internacionais (tipo “ferradura” e do Teatro Ribeiro Conceição com a respetiva linha de tendência (exponencial) [15]	120
Fig. 7.3 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] (s) para desocupado em função do número de lugares das cinco salas internacionais (tipo “ferraduras”) e do Teatro Ribeiro Conceição com a respetiva linha de tendência (exponencial) [15]	120
Fig. 7.4 - Valores do Tempo de reverberação (salas desocupadas) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e do Teatro Ribeiro Conceição e seus respetivos valores médios [16] [36]	122
Fig. 7.5 - Valores da Claridade (C_{80}) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional Do São João e Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36]	123
Fig. 7.6 - Valores de Definição (D_{50}) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36]	125
Fig. 7.7 - Valores do Tempo central (TS) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36]	126
Fig. 7.8 - Valores do Speech Transmission Index (STI) máximo, médio e mínimo do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e o do Teatro Ribeiro Conceição [16] [36]	128
Fig. 7.9 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] em função do Volume das onze salas nacionais e do Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (logarítmica)	130
Fig. 7.10 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] em função do número de lugares das onze salas nacionais e do Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (logarítmica)	130
Fig. 7.11 - Valores do parâmetro STI médio em função do Tempo de reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]) das doze salas nacionais incluindo, Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (potência)	135
Fig. 7.12 - Valores do parâmetro STI mínimo em função do Tempo de reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]) das doze salas nacionais incluindo, Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (potência)	135
Fig. 7.13 - Valores do parâmetro STI médio em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear)	136
Fig. 7.14 - Valores do parâmetro STI médio em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear)	136
Fig. 7.15 - Valores do parâmetro STI mínimo em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear)	137
Fig. 7.16 - Valores do parâmetro STI mínimo em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear)	138

Fig. 7.17 - Valores do parâmetro tempo de reverberação em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC das doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear) 139

Fig. 7.18 - Valores do parâmetro tempo de reverberação em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC das doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear) 139

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Valores de ponderação A para bandas de frequência de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível (adaptado de [1])	12
Quadro 2.2 - Valores de coeficientes de absorção sonora (α), de alguns materiais ou sistemas (adaptado de [1])	18
Quadro 2.3 - Valores ideais para o tempo de reverberação em função do tipo de utilização (adaptado de [1])	22
Quadro 2.4 - Valores de BR (<i>Bass Ration</i>) e TR (Tempo de reverberação) em diferentes salas de concertos, com ocupação [15]	24
Quadro 2.5 - Valores máximos recomendados de NC para algumas situações (adaptado de [1]).....	28
Quadro 2.6 - Variabilidade da emissão de voz entre as vogais e consoantes (adaptado de [1])	29
Quadro 2.7 - Relação qualificada dos valores de STI e RASTI (adaptado de [17])	30
Quadro 2.8 - Valores de ideais C_{80} para determinados tipos de utilização (adaptado de [1]) ..	35
Quadro 2.9 - Valores ideais para a Definição (D_{50}) [35]	36
Quadro 4.1 - Valores da área, altura média e do volume das zonas do Teatro Ribeiro Conceição	61
Quadro 5.1 - Número de ensaios efetuados em cada ponto para a medição do ruído de fundo e a distância de cada ponto até a fonte sonora (FS)	68
Quadro 5.2 - Número de ensaios efetuados em cada ponto para AVAC ligado e desligado e a distância de cada ponto até a fonte sonora (FS)	70
Quadro 6.1 - Valores dos níveis de pressão sonora e nível sonoro nos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) e nível pressão sonora equivalente (L_{eq}) do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado	72
Quadro 6.2 - Valores dos níveis de pressão sonora e nível sonoro nos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) e nível pressão sonora equivalente (L_{eq}) do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado	72
Quadro 6.3 - Variação dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) com o AVAC ligado e desligado do Teatro Ribeiro Conceição	73
Quadro 6.4 - Valores da média logarítmica do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e o nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição	75
Quadro 6.5 - Variação dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) com o AVAC ligado e desligado de acordo com a sua frequência	77
Quadro 6.6 - Valores calculados de NC e NR de acordo com o funcionamento do AVAC e a sua variação, comparativamente com os valores máximos recomendados [1]	78
Quadro 6.7 - Avaliação regulamentar (RRAE) do nível sonoro contínuo equivalente no Teatro Ribeiro Conceição	79

Quadro 6.8 - Valores do Tempo de reverberação (T_{30}) em bandas de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz para os pontos P1 a P14 obtidos no Teatro Ribeiro Conceição, juntamente com a média e desvio padrão com AVAC ligado (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	80
Quadro 6.9 - Valores do Tempo de reverberação (T_{30}) em bandas de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz para os pontos P1 a P14 obtidos no teatro Ribeira Conceição, juntamente com a média e desvio padrão sem o AVAC ligado (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	81
Quadro 6.10 - Parâmetros utilizados para a previsão do Tempo de reverberação com a sala 50% e 100% ocupada do Teatro Ribeiro Conceição [15]	85
Quadro 6.11 - Cálculo dos valores do Tempo de Reverberação estimado para a sala com 50% e 100% de ocupação nas bandas de 1/1 oitava de 250 a 4.000 Hz sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição	85
Quadro 6.12 - Verificação dos valores recomendados para o parâmetro Tempo de reverberação médio de acordo com a função do Teatro Ribeiro Conceição [1]	87
Quadro 6.13 - Análise regulamentar (RRAE) do Tempo de reverberação médio sem o funcionamento do AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	88
Quadro 6.14 - Valores médios do Rácio de Baixos para os pontos P1 a P14 (com e sem AVAC), com a respetiva média, desvio padrão e variação medido no Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	88
Quadro 6.15 - Valores médios de Rácio de Baixos e do Tempo de reverberação para os pontos P1 a P14 (com e sem AVAC), e a respetiva comparação dos valores ideais de Rácio de baixos de acordo com o Tempo de reverberação, do Teatro Ribeiro Conceição [14]	91
Quadro 6.16 - Valores médios do parâmetro STI para os pontos P1 a P14 (com e sem AVAC), e a respetiva variação entre eles e a respetiva comparação dos valores ideais na inteligibilidade da palavra do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [17]	93
Quadro 6.17 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (com AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	96
Quadro 6.18 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (sem AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	97
Quadro 6.19 - Valores médios do parâmetro Claridade (C_{80}) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	100
Quadro 6.20 - Verificação dos valores considerados ideais do parâmetro Claridade (C_{80}) de acordo com a utilização do espaço para o Teatro Ribeiro Conceição	101
Quadro 6.21 - Valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (com AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: Maior e menor valor em cada coluna)	103
Quadro 6.22 - Valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (sem AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	104

Quadro 6.23 - Valores médios do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	107
Quadro 6.24 - Valores do parâmetro Tempo central (TS) para os quatorze pontos (P1 a P14) medidos e a respetiva média e desvio padrão com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	109
Quadro 6.25 - Valores do parâmetro Tempo central (TS) para os quatorze pontos (P1 a P14) medidos e a respetiva média e desvio padrão sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	110
Quadro 6.26 - Valores médios do parâmetro Tempo Central (TS) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	113
Quadro 6.27 - Verificação dos valores recomendados do parâmetro Tempo Central médio de acordo com a função para com e sem funcionamento do AVAC do Teatro Ribeiro Conceição	115
Quadro 6.28 - Efeito do funcionamento do AVAC nos parâmetros acústicos medidos no Teatro Ribeiro Conceição	115
Quadro 7.1 - Comparação das doze salas nacionais para diferentes atividades mais exibidas.....	118
Quadro 7.2 - Valores do Tempo de reverberação médio (TR) [500, 1.000 Hz], sem ocupação de cinco salas internacionais de formato “ferradura” e do Teatro Ribeiro Conceição com o seu respetivo volume e número de lugares (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [15]	119
Quadro 7.3 - Valores do Tempo de reverberação (salas desocupadas) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36]	121
Quadro 7.4 - Valores de Claridade (C_{80}) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36]	123
Quadro 7.5 - Valores da Definição (D_{50}) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36]	124
Quadro 7.6 - Valores do Tempo Central (TS) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36]	126
Quadro 7.7 - Valores do <i>Speech Transmission Index (STI)</i> máximo, médio e mínimo do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e o do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36]	127
Quadro 7.8 - Valores do Volume, Número de lugares e TR médio (500, 1.000 Hz) sem AVAC, das doze salas nacionais compreendendo o Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna)	129
Quadro 7.9 - Verificação dos valores ideais do parâmetro Tempo de reverberação médio [500, 1.000 Hz] de acordo com vários tipos de função de doze salas nacionais [37] [17] [38] [44] [39] [40] [41] [42] [43] [20] [1]	132

Quadro 7.10 - Valores do Volume, Número de lugares, STI (médio e mínimo) e Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC para as doze salas nacionais incluindo o Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna) 133

Quadro 8.1 - Resumo dos parâmetros acústicos medidos no Teatro Ribeiro Conceição com as respetivas verificações regulamentares e avaliação funcional 142

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

A	– Área de Absorção sonora equivalente (m^2)
AC	– <i>Articulation Class</i>
AI	– <i>Articulation Index</i> (Índice de Articulação)
BR	– <i>Bass Ratio</i> (Rácio de Baixos)
c	– Celeridade (m/s)
C_{80}	– Claridade (dB)
α	– Coeficiente de absorção sonora
α	– Coeficiente de absorção sonora do material
λ	– Comprimento de onda (m)
K	– Constante
K_{tonal}	– Penalização RGR (3 dBA)
D_{50}	– Definição
dB	– Decibel
r	– Distância (m)
EDT	– <i>Early Decay Time</i> (Tempo de Decaimento Curto) (s)
E	– Energia absorvida e incidente (J)
FS	– Fonte Sonora
F	– Intensidade audível absoluta (<i>fone</i>)
f	– Frequência (Hz)
f_0	– Frequência central; valor médio (Hz)
f_1	– Frequência de limite inferior (Hz)
f_2	– Frequência de limite superior (Hz)
ITDG	– <i>Initial Time Delay Gap</i> (ms)
I	– Intensidade Sonora (W/m^2)
I_0	– Intensidade Sonora de Referência (W/m^2)
B	– Largura de banda (Hz)
ρ	– Massa Volúmica (kg/m^3)
L_i	– Nível de Intensidade Sonora (dB)
L_p	– Nível de Pressão Sonora (dB)
L_w	– Nível de Potência Sonora (dB)
Leq	– Nível de Pressão sonora contínua equivalente (dB)
$L_{Ar,nT}$	– Nível de avaliação padronizado do ruído particular de equipamentos (dB)

L_A – Nível Sonoro contínuo equivalente do equipamento (dB)

MRT – *Modified Rhyming Tests*

NC – *Noise Criterion*

NR – *Noise Rating*

T – Período (s)

p – Pressão (Pa)

P_{at} – Pressão atmosférica (Pa)

p_0 – Pressão de Referência (Pa)

W – Potência Sonora (W)

W_0 – Potência Sonora de Referência (W)

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

S – Intensidade audível relativa (sone)

S – Superfície real do material (m^2)

SIL – *Speech Interference Level*

STI – *Speech Transmission Index*

T – Temperatura (K)

TS – Tempo central (ms)

TR – Tempo de reverberação (s)

θ – Temperatura ($^{\circ}C$)

V – Volume do compartimento (m^3)

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A acústica faz parte da física e estuda especificamente o som, que são ondas mecânicas de frequência variável propagando-se pelo ambiente e causando uma sensação auditiva. Analisa ainda o ambiente em que existe som e os sistemas de sua produção e captação, assim como a audição e a comunicação acústica.

Ao longo dos tempos, o ser humano foi compreendendo que um projeto arquitetónico teatral, por mais que possua uma bela estrutura e um surpreendente *design* não pode deixar de lado o fator acústico. Entre outras coisas, o ambiente deve ser capaz de propagar o som de forma clara e inteligível.

O surgimento da Acústica dos Edifícios, tal como se conhece hoje, “nasceu” com o intuito de solucionar problemas relacionados com o som, através de duas perspetivas distintas de análise: a correção acústica e o isolamento sonoro.

Atualmente, a Acústica, tornou-se uma exigência legal em Portugal e em muitos outros países, sendo a sua implementação uma necessidade primordial para um bom funcionamento de qualquer sala de espetáculo ou auditório. De forma a proporcionar a melhor experiência possível ao público, não existe outro caminho senão a coexistência perfeita entre os elementos acústicos e arquitetónicos.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O objetivo principal desta dissertação é a caracterização acústica do Teatro Ribeiro Conceição.

Como tal, foram realizadas medições *in situ* de forma a se obter resultados objetivos diferentes para parâmetros acústicos. Após os resultados analisa-se se estão de acordo com o tipo de utilização do espaço, de forma a proporcionar uma boa experiência a todos os espectadores e aos artistas que pretendam assistir e criar a uma peça de teatro ou a um concerto.

Para uma melhor contextualização do caso em estudo, realiza-se uma comparação dos valores dos parâmetros acústicos obtidos, com os de outras salas de espetáculo, tanto portuguesas como internacionais, tendo entre si características arquitetónicas semelhantes.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação encontra-se dividida em oito capítulos.

No primeiro capítulo, “Introdução”, faz-se uma breve abordagem e enquadramento do tema do trabalho, apresentando-se os objetivos pretendidos e a descrição da estrutura global.

No segundo capítulo, “Conceitos e Definições”, são abordados conceitos teóricos básicos de acústica que foram utilizados na elaboração da tese e que são imprescindíveis para o entendimento do trabalho.

No terceiro capítulo, “Estado da Arte”, dispõe-se a informação histórica sobre a origem das salas de espetáculos e dos diferentes tipos, em termos de funcionalidades e características em especial, acústicas.

No quarto capítulo, “Teatro Ribeiro Conceição”, apresenta-se o teatro em estudo, neste caso Teatro Ribeiro Conceição, elaborando-se um enquadramento geral e uma descrição a nível arquitetónico e geométrico.

No quinto capítulo, “Metodologia dos Ensaios”, faz-se a descrição de todo os procedimentos realizados nos ensaios *in situ*, e do equipamento utilizado para as medições.

No sexto capítulo, “Resultados”, são apresentados os valores obtidos relativamente aos ensaios expostos no capítulo anterior, os quais são submetidos a análises e verificações regulamentares.

No sétimo capítulo, “Comparação com outros Teatros”, é realizada uma comparação dos valores obtidos com os de teatros com disposições semelhantes e diferentes.

No oitavo capítulo, “Conclusão”, expõem-se as conclusões referentes a todo o trabalho realizado na dissertação e são apresentadas propostas de desenvolvimento futuros para melhoramento, ou de certa forma complementar, o estudo aqui desenvolvido.

Finaliza-se com a lista de todas as referências bibliográficas, referentes aos documentos utilizados para a elaboração da dissertação.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. INTRODUÇÃO

2.1.1. NATUREZA DO SOM

O som como o ser humano o “compreende”, não é senão uma sensação provocada no cérebro devida à captação pelo sistema auditivo, de alterações de pressão que se propagam no ar (ou noutro meio elástico tal como água, materiais de construção sólidos, etc.), [1].

Para que essas alterações de pressão sejam perceptíveis é necessário que exista um ser vivo provido de com um sistema auditivo ou algum mecanismo que possa detetar variações de pressão (por exemplo um microfone) [1].

Pode-se então descrever que para ocorrer um estímulo sonoro é necessário combinar três elementos num sistema: o emissor (produz o estímulo no meio), o meio (espaço onde o estímulo sonoro ocorre e o qual influencia a propagação das ondas de pressão) e o recetor (aquele que deteta as variações de pressão) [2].

A percepção do som varia muito de pessoa para pessoa, assim como a sensação sentida, de facto, o que para uns pode ser agradável ou ter significado auditivo é um *Som*, e se não tiver significado auditivo ou for desagradável é um *Ruído* [1].

2.1.2. SISTEMA AUDITIVO HUMANO

O sistema auditivo dos seres humanos é composto pelos ouvidos e o sistema nervoso auditivo central. Estes têm como importante função o recebimento e a codificação de ondas sonoras. A estrutura do ouvido humano, é basicamente formada por três partes (fig. 2.1) [1], [3]:

- Ouvido externo (pavilhão da orelha, canal auditivo e tímpano);
- Ouvido médio (ossículos: martelo, bigorna, estribo e tromba de Eustáquio);
- Ouvido interno (cóclea e sistema vestibular).

O ouvido externo é o responsável pela captação das ondas sonoras através do pavilhão da orelha e por encaminhá-las pelo canal auditivo para o tímpano que entra em vibração. O tímpano é uma fina membrana em forma de cone, com cerca de 10 milímetros de largura, que faz a separação entre o canal auditivo e o ouvido médio. As ondas sonoras podem fazê-lo vibrar com uma deslocação máxima de 2 mm. Quando exposto a ruídos intensos e prolongados, o tímpano também protege o ouvido, desencadeando um reflexo que faz com que o músculo tensor do tímpano e

o músculo estapédio se contraíam, tornando a membrana mais rígida e reduzindo o som que chega ao ouvido interno [1], [4].

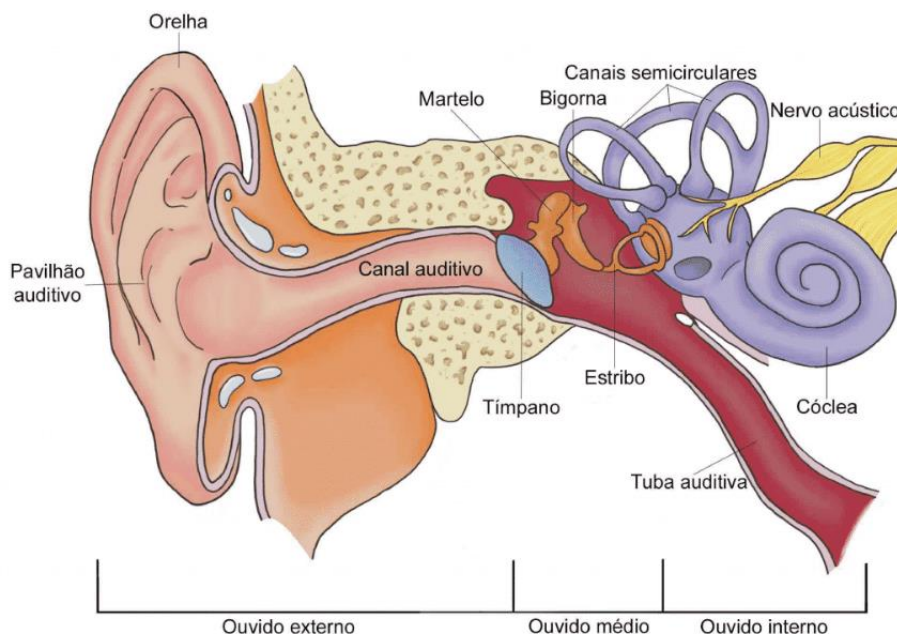


Figura 2.1 - Esquema do ouvido humano [5].

O ouvido médio, com cerca de 2 cm^3 , é constituído pelos ossículos que atuam como um amplificador adaptador de modo a permitir que as ondas sonoras passem do meio aéreo para o líquido que se encontra no interior da cóclea. Os ossículos são denominados de acordo com o seu formato. O martelo está ligado ao tímpano. A bigorna é o osso central, localizado entre o martelo e o estribo, que fica junto à da janela oval. O estribo liga-se à janela oval para fazer a passagem das ondas sonoras para o interior da cóclea. O ouvido médio está interligado com a garganta através da trompa de Eustáquio para equilibrar a pressão do ar e evitar que se acumule líquido no ouvido médio (Fig. 2.2) [1], [6].

O ouvido interno é uma estrutura complexa que consiste em duas partes principais:

Cóclea: O órgão da audição.

Sistema vestibular: O órgão de equilíbrio.

A cóclea, é um canal em forma de caracol com um volume de 98 mm^3 e preenchido por um líquido denominado perilinfa. No canal intermédio, na membrana basilar, existem cerca de 20.000 células ciliadas que são dotadas de pequeníssimos filamentos, designados por cílios. A cóclea tem duas ligações flexíveis com o ouvido médio: as janelas oval e redonda. A primeira recebe o estímulo vibrátil transmitido pelo ossículo estribo, e a segunda ajuda a amenizar pressão causada por ondas sonoras à cóclea. Apesar do efeito protetor, quando exposto a um ruído intenso este pode destruir e lesionar as células ciliadas, que uma vez lesionadas não podem ser substituídas. A exposição contínua a ruídos intensos causa lesões progressivas, que

acabam por resultar em perda auditiva e, por vezes, em ruído ou zumbido nos ouvidos (acufenos). A membrana basilar da cóclea responde de forma diferente dependendo da frequência do som. Para altas frequências fazem vibrar a parte basal da membrana (próximo à janela oval), enquanto que nas baixas frequências vibram especialmente na parte final da cóclea [1] [6].

O sistema vestibular tem a função de informar o cérebro a respeito da posição e movimento da cabeça, de forma a ajudar a manter o equilíbrio [6].

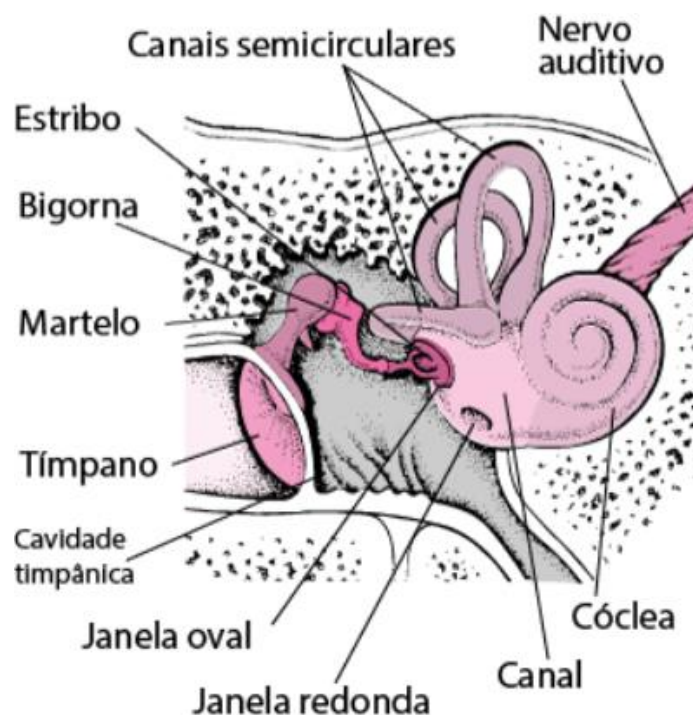


Figura 2.2 - Esquema do ouvido médio e interno [5].

2.2. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS

2.2.1. ANÁLISE DA PRESSÃO

2.2.1.1. Natureza e propagação do som

O estímulo sonoro consiste numa vibração que se propaga no ar ou em qualquer outro meio fluido, sob a forma de ondas esféricas concêntricas, tendo a fonte sonora como centro. Uma vez estimulado o meio é transmitido esse estímulo às partículas adjacentes (mas sem deslocamento permanente das mesmas nem de matéria), até chegar ao recetor que tem a capacidade de detetar as variações de pressão. Criam-se assim regiões de compressão e rarefação, ou seja, regiões de altas e baixas pressões (Fig. 2.3). As ondas sonoras em meios fluidos são essencialmente longitudinais, enquanto que, nos meios sólidos podem ser também transversais [1].

Devido a tudo isso, conclui-se que o elemento mais importante a ser medido é a variação de pressão provocada pelas ondas sonoras na qual se impõe que seja tomada como referência a pressão atmosférica normal (P_{at}) que, na Terra tem o valor de aproximadamente 101.400 Pa (≈ 105 Pa) [1].

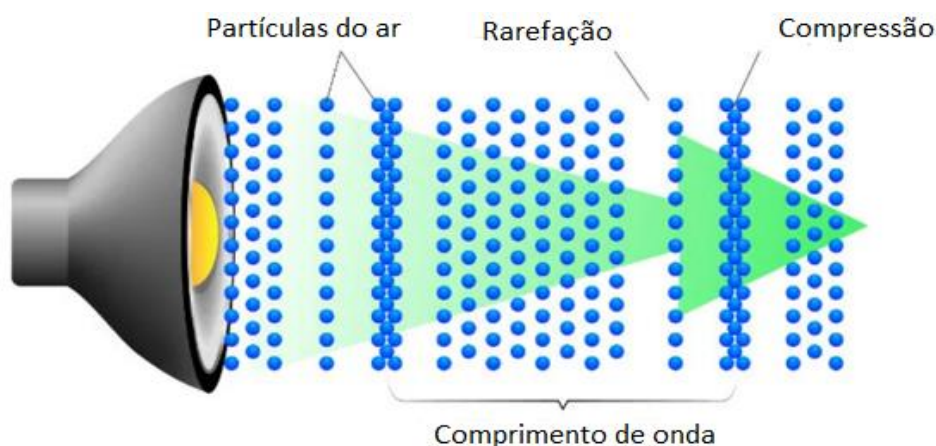


Figura 2.3 - Esquema de propagação do som [7].

2.2.1.2. Velocidade de propagação do som

A celeridade ou velocidade de propagação das ondas sonoras, depende de dois fatores básicos: o estado físico do meio através do qual as ondas se propagam e a temperatura. Quanto maior a proximidade das moléculas no meio, mais rapidamente o som se propaga, por isso as ondas sonoras são mais rápidas nos sólidos, depois, menos nos líquidos e por fim, ainda menos nos gases [1].

A temperatura influencia diretamente a velocidade de propagação das ondas sonoras, de acordo com a expressão 2.1 (válida para ar seco e ao nível do mar) [1]:

$$c = 20,045\sqrt{T} \quad (2.1)$$

$$T = 273,15 + \theta \quad (2.2)$$

Onde, c – celeridade (m/s);
 T – temperatura (K);
 θ – temperatura (°C).

2.2.1.3. Intensidade e potência sonoras

Para além da pressão existem outras grandezas importantes para a análise da propagação sonora tais como a intensidade sonora e a potência sonora (Fig. 2.4) [1].

A intensidade sonora (I) é, numa dada direção a quantidade média de energia que as ondas sonoras transferem, através de uma área, normal a essa direção durante um intervalo de tempo de um segundo e quantifica-se em W/m^2 . Em síntese, permite avaliar a componente direcional do som passando este a ser representado por uma

grandeza vetorial, fazendo sentido considerar o campo de intensidade sonora como um campo vetorial [1].

A potência sonora (W), representa a taxa temporal de energia sonora emitida por uma fonte em todas as direções e não do estímulo criado por essa fonte num dado ponto ou direção como acontecia no caso da pressão e da intensidade. Descreve-se como a quantidade total de energia sonora produzida pela fonte num segundo que atravessa uma esfera fictícia de raio arbitrário centrada na fonte. A potência não depende da distância entre a fonte e o recetor, dependendo unicamente da característica intrínseca da fonte [1].

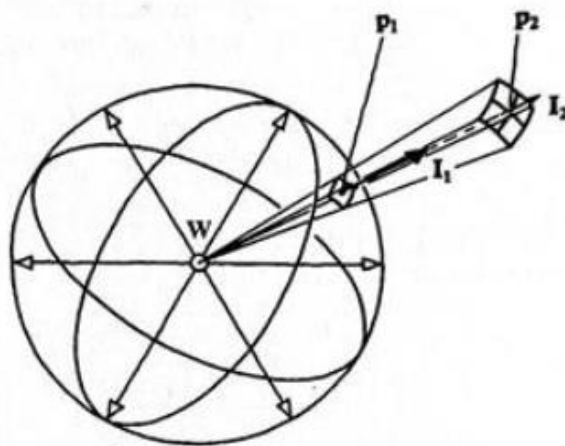


Figura 2.4 – Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) [1].

Essas três grandezas (intensidade, potência e pressão sonoras) estão relacionadas entre si através da seguinte expressão:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.3)$$

Onde, I – intensidade sonora (W/m^2);

W – potência sonora (W);

r – distância (m);

p – pressão sonora (Pa);

ρ – massa volúmica (ar) $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$;

c – celeridade (m/s) $\approx 340 \text{ m/s}$.

2.2.1.4. Pressão sonora e níveis de pressão sonora

A variação da pressão sonora é perceptível pelo ouvido humano em plena posse das suas capacidades auditivas, numa ampla gama de valores, desde de 10^{-5} Pa , denominado como o limiar da audição a 100 Pa (limiar da dor). Assim, a gama dinâmica de audibilidade humana no domínio da pressão situa-se em 10^7 Pa (Fig.2.5). Conclui-se então que a escala linear em pascal, na medição das pressões sonoras, resulta em valores muito distintos e pouco práticos, pelo que é mais prático

utilizar uma escala logarítmica para os exprimir o que também é sugerido pela evolução da sensação de sonoridade com a pressão sonora.

Devido a essas razões adotou-se outra unidade para avaliar o nível de pressão sonora o *decibel* (dB), usada aliás em muitas circunstâncias para avaliar o nível de alguma quantidade face a um valor de referência [1].

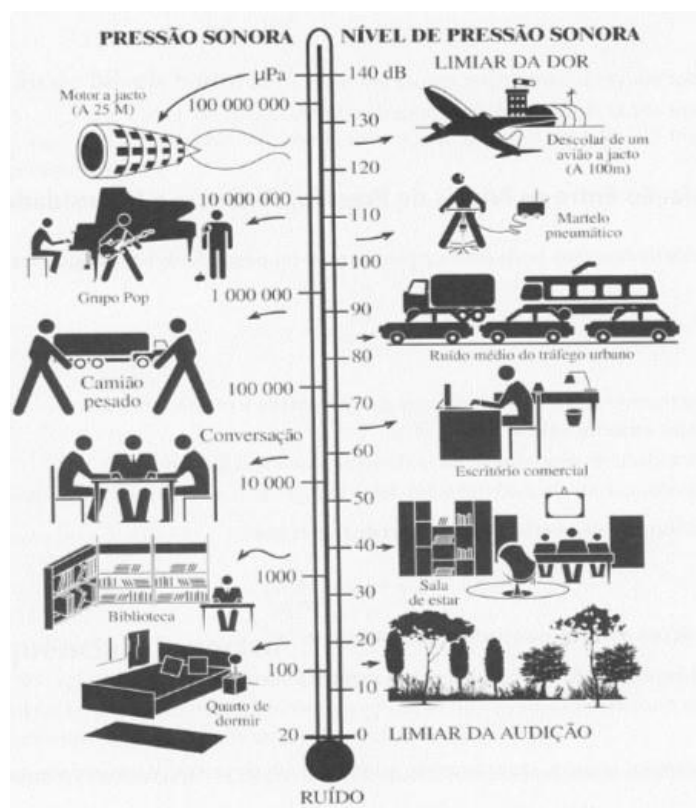


Figura 2.5 - Pressão sonora e nível de pressão sonora [8].

Pode se assim usar a fórmula (2.4) de conversão de pressões (p) para níveis de pressão sonora (L_p):

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ ou análogamente } L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.4)$$

Sendo, L_p - nível de pressão sonora (dB);

p_0 - pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa;

p - pressão sonora (Pa).

É também corrente utilizar-se para além da pressão sonora outras grandezas associadas para caracterizar um fenómeno sonoro sendo estas medidas em dB. É o caso dos níveis de intensidade sonora (L_I) ou níveis de potência sonora (L_w),

considerando os valores de referência respetivos que se encontram representados nas expressões 2.5 e 2.6 [1]:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (2.5)$$

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (2.6)$$

sendo, I – intensidade sonora (W/m^2);

I_0 – intensidade sonora de referência, 10^{-12} W/m^2 ;

W – potência sonora (W);

W_0 – potência sonora de referência, 10^{-12} W .

Os valores dos níveis de intensidade sonora (L_I) são sempre quase idênticos aos valores dos níveis de pressão sonora (L_p), com um erro inferior a 0,2 dB estando este diretamente dependente da temperatura [1].

2.2.2. FREQUÊNCIA

2.2.2.1. Definição

A frequência, depois da pressão sonora, é a segunda característica mais importante quando se pretende descrever um sinal sonoro. Esta refere-se ao número de vibrações ou ciclos que ocorrem em uma onda sonora por segundo, medido em *hertz* (Hz) (outras áreas da acústica usam gamas de valores um pouco distintos) [1].

Em Acústica de Edifícios é normal distinguir-se três grandes zonas de frequências (outras áreas da acústica usam gamas de valores um pouco distintas) [1]:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1.410 Hz;
- Frequências agudas: 1.410 a 20.000 Hz.

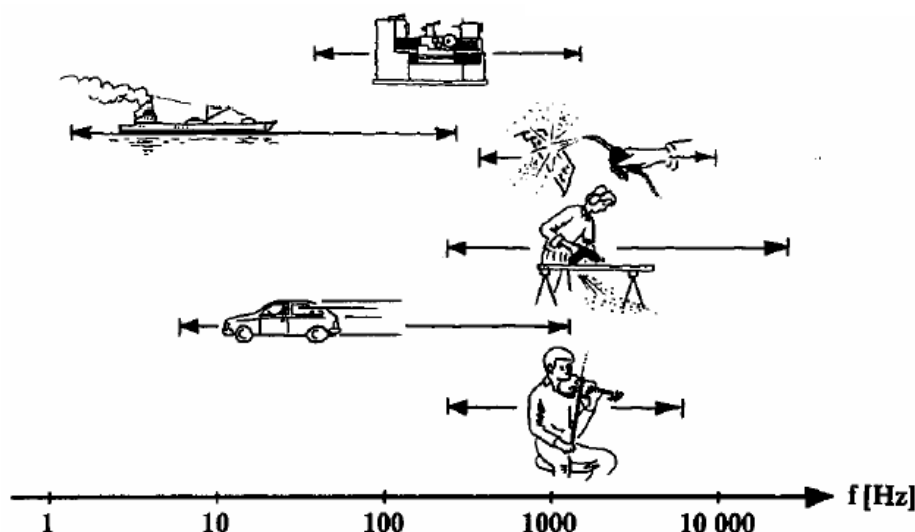


Figura 2.6 – Exemplos de gamas de emissão de fontes sonoras típicas [1].

O ouvido humano, nas suas perfeitas condições, consegue ouvir aproximadamente entre os 20 Hz e os 20 kHz, formando esta a gama audível de frequências. Os sons abaixo desta gama denominam-se de infra-sons e os acima de ultra-sons (Fig.2.7).

Porém o ser humano não tem a capacidade de distinguir pequenas diferenças em frequência [1].

Em resumo, os sons podem-se subdividir em dois tipos: os sons puros e os sons complexos.

O som puro ou simples - É aquele provém de uma única vibração sinusoidal em termos de forma de onda, com uma única frequência positiva (Fig. 2.8) [9].

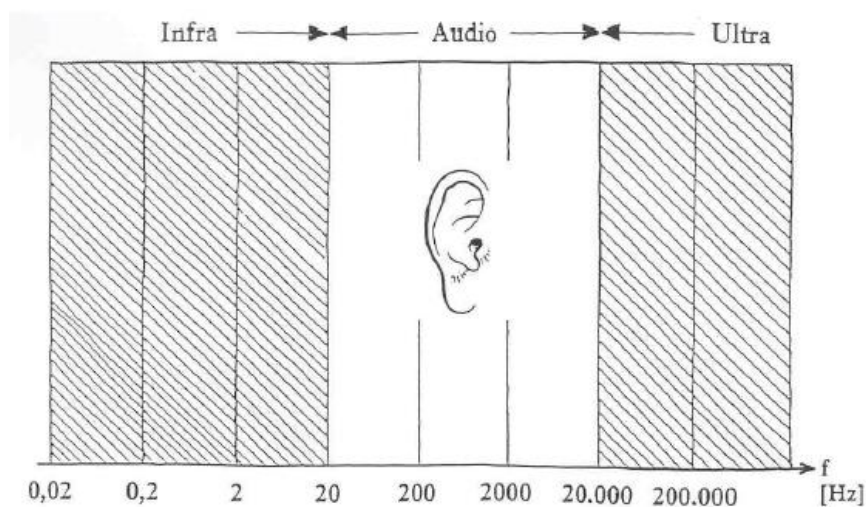


Figura 2.7 - Gamas de frequências audível (humanos) [1].

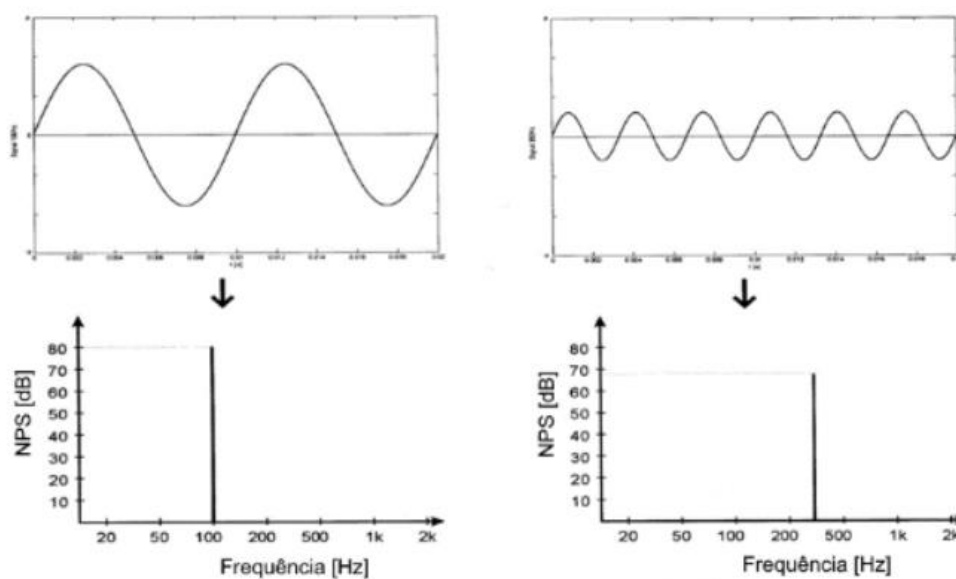


Figura 2.8 - Som puro e os respetivos oscilogramas e espectros [9].

O som Complexo ou Composto é resultante da sobreposição de dois ou mais sons puros. Como exemplo temos os sons que regularmente se ouvem no dia-a-dia, como música, um ruído qualquer ou até o falar de uma palavra ou frase (Fig. 2.9) [1], [9].

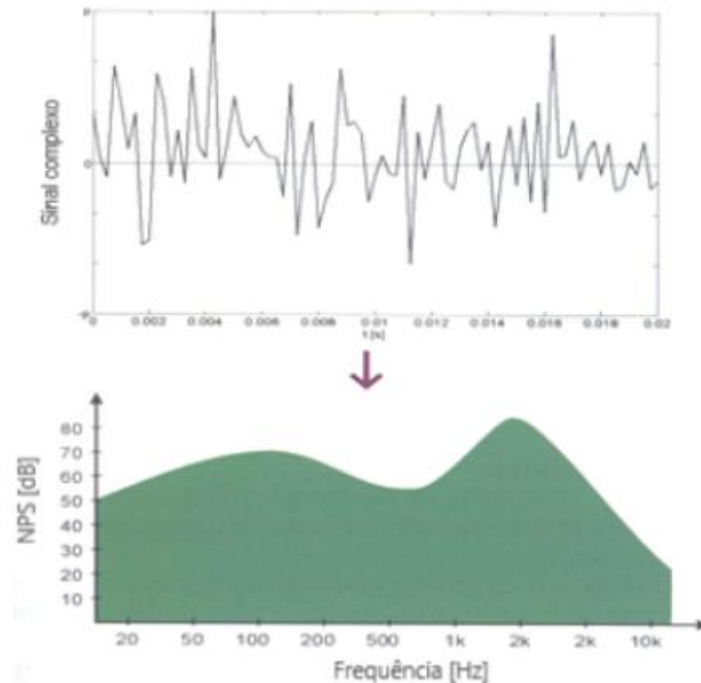


Figura 2.9 – Som complexo e os seus respetivos oscilogramas e espectro [9].

2.2.2.2. Bandas de frequência

Considerando que uma análise detalhada por cada uma das incontáveis frequências que compõem um dado estímulo sonoro seria pouco prática, surgiu a necessidade de agrupá-las em intervalos de dimensão normalizada que se designam por bandas de frequências [1].

Uma banda de frequências é um agrupamento entre duas frequências que definem o limite inferior (f_1) e superior (f_2) da banda, sendo o valor médio geométrico (f_0) designado por frequência central, representado na equação 2.7:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.7)$$

onde: f_0 – frequência central da banda de frequências (Hz);
 f_1 – frequência inferior da banda de frequências (Hz);
 f_2 – frequência superior da banda de frequências (Hz).

A largura de banda (B) é a diferença entre os valores numéricos dos limites superior e inferior na qual utiliza-se a noção de largura de banda relativa. Existem bandas de

frequências de diversas larguras relativas: 1/1 oitava, 1/3 oitava, 1/12 de oitava, etc, todas organizadas de forma que $f_2 = 2^K f_1$, em que K é o número de oitavas ou fração. Apesar de haver diversas bandas de frequência, as utilizadas em Acústica de Edifícios são as de 1/1 oitava e de 1/3 de oitava. De acordo com a equação 2.8 obtém-se a largura de banda [1]:

$$B = f_2 - f_1 = \frac{2^K - 1}{\sqrt{2^K}} f_0 \quad (2.8)$$

sendo, B – largura de banda (Hz);

$K=1$ no caso de for bandas de frequências de 1/1 de oitava;

$K=1/3$ no caso de for bandas de frequências de 1/3 de oitava.

No interesse da Acústica de Edifícios os intervalos de uma oitava normalizados no domínio do audível são habitualmente cinco bandas de frequência dos 125 Hz aos 2 kHz, e nos intervalos de terço de oitava são habitualmente dezasseis bandas de frequência dos 100 aos 3150 Hz [1].

No quadro nº 2.1 encontram-se descritos os valores das frequências centrais das bandas de oitava ou de 1/3 de oitavas normalizadas na gama do audível, sendo por conveniência, representada cada oitava pelas suas 3 sub-camadas de 1/3 de oitava. A frequência central daquela é a mesma que a frequência central da banda intermédia de 1/3 de oitava. Por exemplo, a banda de oitava centrada em 125 Hz inclui as três sub-bandas nomeadamente centradas em 100, 125 e 160 Hz.

Quadro 2.1 - Valores de ponderação A para bandas de frequência de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível (adaptado de [1]).

Banda de frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava	Banda de frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava
12,5	-63,4	-57	800	-0,8	0
16	-56,7		1.000	0	
30	-50,5		1.250	0,6	
25	-44,7	-40	1.600	1,0	+1
31,5	-39,4		2.000	1,2	
40	-34,6		2.500	1,3	
50	-30,2	-26	3.150	1,2	+1
63	-26,2		4.000	1,0	
80	-22,5		5.000	0,5	
100	-19,1	-15,5	6.300	-0,1	-1
125	-16,1		8.000	-1,1	
160	-13,4		10.000	-2,5	
200	-10,9	-8,5	12.500	-4,3	-7
250	-8,6		16.000	-6,6	
315	-6,6		20.000	-9,3	
400	-4,8	-3			
500	-3,2				
630	-1,9				

2.2.2.3. Curvas de ponderação

Dentro da gama audível a sensibilidade e o limiar auditivo do ouvido humano variam com a frequência, sendo necessário utilizar o conceito de sonoridade, que representa a sensação de amplitude sonora com que o ouvinte “avalia” subjetivamente a intensidade física de um estímulo sonoro [9].

O ouvido humano tem uma sensibilidade auditiva variável para as frequências, “melhorada” na zona dos 1500 aos 4500 Hz, é pouco sensível para as baixas frequências abaixo dos 125 Hz, como se destaca na figura 2.10. Porém essa variação na sensibilidade auditiva está diretamente dependente da intensidade sonora do próprio som [1].

As curvas de igual sonoridade auditiva (igual percepção subjetiva da intensidade sonora), encontram-se numericamente parametrizadas com a unidade denominada *fone* tomando convencionalmente o valor numérico do respetivo nível de pressão sonora nos 1000 Hz, conforme a norma ISO 226. O que constitui uma coincidência notável e mostra a variação logarítmica da sensação de intensidade sonora em função da pressão acústica, tal como no nível de pressão sonora [1] [45].

A escala apresentada não permite concluir sobre a variação da intensidade audível entre dois sons, isto é, um som de 40 *fone* não representa um som perceptível como quatro vezes mais elevado do que um som de 10 *fone*. Para esse efeito deverá utilizar-se a unidade *sone*, para a qual é possível afirmar que um som com 2 *sone* será perceptível como sendo o “dobro” mais elevado do que um som com 1 *sone*. Na equação 2.9 está representada a relação entre o *sone* (*S*) e o *fone* (*F*) [1]:

$$S = 2^{(F-40)/10} \quad (2.9)$$

sendo, *S* – intensidade audível relativa (*sone*);
F – intensidade audível absoluta (*fone*).

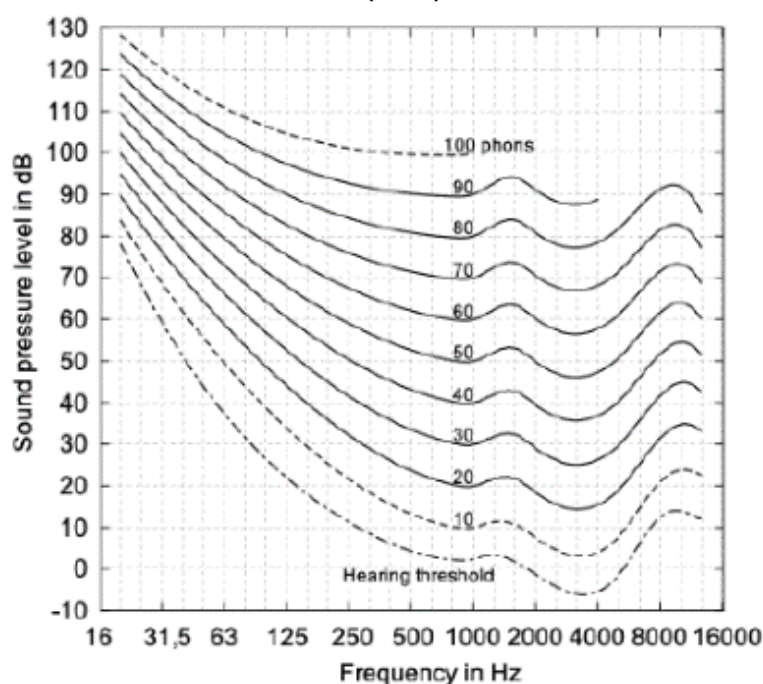


Figura 2.10 – Curvas de igual sensibilidade auditiva em *fone* [11].

Atendendo ao exposto no ponto anterior, é facilmente compreensível a necessidade de “corrigir” os valores calculados ou medidos, de modo a que os resultados sejam compatíveis com a sensação subjetiva do ouvinte humano. Para esse efeito foram introduzidos filtros eletrónicos nos aparelhos de medição que corrigem os valores rastreados (Fig. 2.11). Assim, as curvas de ponderação, com designação A, B, C e D provem de correções efetuadas em função da frequência do som captado [1].

Pensando numa aproximação mais fiel à resposta do ouvido humano, a níveis de pressão sonora reduzidos, optou-se na utilização da curva A, sendo atualmente a mais usada [1].

As curvas B e C destinam-se à avaliação de níveis de pressão sonora respetivamente entre os 55 e 85 dB e superior aos 85 dB (níveis de pressão sonora intensos). Posteriormente foi criada a curva D, utilizando-se para a avaliação do ruído produzido por aviões [1].

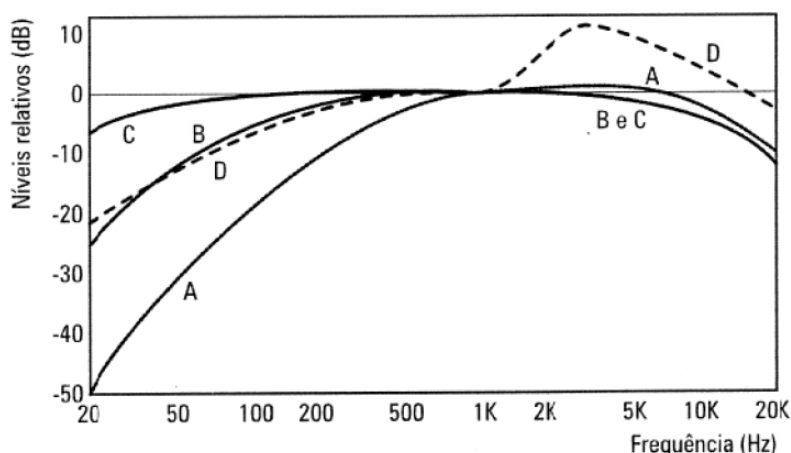


Figura 2.11 - Curvas de ponderação A, B, C e D [10].

O nível sonoro ponderado A (ou outro) de um ruído, obtém-se através do seu espectro no qual, aos valores captados dos níveis de pressão sonora em dB (linear) adicionam-se algebricamente os valores corretivos (ponderações) do quadro 2.1 e, de seguida, somam-se logaritmicamente cada um dos valores finais obtidos. Após esta operação passa a designar-se por “nível sonoro” em termos de dB(A), dB(B), dB(C) ou dB(D) de modo a identificar a curva de ponderação utilizada [1].

2.2.2.4. Comprimento de onda

O comprimento de onda (λ) corresponde à mínima distância percorrida pela onda entre dois pontos equivalentes e consecutivos da onda periódica em cada ciclo completo de vibração (Fig. 2.12) [10].

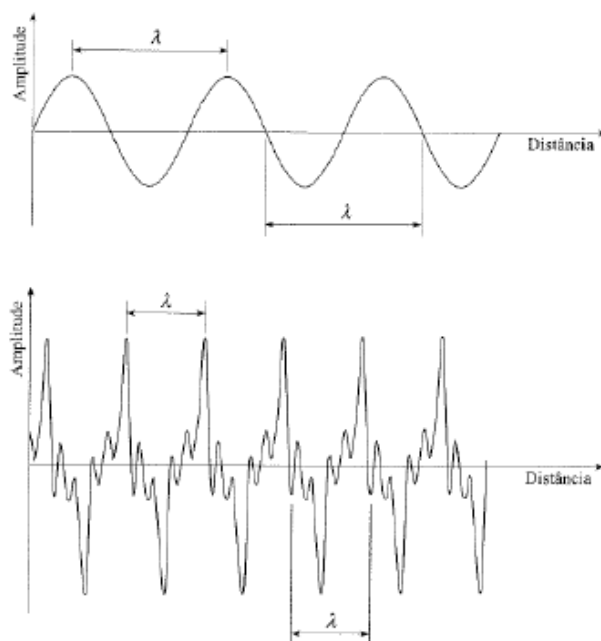


Figura 2.12 - Comprimento de onda, de um som puro (acima) e um som complexo (em baixo) [10].

É possível calcular o comprimento de onda (λ) através da equação 2.10:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad (2.10)$$

sendo, λ – comprimento de onda (m);

c – celeridade (m/s);

T – período (s);

f – frequência (Hz).

Conclui-se que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais, isto é, quanto maior o número de vezes que se completa um ciclo num determinado intervalo de tempo menor será a distância existente entre esses ciclos, uma vez que a velocidade da onda é constante [10].

2.2.3. ANÁLISE NO TEMPO

Um fator importante na análise de um ruído é a sua duração, podendo ser classificada como quase instantânea, quando ocorre no imediato num curto espaço de tempo (disparo, faísca, etc.) ou quase infinita quando ocorre num enorme intervalo de tempo (quedas de água, etc.) [1].

Devido à instabilidade temporal dos níveis de pressão sonora na generalidade dos ruídos recorre-se a características com intervenção no fator “tempo” para descrever um fenómeno sonoro.

As duas características de medida do ruído mais usados no domínio do tempo são: o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e o nível de pressão sonora estatístico (L_N). Numa breve explicação o L_{eq} é a média energética num intervalo de tempo de medição de T (eq. 2.11) enquanto que o L_N é o valor do nível que é excedido em

$N\%$ do intervalo de tempo de medição. É de evidenciar que o L_{eq} representa a média e o L_{50} representa a mediana [1].

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.11)$$

onde, L_{eq} – nível de pressão sonora contínua equivalente (dB);

T – período (s);

$p(t)$ – pressão sonora (Pa);

p_0 – pressão sonora de referência (Pa).

2.3. ABSORÇÃO SONORA

2.3.1. GENERALIDADES

Numa breve explicação a absorção sonora é a capacidade intrínseca de um material exposto a uma energia sonora transformar essa energia que sobre ele incide em outra qualquer modalidade de energia, que geralmente é térmica [1].

Considere-se que dentro de um espaço fechado se coloca uma fonte sonora emitindo energia. A onda sonora resultante propaga-se pelo espaço até atingir um obstáculo, como exemplo uma parede. Após atingir o obstáculo parte da energia sonora é transmitida de acordo com as características de isolamento sonoro do elemento construtivo, e da restante energia, uma parte será absorvida pelo elemento e a outra refletida tal como mostra a Figura 2.13 [10].

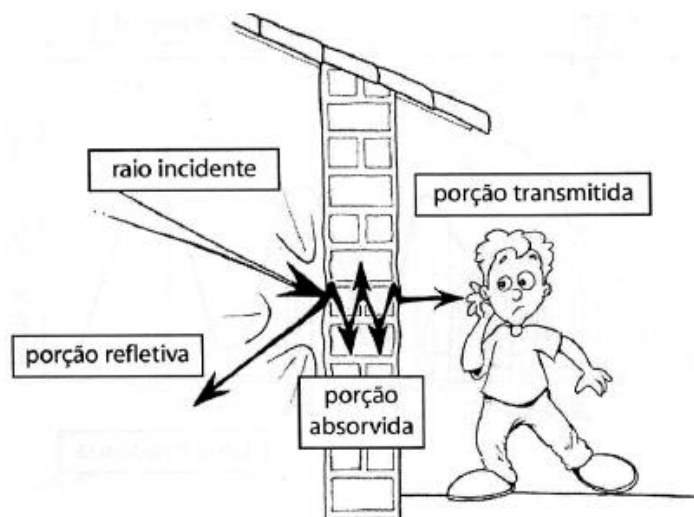


Figura 2.13 – Incidência sonora numa superfície, incluindo os fenômenos de transmissão, absorção e reflexão [10].

A quantidade de energia absorvida e refletida depende da natureza do material ou sistema construtivo, podendo ser avaliada através do coeficiente de absorção

sonora (α), que representa a relação entre a energia absorvida e a energia incidente, considerando desprezável a quantidade de energia transmitida [10].

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorvida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (2.12)$$

sendo, α – coeficiente de absorção sonora (grandeza adimensional);
 E – energia absorvida e incidente (J).

O coeficiente de absorção sonora trata-se de uma grandeza cujo valor pode variar entre 0 e 1. Obtendo-se um valor unitário, quando a energia incidente é absorvida (por exemplo, uma janela aberta), enquanto que um valor próximo de zero significa que a maioria da energia sonora incidente é refletida (por exemplo, uma parede de betão). Um bom material absorvente deve ter um coeficiente superior a 0,5. Na figura 2.14 estão representados alguns exemplos de valores de coeficientes de absorção sonoras para diferentes materiais e elementos construtivos, em função de diferentes frequências [1].

Existem atualmente dois métodos normalizados para determinar o coeficiente de absorção sonora: método do tubo de ondas estacionárias e o método da câmara reverberante [1];

- **O método do tubo de ondas estacionárias:** consiste num longo tubo metálico onde se coloca uma amostra a testar numa extremidade e na outra oposta um pequeno altifalante com um orifício, perfurado no meio do seu magneto, para fazer passar uma pequena vareta metálica ligada a um microfone que desliza sobre rodas num recipiente. Após ligar o altifalante este gera ondas estacionárias devido à interação da onda incidente com a onda refletida na amostra, que depois são captadas pelo microfone. A característica da onda estacionária permite obter a informação necessária para determinar a absorção sonora do material. Todo este processo é regido pela norma EN ISO 10534-1[46].
- **O método da câmara reverberante:** é mais eficaz que o método do tubo de ondas estacionárias porque consegue medir o coeficiente de absorção sonora (α) para uma incidência difusa e não apenas na perpendicular. Neste método utiliza-se uma câmara reverberante que é uma grande sala onde todas as suas superfícies são refletoras (α aproximadamente nulo). Mede-se o tempo de reverberação com e sem a amostra que deve ter dimensões entre 10 a 12 m², calculando o coeficiente de absorção através da *fórmula de Sabine* (eq. 2.13). A medição do coeficiente de absorção sonora em câmara reverberante pode conduzir a valores de coeficiente de absorção sonora um pouco superiores à unidade. Nesses casos é recorrente limitar-se o valor a utilizar a 1,0 para efeitos de utilização prática. Este método rege-se pelas determinações da norma NP EN ISO 354 [47].

Quadro 2.2 – Valores de coeficientes de absorção sonora (α), de alguns materiais ou sistemas (adaptado de [1]).

FREQUÊNCIA (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
Argamassa	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
Gesso cartonado, 2 placas(32mm)	0,28	0,12	0,10	0,17	0,13	0,09
Madeira com caixa de ar de 25 mm	0,19	0,14	0,09	0,06	0,06	0,05
Painéis de contraplacado fino	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06
Blocos de betão com acabamento liso	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05
Vidro espesso	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Pavimento em betão	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Pavimento de betão armado revestido com mosaico ou mármore	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Teto de betão rebocado e estucado	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Linóleo sobre betão	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Soalho (<i>parquet</i>) de madeira sobre betão	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Soalho sobre vigas de madeira com caixa de ar	0,15	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Alcatifa densa colocada sobre betão	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
densa com base em borracha	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
leve colada sobre o betão	0,02	0,04	0,08	0,20	0,35	0,40
Cortina leve	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
pesada	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Espelho de água (piscina ou similar)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Audiência: Estofado espesso	0,76	0,83	0,88	0,91	0,91	0,89
Estofado médio	0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
Estofado leve	0,56	0,68	0,79	0,83	0,86	0,86
Cadeiras vazias: Estofado espesso	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79
Estofado médio	0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
Estofado leve	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55

2.3.2. MATERIAIS E SISTEMAS ABSORVENTES SONOROS

O modo como a energia sonora é absorvida pelos materiais ou elementos construtivos depende das suas características básicas podendo estes dividir-se em três categorias:

- Porosos e fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

Estes três tipos de materiais reagem em gamas distintas de frequência. No qual os materiais porosos são mais eficazes nas altas frequências, os ressonadores nas médias e as membranas nas baixas [1].

a) Materiais porosos e fibrosos

Os materiais porosos são caracterizados fisicamente por possuírem uma estrutura aberta de pequenas dimensões, no qual se torna acessível às ondas sonoras de frequência elevada, fazendo com que o ar se movimente ao longo do interstícios

existentes no seu interior e propagando-se entre partículas/fibras que constituem o material, tal como mostra a figura 2.15. Devido ao atrito causado pela movimentação do ar nos interstícios do material produz-se energia que se vai dissipar em forma de energia térmica [1].

O parâmetro que determina a eficiência dos materiais porosos no desempenho de absorção sonora é a sua resistividade ao fluxo de ar. Caso a resistência do ar for muito reduzida, temos um material que não é denso o suficiente para que ocorra o máximo de perdas por atrito, por outro lado, se um material poroso for demasiado denso o ar terá dificuldade em penetrar o que originará uma absorção sonora reduzida [10].

Alguns exemplos de materiais utilizados para absorção sonora para altas frequências em edifícios são: lã de rocha, lã de vidro, espumas, tecidos e alcatifas, massas porosas para projeção, aglomerados de madeira, aglomerados de cortiça, etc. Caso se pretenda efetuar uma pintura na superfície deste tipo de materiais vai diminuir a sua porosidade e em contrapartida prejudicar a absorção sonora [10].

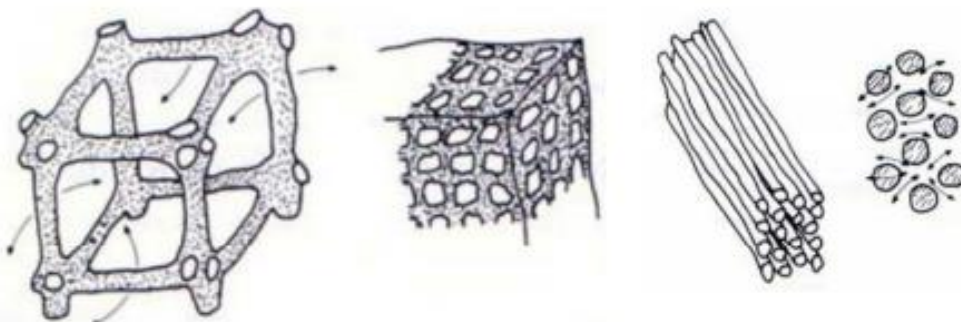


Figura 2.14 - Representação esquemática da interação dos poros e das fibras, na dissipação da energia através destes. [10].

b) Membranas

As membranas são geralmente utilizadas em ambientes que se pretenda atenuar as baixas frequências. A capacidade de absorção sonora por este tipo de sistema ocorre pela vibração de toda a sua estrutura que é composta por grandes áreas de painéis de pequena espessura. A dissipação de energia ocorre em forma de calor por fricção das fibras quando o material entra em flexão [1].

Alguns exemplos de materiais com estas características utilizados em edifícios são: painéis de madeira de pequena espessura aplicados através de uma estrutura de suporte como revestimento de tetos ou paredes [10].

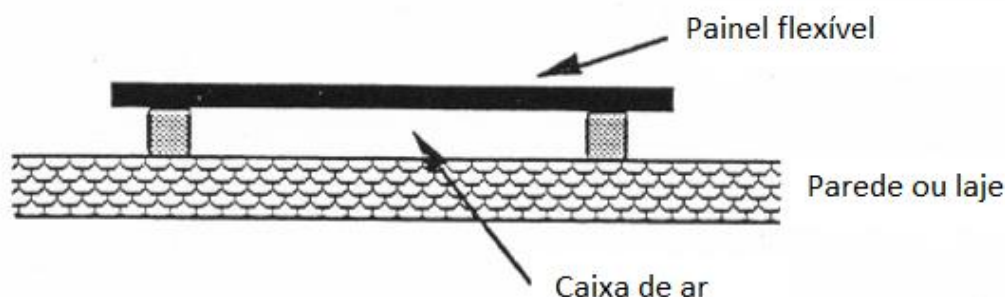


Figura 2.15 - Representação esquemática de uma membrana [10].

c) Ressonadores

Os ressoadores são utilizados mais especificamente quando se pretende atuar nas médias frequências. Um ressoador é um sistema constituído por uma cavidade com ar confinado, ligado ao ambiente por uma abertura estreita (gargalo). Este sistema pode ser definido por uma analogia com um sistema mecânico massa/mola, em que o ar no gargalo corresponde ao elemento massa e o ar no corpo do ressoador ao elemento mola (fig. 2.17). Usualmente a forma mais vulgar de um ressoador é uma garrafa vazia. A frequência eficaz máxima de um ressoador aumenta com a área de abertura do gargalo, sendo inversamente proporcional ao volume interior e ao comprimento do gargalo [1],[10].

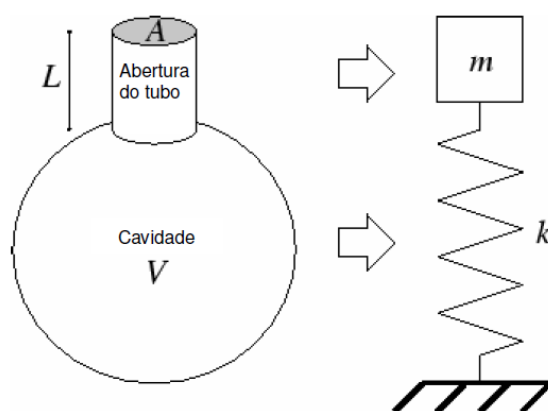


Figura 2.16 - Representação esquemática do funcionamento de um ressoador [10].

2.4. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

2.4.1. DEFINIÇÃO

Quando num espaço fechado existe uma fonte sonora em funcionamento as ondas sonoras que se criam podem ser de origem direta ou refletida. As ondas diretas atingem o recetor após um percurso em linha reta desde a fonte sonora e extinguindo-se quase no imediato. Já as ondas sonoras refletidas atingem o recetor após reflexões únicas ou múltiplas em superfícies existentes na envolvente, diminuindo mais ou menos rapidamente em função do grau de absorção da

envolvente, considerando a absorção do ar e o volume interior fatores importantes [10].

Define-se Tempo de reverberação como o intervalo de tempo (medido em segundo) no qual um som demora a extinguir-se por completo, após múltiplas reflexões. Por definição é o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB a partir do momento que a fonte sonora interrompe a sua emissão. Porém são raras as condições que permitem obter um decaimento de 60 dB pois o ruído de fundo irá sobrepor-se antes da cessação do som emitido [1].

Devido a não se conseguir obter o decaimento de 60 dB considera-se habitualmente um decaimento por extrapolação a partir de um decaimento de 20 ou 30 dB (situações mais comuns), designando-se nesse caso respetivamente T20 ou T30, tendo em conta que qualquer modo a interpretação do resultado obtido deverá corresponder sempre a um decaimento de 60 dB [1] [10].

É de salientar que em termos práticos os valores ideais de Tempo de reverberação vão depender da funcionalidade do espaço. Uma sala que esteja designada para música, o tempo de reverberação tem de ser um pouco superior ao das salas para a palavra. A causa desse critério é que as peças musicais soam habitualmente melhor se existir um mínimo de reverberação de modo a que as notas não sejam entendidas com excessiva clareza. Entre os diversos estilos e períodos musicais existem diferenças relevantes dos valores que se devem considerar para o tempo de reverberação, por exemplo, valores mais baixos para ópera e mais elevados para a música sinfónica romântica [1].

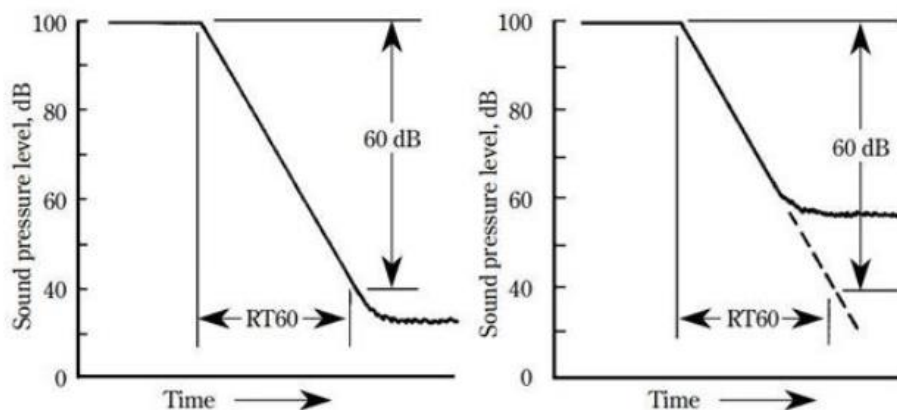


Figura 2.17 - Definição de tempo de reverberação (RT_{60}) (valor teórico, esq. e obtido por extrapolação do declive, dir.) [1].

O primeiro modelo de cálculo do tempo de reverberação surgiu em 1898, através do físico americano Wallace Clement Sabine, depois de uma extensa investigação experimental sobre condições de inteligibilidade da palavra numa sala de aula da universidade de Harvard (Boston, Estados Unidos). A sua famosa equação define uma relação entre o tempo de reverberação, área de absorção sonora equivalente (A) e o volume interior livre do espaço (V), representada na equação 2.13 [1].

$$T = \frac{0,16 \times V}{A} \quad (2.13)$$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (2.14)$$

sendo, T – Tempo de reverberação (s);

V – Volume do compartimento (m^3);

A – Área de Absorção sonora equivalente (m^2);

α – Coeficiente de absorção sonora do material (adimensional);

S – Superfície real do material (m^2).

Atualmente numa sala acontecem diversos tipos de atividades ou programas, e como tal, é necessário impor-se valores ideais para diversos parâmetros acústicos objetivos em função do tipo de utilização. Quando se têm salas designadas para multiusos devem ser implantados dispositivos que permitam variar a acústica interior [1].

No quadro 2.3 encontram-se representados os valores ideais do Tempo de reverberação de acordo com o tipo de utilização nas frequências médias (500 e 1kHz) [1].

Quadro 2.3 - Valores ideais para o Tempo de reverberação em função do tipo de utilização (adaptado de [1]).

Função	TR 500 – 1kHz (s)
Auditório (palavra)	0,7 – 0,8
Teatro	0,7 – 0,9
Cinema	0,8 – 1,0
Ópera (não wagneriana)	1,3 – 1,7
(Wagner)	1,8 – 1,9
Música sinfónica Barroca	1,4 – 1,6
Clássica	1,6 – 1,8
Romântica	1,9 – 2,2
Moderna	1,4 – 1,9
Música popular	0,8 – 1,0
Música de órgão	2,5 – 3,5
Coros gregorianos	3 – 4

2.4.2. TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL

O tempo de decaimento curto (EDT – *Early Decay Time*), é um parâmetro importante relacionado com o tempo de reverberação em acústica interna de uma sala. Refere-

se ao tempo que leva para o som decair em 10 dB extrapolando a partir do decaimento dos 10 dB iniciais (designado por T10). Tendo EDT sofrido uma adaptação do tempo de reverberação agora medido com um enfraquecimento de 10 dB (de 0 para -10 dB) e então multiplicado por um fator de 6 [1], [12].

A medição de EDT é crucial para entender a rapidez com que uma sala absorve o som inicial e o reflete de volta para os ouvintes. Quando temos um EDT mais curto indica um ambiente mais absorvente, o que geralmente é desejável para espaços destinados à palavra, enquanto que EDT mais longo é destinado a musicais e salas de concerto [12].

2.4.3. RÁCIO DE BAIXOS (BR)

O parâmetro rácio de baixos (BR), *bass ratio*, foi inicialmente proposto por Beranek em 1962, como um meio de medir o “calor” de uma sala. O “calor” é uma sensação subjetiva e que está relacionada à proeminência das frequências dos sons graves face aos médios [13].

A sua resultante é a razão entre a soma dos tempos de reverberação para as bandas de oitava nas frequências de 125 e 250 Hz e a soma dos tempos de reverberação para as bandas de oitava nas bandas de 500 e 1k Hz, de acordo com a equação 2.15 [1].

$$BR = \frac{TR_{125} + TR_{250}}{TR_{500} + TR_{1k}} \quad (2.15)$$

Sempre que numa sala se aplicar materiais que absorvem sons de alta frequência e refletem os sons de baixa frequências, resulta num elevado valor de rácio de baixos. Por outro lado, com materiais que absorvem sons de baixa frequência e refletem os sons de alta frequência, resulta num baixo valor de rácio de baixos [14].

De acordo com Beranek, os valores ideais de rácio de baixos de uma sala estão interligados ao tempo de reverberação e encontram-se enquadrados nos intervalos seguintes [14]:

- Para tempos de reverberação altos (na ordem dos 2,2 s): $1,1 < BR < 1,25$;
- Para tempos de reverberação até 1,8 s: $1,1 < BR < 1,45$.

O quadro 2.4 apresenta os resultados da análise deste parâmetro em várias salas de concertos, assim como os respetivos tempos de reverberação [15].

Quadro 2.4 - Valores de BR (*Bass Ratio*) e TR (Tempo de reverberação) em diferentes salas de concertos, com ocupação [15].

Salas de Concertos	BR	TR (s)
Amesterdão, Concertgebouw	1,08	2,0
Boston, Symphony Hall	1,03	1,9
Viena, Gr. Musikvereinssaal	1,11	2,0
Suiça, StadtCasino Basel	1,17	1,8
Berlim, Konzerthaus	1,23	2,1
Cardiff, País de Gales, St. David`s Hall	0,96	2,0
Nova Iorque, Carnegie Hall	-	1,8
Tóquio, Hamarikyū Asahi	-	1,7
Zurique, Großer Tonhalleaal	1,23	2,1

2.5. ISOLAMENTO SONORO

2.5.1. DEFINIÇÃO E CONCEITOS

O isolamento sonoro define-se como uma medida de proteção para impedir que os ruídos de um local externo penetrem num determinado local ou vice-versa. Os ruídos podem vir de diferentes fontes sonoras tais como tráfego rodoviário, aéreo ou de locais circunjacentes que se encontram no espaço envolvente. É de grande importância evidenciar que a correção acústica visa melhorar o som dentro de um espaço específico, enquanto que o isolamento sonoro se foca no impedimento da propagação dos ruídos provenientes de espaços adjacentes [1].

Para um melhor entendimento do isolamento sonoro, torna-se necessário distinguir dois tipos de ruído [1]:

- **Ruídos de percussão:** têm origem numa solicitação mecânica direta da fonte sonora de irradiação sobre os elementos construtivos (paredes, pavimentos). Sons, como o de caminhar, de arrastar móveis, martelar são exemplos deste tipo de ruído.
- **Ruídos de condução aérea:** têm origem na excitação direta do ar. A transmissão ocorre quando a onda acústica atinge uma divisória da casa, irradiando energia para o outro lado através do ar. Como exemplos de ruídos aéreos temos por exemplo a conversa entre pessoas, o ruído dos carros ou o choro de um bebé.

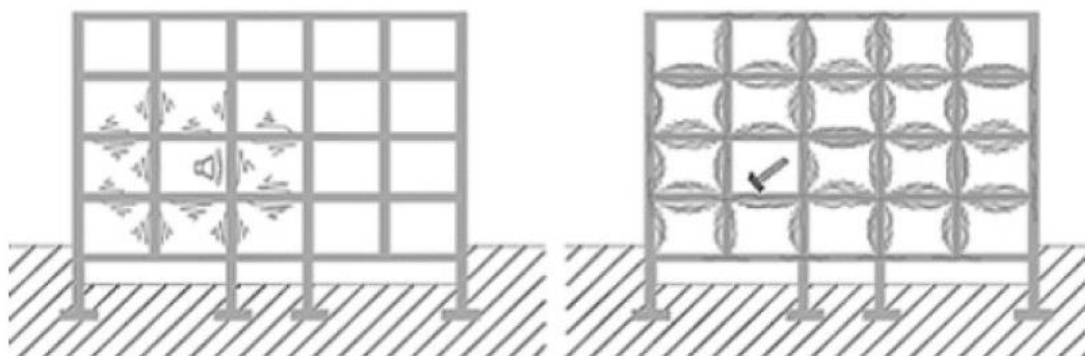


Figura 2.18 - Esquema representativo de transmissão de ruídos aéreos (esq.) e de percussão (dir.) [16]

Os ruídos de percussão na sua generalidade têm maior capacidade de se propagar que os ruídos aéreos, devido a sua capacidade de propagação por toda a estrutura (paredes, lajes, etc.) com pouca perda de energia.

No entanto ambos os ruídos podem-se subdividir em duas formas de transmissão:

- Via direta: quando atravessa diretamente o elemento construtivo entre dois compartimentos;
- Via marginal (secundária ou indireta): quando atravessa o compartimento, mas indiretamente através do pavimento, teto ou paredes laterais.

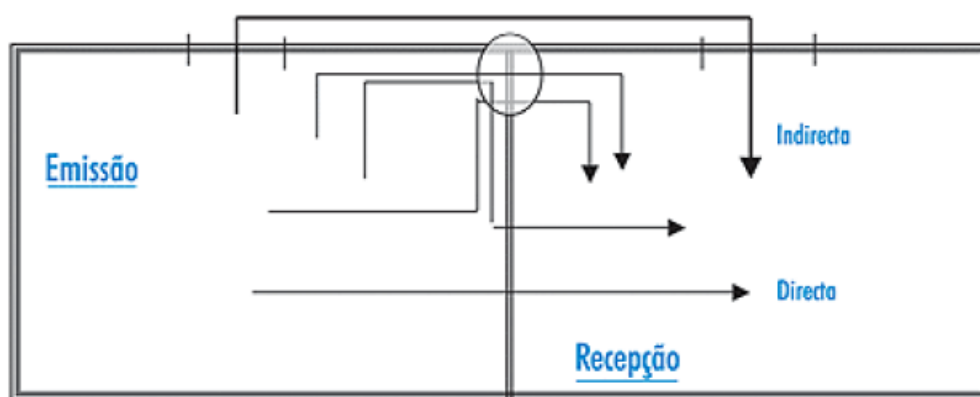


Figura 2.19 - Transmissão de ruído por via marginal e via direta [17].

2.5.2. RUÍDO DE FUNDO E INCOMODIDADE

Como anteriormente mencionado, pode-se dizer que o ruído pode ser definido como um som não desejado ou aquele cuja energia pode alterar o bem-estar das pessoas. De certa forma o ruído está diretamente relacionado com as sensações das pessoas e reflete as condições ambientais. Sensações classificadas como desconforto estão diretamente relacionadas com as diferentes intensidades do ruído [17].

Para que se obtenha uma experiência auditiva agradável, seja ela em qual sala for, deve-se ter em consideração três requisitos essenciais. Em primeiro, o nível de som deve ser suficientemente elevado para se poder obter uma reação clara e audível. Segundo, o equilíbrio entre componentes de um som complexo deve ser mantido, de forma a garantir que cada um seja ouvido na sua intensidade adequada. Por último, para palavra ou música, a clareza e a disparidade entre os sons sucessivos são cruciais, e para que esses sejam percebidos pelo ouvinte é essencial que não ocorra interferência de ruídos estranhos, tais como ruído produzido pelo sistema de ventilação. Estes três requisitos não são exclusivos, mas básicos para se garantir uma boa audição em qualquer ambiente [17].

Como já referido, um dos principais contribuintes para o ruído de fundo é o sistema de ventilação. De acordo com o funcionamento desses sistemas, não só produzem ruído por movimento mecânico, mas também pelo fluxo de ar criado. De forma a controlar esse tipo de ruído é necessário diminuir a velocidade da saída do ar. Contudo o sistema de ventilação não é o único que produz ruído de fundo. Outros são, todos os equipamentos de instalações prediais, elevadores e sistemas de bombagens exemplos de fontes desse tipo de ruído [17].

O ruído de equipamentos coletivos em edifícios, em Portugal é limitado no RRAE (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios), pela seguinte equação 2.16 [1]:

$$L_{Ar,nT} = L_A + K_{tonal} - 10\log(T/T_0) \quad (2.16)$$

sendo, $L_{Ar,nT}$ – nível de avaliação padronizado do ruído particular de equipamentos (dB);

L_A – nível sonoro contínuo equivalente do equipamento, medido durante um intervalo de tempo específico no local de receção (com um tempo de reverberação T);

K_{tonal} – penalização (com 3 dBA) devido a ruídos com componentes tonais (se pelo menos uma banda de 1/3 de oitava sobressair em pelo menos 5 dB em relação às duas bandas adjacentes, na gama dos 50 aos 8k Hz e avaliado pelo filtro A);

T – tempo de reverberação (s);

$T_0 = 0,5$ s (em geral).

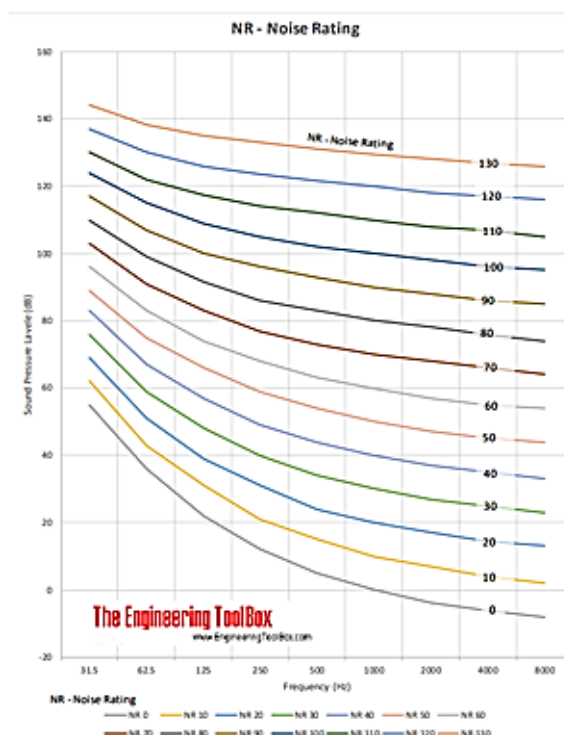
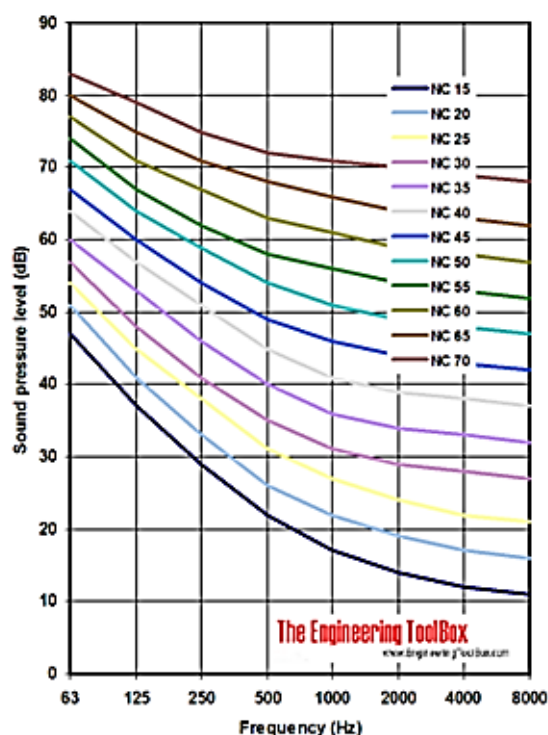
De acordo com o regulamento os valores máximos legais para os níveis sonoros contínuos equivalentes de ruído de fundo em auditórios, com sistemas de ar condicionada (com a sala vazia), são os seguintes [1]:

- $L_{Aeq} \leq 38$ dB – cinemas;
- $L_{Aeq} \leq 30$ dB – outras salas.

Ambos valores limite têm uma margem legal de incerteza de 3 dBA, a subtrair aos valores medidos [1].

Para se poder avaliar a incomodidade causada por ruídos de fundo provocado por equipamentos num determinado local interior, recorre-se as curvas de incomodidade (NC, NR, RC, NCB, etc.). Estas curvas são utilizadas por medição dos níveis de pressão sonora nos locais da sala que frequentemente são mais ruidosos, a uma altura preferencialmente ao nível dos ouvidos do ouvinte. A sua aplicação deve ser usada para caracterizar ruídos de fundo estáveis e contínuos, como sistemas de condicionamento termo-higrométrico e não ruídos causados por ocupantes do espaço. De todas as curvas de incomodidade mencionadas atualmente as curvas NC (*Noise Criterion*) são mais usadas nos Estados Unidos e as curvas de NR (*Noise Rating*) na Europa [1].

A curva NC surgiu em 1957 por Leo Beranek (EUA). Cada curva NC é caracterizada pelos seus níveis de pressão sonora para oito bandas de uma oitava entre os 63 Hz e os 8 kHz. Para se obter o cálculo recorre-se ao método da tangente. Para uma dada situação a classificação NC, significa que o valor da menor curva NC que não é excedida por nenhum nível de pressão sonora das bandas de 1/1 oitava. Hoje em dia esta curva encontra-se a cair em desuso (Fig.2.20) [1].



Figuras 2.20 e 2.21 – Curva de incomodidade NC (*Noise Criterion*) (dirt.) e Curvas de incomodidade NR (*Noise Rating*) (esq.) [18].

A curva NR foi proposta em 1962 por Kosten & Van e foi institucionalizada em 1971 por norma ISO. Utiliza as bandas de frequência de 32 Hz a 8 kHz através da utilização do método da tangente (Fig.2.21) [1].

No quadro 2.5 encontram-se alguns valores máximos recomendados de NC para algumas situações em específico.

Quadro 2.5 - Valores máximos recomendados de NC (*Noise Criterion*) para algumas situações (adaptado de [1]).

Tipo de espaço	Valor Máx. recomendado NC	Requisitos básicos de Audição
Salas de concerto, salas de ópera, estúdios de transmissão e gravação, grandes auditórios, grandes igrejas, salas de recitais.	20	Para excelentes condições de audição
Pequenos auditórios, teatros, salas de prática musical, grandes salas de reuniões, salas de teleconferência, instalações audiovisuais, grandes salas de conferências, escritórios pequenos, igrejas, tribunais.	[20;30]	Para muito boas condições de audição
Quartos, dormitórios, hospitais, residências, apartamentos, hotéis.	[25;35]	Para dormir, descansar e relaxar
Escritórios, pequenas salas de conferência, salas de aula, livrarias.	[30;35]	Para boas condições de audição
Grandes escritórios, áreas de recepção, lojas de venda ao público, cafés, restaurantes, ginásios.	[35;40]	Para uma moderada a boas condições de audição
<i>Lobbies</i> , laboratórios, salas de desenho e engenharia, áreas de secretaria, oficinas de manutenção (de equipamentos elétricos).	[40;45]	Para condições de audição justas
Cozinhas, lavandarias, lojas industriais, salas de equipamento informático.	[45;55]	Para condições de audição moderadamente justas

2.6. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

2.6.1. CONCEITOS BÁSICOS

A inteligibilidade da palavra pode ser afetada e reduzida devido a determinadas distorções que se encontram no meio envolvente, sendo o ruído de fundo uma das principais causas. Quanto mais intenso é o nível sonoro e o número de fontes sonoras, pior será a capacidade de o recetor ouvir, prestar atenção, compreender, assimilar e concentrar [17].

É de salientar que salas com características fundamentais para a qualidade da inteligibilidade da palavra são diretamente influenciadas pelas reflexões do som e do tempo de reverberação. Caso se obtenha um tempo de reverberação muito alto, tal afetará diretamente a inteligibilidade da palavra, logo, afetará a compreensão dos sons [17].

2.6.2. VARIABILIDADE DA EMISSÃO DA VOZ

Para analisar a variabilidade da emissão da voz, há que considerar na emissão das palavras fatores, sendo eles a Frequência, a Intensidade, a Duração e a Direccionalidade da emissão das palavras. No que diz respeito à frequência de emissão, os sons usados nas palavras têm uma gama de frequências muito vasta, estando o som entre os sons de baixa frequência até aos de alta frequência num domínio de quase seis oitavas. As vogais oscilam a sua frequência entre os 150 e os 300 Hz, enquanto que as consoantes que têm frequências mais elevadas oscilam entre 3500 e os 7000 Hz [1].

A diferença entre o som mais fraco (de uma consoante) e o mais intenso (de um vogal), em relação ao nível de pressão sonora é de cerca de 28 dB. Normalmente as vogais são emitidas com um nível de pressão sonora de 21 a 28 dB mais elevado do que as consoantes. A duração média de emissão das vogais é cerca de 90 ms enquanto que a das consoantes é cerca de 20 ms [1].

Em termos de direccionalidade de emissão, a voz humana emite preferencialmente para a frente do emissor, variando a abertura de radiação consoante a frequência. É de ressaltar que para as baixas frequências não tem grande variabilidade em relação à direção, em contrapartida para as altas frequências perdem cerca de 25 dB na direção aposta ao emissor [1].

No quadro 2.6 encontra-se apresentado um pequeno resumo da variabilidade da emissão entre vogais e consoantes [1].

Quadro 2.6 - Variabilidade da emissão de voz entre as vogais e consoantes (adaptado de [1]).

Tipo	Frequência	Intensidade	Duração	Direccionalidade
Vogais	Baixas	Elevado	≈ 90 ms	-5 dB p/ -180°
Consoantes	Altas	Baixo	≈ 20 ms	-20 dB p/ -180°

2.6.3. PARÂMETROS DE MEDIDA

Os métodos mais utilizados para medir a qualidade da inteligibilidade da palavra dividem-se em dois tipos, os objetivos e os subjetivos [1].

Métodos subjetivos:

- PB (*Phonetically Balanced words*);
- MRT (*Modified Rhyming Tests*);
- etc.

Métodos objetivos:

- AI (índice de articulação);
- SIL (nível de interferência na conversação);
- AC (*articulation class*);
- STI e RASTI (*Speech Transmission Index* e *RApid Speech Transmission Index*).

Medir a inteligibilidade da palavra de forma subjetiva consiste em usar frases contendo palavras individuais, que são lidas para os ouvintes poderem interpretar. A realização deste método pode ser em ambientes com diferentes níveis de ruído e tempos de reverberação. Normalmente vozes ao vivo ou gravações podem ser usadas, sendo as mais usuais as gravações por serem mais confiáveis e controláveis. Os métodos subjetivos estão sujeitos à contribuição humana, o que faz com que as respostas possam ter um caráter aleatório [17].

Como anteriormente descrito os métodos objetivos não necessitam da intervenção humana, sendo estes: AI, SIL, AC e STI:

- O método AI (índice de articulação), permite estabelecer um nível médio de inteligibilidade compreendido pelo recetor mesmo com a presença de um ruído de fundo variando de um a zero [1];
- O método SIL (nível de interferência na conversação), determina-se como a média aritmética dos níveis de pressão dos ruídos de fundo em cada uma das bandas de oitava dos 500 Hz aos 2 kHz [1];
- O método AC (*articulation class*), é muito semelhante ao cálculo do AI, mas aqui a análise é feita na gama dos 200 Hz aos 5 kHz, por bandas de 1/3 de oitava [1];
- O método STI (*Speech Transmission Index*), o STI analisa várias deformações irregulares que ocorram num som, incluindo ecos [17]. O método RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*), é um método do STI, e varia entre 0 (nula inteligibilidade) e 1 (ótima inteligibilidade). O critério preferencial da utilização do RASTI, é devido aos valores registados se encontram no intervalo nas bandas de oitava dos 500 Hz e dos 2 kHz, em contrapartida o STI utiliza todas as bandas de oitava, dos 125 Hz aos 8 kHz [1].

Quadro 2.7 - Relação qualificada dos valores de STI e RASTI (adaptado de [17]).

RASTI/STI	[0,00 - 0,30]	[0,30 - 0,45]	[0,45 - 0,60]	[0,60 - 0,75]	[0,75 - 1,00]
	Mau	Pobre	Razoável	Bom	Excelente

2.7. ACÚSTICA ARQUITETÓNICA

2.7.1. INTRODUÇÃO

A acústica arquitetónica é a ligação entre a ciência a engenharia e o “*design*” de modo a se obter um bom ambiente acústico dentro de um espaço [1].

Numa sala para concertos ou teatro é fundamental que o som de um espetáculo se propague de forma clara e inteligível, não é nunca o aspeto estético. Enquanto que o aspeto estético não interfere na qualidade do espetáculo, o mesmo não se pode dizer da qualidade acústica, que pode destruir por completo a fruição do evento [1].

Até às décadas de 1980 e 1990 as salas de espetáculo, no geral, não tinham obrigatoriedade de projeto acústico ou qualquer intervenção de acústica, mas nas últimas décadas a situação tem vindo alterar-se. Hoje em dia o investimento em

acústica de uma sala espetáculos é bastante relevante, vejamos como exemplo a *Casa da Música* os novos teatros de Vila Real e Bragança [1].

2.7.2. INTERLIGAÇÃO DO SOM/ARQUITETURA

2.7.2.1. Reflexões

Na acústica de uma sala o elemento mais importante é a sua envolvente. O formato de uma sala e os materiais que constituem o seu revestimento são peças básicas para se obter um “instrumento” acústico fundamental. Esse fenómeno ocorre graças às reflexões das ondas sonoras.

Quando um ouvinte se encontra numa grande sala de espetáculos recebe aproximadamente 8000 reflexões por segundo. A primeira onda a atingir o recetor é o som direto e as seguintes são as reflexões que provêm das superfícies envolventes da sala. As ondas sonoras que chegam nos primeiros 80 ms são designadas como som inicial (*early sound*) e as restantes constituem o som tardio (*late sound*). O intervalo de tempo entre o som inicial e o o som da primeira reflexão designa-se por “tempo de atraso inicial” (*initial time delay gap*), como se encontra representado na figura 2.22 [1].

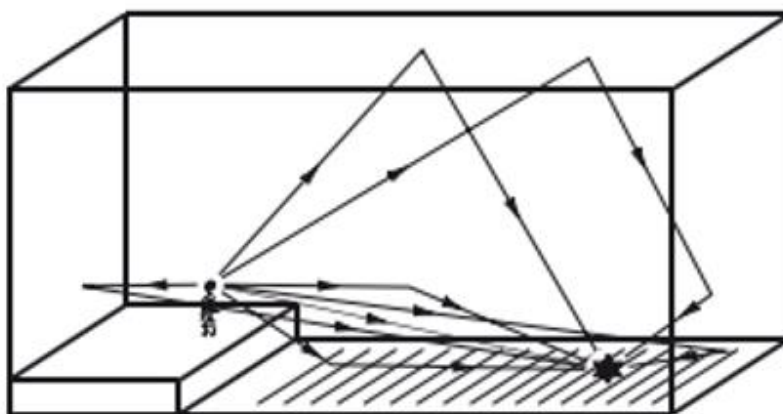


Figura 2.22 - Reflexões numa sala de espetáculos [19].

2.7.2.2. Ecos

Nem todas as reflexões proporcionam uma sensação agradável e por vezes surgem os ecos, que são a resultante de reflexões nocivas (Fig. 2.23). Os ecos surgem devido as reflexões que chegam atrasadas, mas suficientemente fortes para serem claramente distinguíveis pelo ouvido humano. Este fenómeno ocorre sempre que essa diferença temporal seja superior a 50 ms. Quando se tem salas de grandes dimensões este efeito pode ocorrer devido às reflexões em superfícies muito afastadas da fonte sonora e do ouvinte [1].

Para solucionar este efeito coloca-se material absorvente de forma a modificar a absorção da superfície, ou simplesmente o seu ângulo para direcionar a reflexão para uma zona não prejudicial [1].

No entanto também ocorre o efeito acústico que se designa por eco repetido (*flutter echo*), surge quando a emissão sonora se dá no meio de duas paredes paralelas (não muito distantes entre si) e estas refletem repetidamente o som original [1].

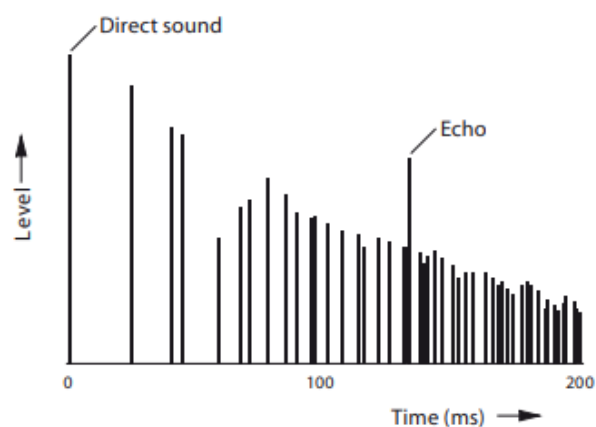


Figura 2.23 - Reflectograma com eco [19].

2.7.2.3. Discos suspensos

Discos suspensos (também chamados discos voadores ou nuvens), são aplicados em salas de espetáculo com tetos muito elevados e para evitar que o som direto proveniente do palco os atinja (podendo originar reflexões nocivas) [1].

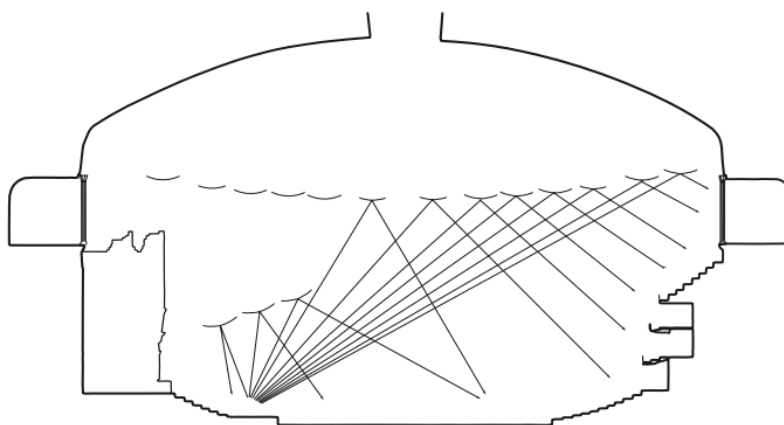


Figura 2.24 – Discos voadores (*Royal Albert Hall*, Londres) [19].

2.7.2.4. Difusão

Considera-se uma superfície difusora aquela que reflete em todas as direções. As irregularidades existentes numa superfície difusora permitem que a mesma seja acusticamente difusora. As dimensões das irregularidades condicionam quais as frequências de ondas sonoras a serem refletidas, dependendo dos respetivos comprimentos de onda. Considera-se uma superfície difusa em altas frequências quando a superfície irregular é constituída por pequenos relevos [1].

2.7.3. ACÚSTICA VARIÁVEL

Na acústica variável há duas condicionantes: a variação na absorção sonora e a variação no volume, que alteram acusticamente uma sala de espetáculos [1]:

- **Variação na absorção:** Com a necessidade de obter uma sala de espetáculos multiusos, é necessário recorrer a dispositivos mecânicos ou manuais, de forma a se poder alterar as características acústicas das grandes superfícies da envolvente, de zonas refletoras para absorventes ou vice-versa (Fig. 2.25);

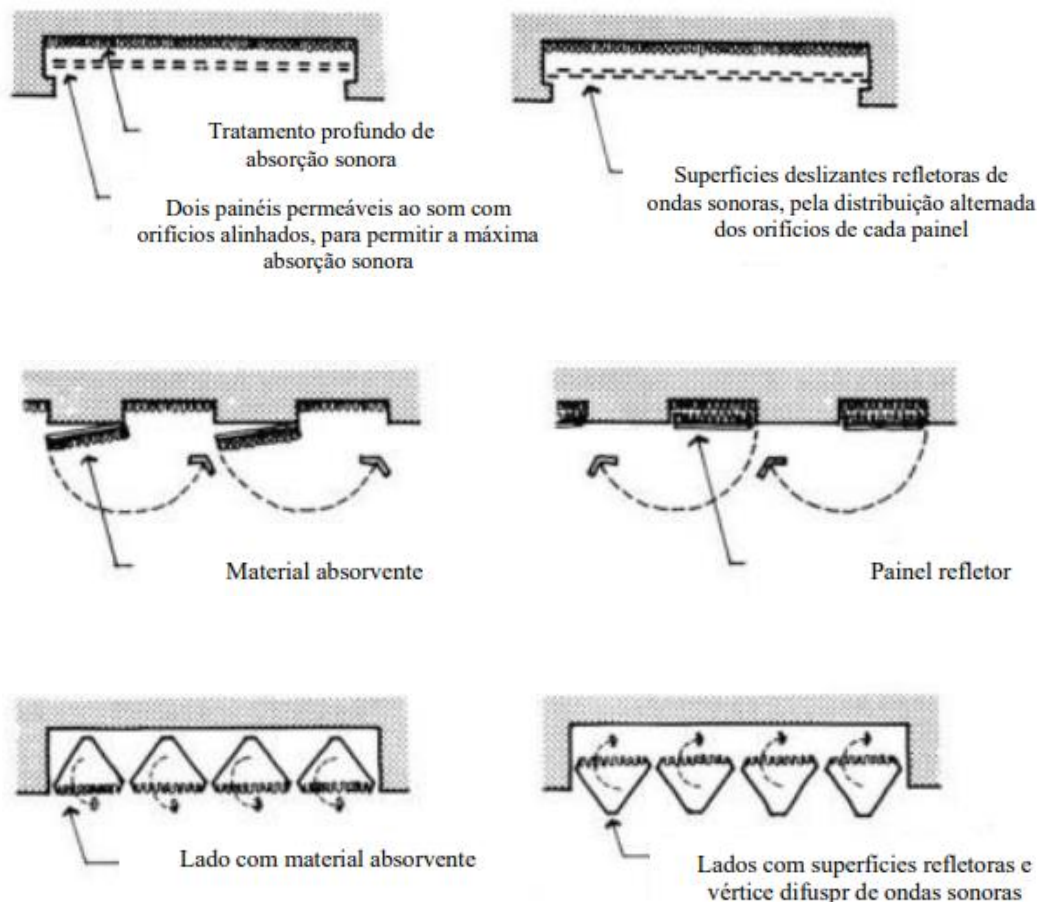


Figura 2.25 - Vários mecanismos de absorção variável [20].

- **Variação de Volume:** Recorrer a uma mudança significativa do volume de uma sala, permite que se possa variar o tempo de reverberação da mesma. Não é usual, mas existe como exemplo a sala *Edwin Thomas Hall* (Akron, Ohio, EUA) que permite através da movimentação do teto proporcionar três diferentes modos de uso: concerto, ópera e teatro (Fig. 2.26).

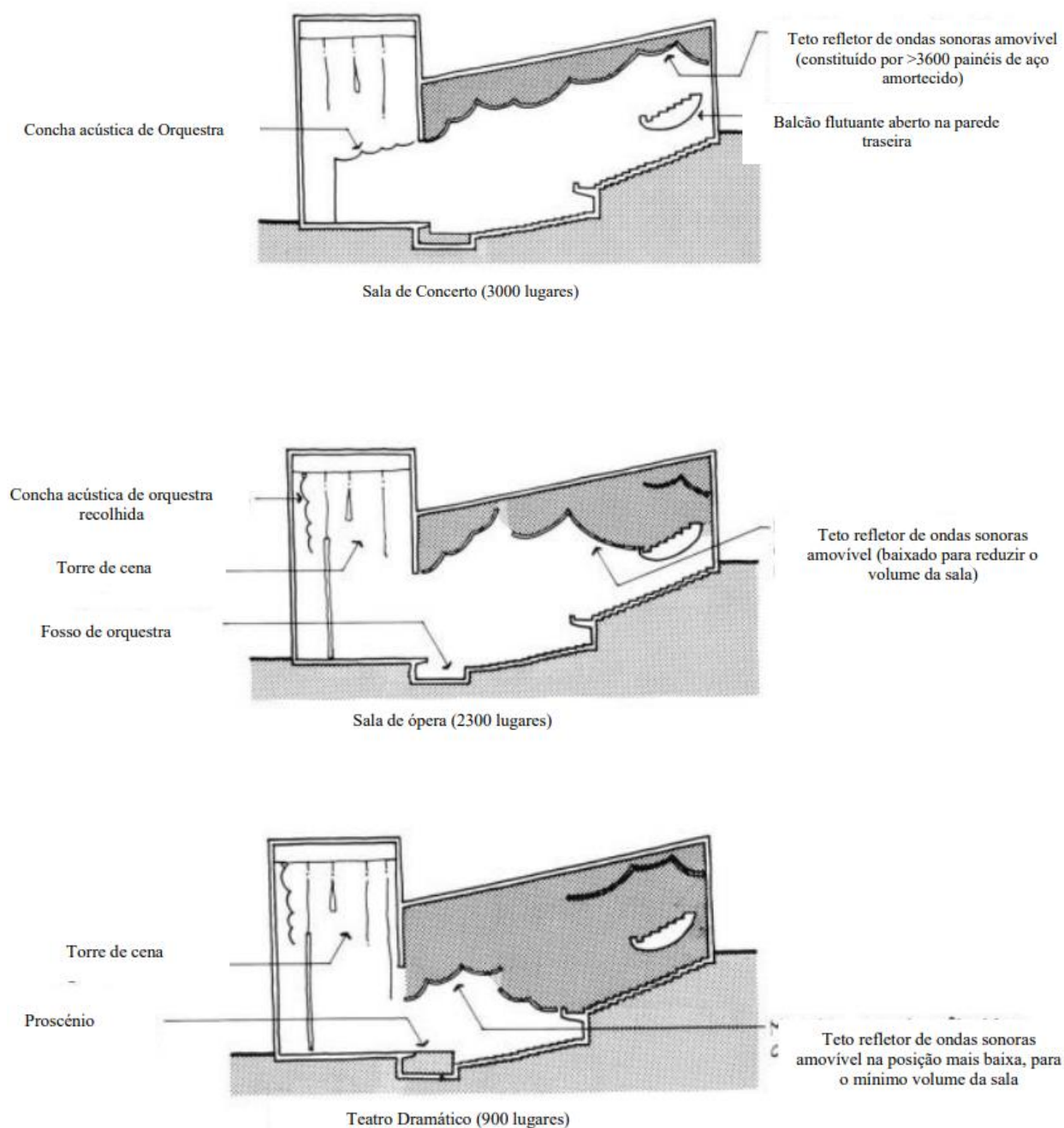


Figura 2.26 - Representação da variação de volume da sala de espetáculos (Edwin Thomas Hall, Akron, EUA) [20].

2.7.4. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS

2.7.4.1. Claridade (C_{80})

A Claridade é um parâmetro de grande interesse para locais onde a inteligibilidade da palavra é bastante significativa (teatro e óperas), visto que nesse tipo de espetáculos os sons tem que ser ouvidos de forma clara e distinta. Em contrapartida para salas de música, pode ser tolerável haver uma certa mistura entre as notas [17].

A Claridade (C_{80}) [*early to late sound index*], é um parâmetro proposto por Reichardt em 1975, onde considera que o limite de 80 ms é o valor limite de percetibilidade para a música. Determina-se através da razão entre a energia recebida nos primeiros 80 ms do sinal recebido e a energia recebida posteriormente. A sua definição é dada pela equação 2.18 [1].

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.18)$$

sendo, C_{80} – Claridade (dB);

$p(t)$ – reação impulsiva da sala em um determinado ponto (Pa).

Quadro 2.8 – Valores ideais de C_{80} para determinados tipos de utilização (adaptado de [1]).

Função	C_{80} (dB)
Auditório (palavra)	> 6
Teatro	> 6
Cinema	>5
Ópera (não wagneriana)	3 a 4
Ópera (Wagner)	1 a 2
Música sinfónica Barroca	0 a 2
Música sinfónica Clássica	-1 a 0
Música sinfónica Romântica	-2 a -1
Música sinfónica Moderna	-1 a 0
Música popular	> 6
Música de órgão	< -2
Coros gregorianos	-3 a -1

2.7.4.2. Definição (D_{50})

A Definição D_{50} [*early energy fraction ou early to total sound index*], é um parâmetro usado para determinar a “claridade” para a perceção da palavra. Foi proposto por Thiele em 1953, no qual considera que a duração de 50 ms é usualmente o limite de percetibilidade com respeito à palavra. Determina-se a partir da razão entre energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida. A sua definição é dada pela equação 2.19 [1].

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.19)$$

sendo, D_{50} – Definição;

$p(t)$ – reação impulsiva da sala em um determinado ponto (Pa).

Quadro 2.9 - Valores ideais para a Definição (D_{50}) [35].

Definição (D_{50})	
Muito bom	0,86 - 1,0
Bom	0,67 - 0,86
Suficiente	0,39 - 0,67
Insuficiente	0,17 - 0,39
Muito insuficiente	0,06 - 0,17

2.7.4.3. Tempo central (TS)

Tempo central (TS), é um parâmetro proposto por Cremer e Müller, em 1978. Como sendo o ponto no tempo no qual a energia recebida representa metade da energia total recebida pelo ouvinte, isto é, antes deste ponto é igual à energia recebida depois daquele ponto. Em salas de concerto é adequado obter um tempo central entre os 140 e 180 ms, para frequências médias de 250 a 2kHz. A sua definição é dada pela equação 2.20 [1].

$$TS = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.20)$$

sendo, TS – tempo central (ms);

t – tempo (ms);

$p(t)$ – reação impulsiva da sala em um determinado ponto (Pa).

2.7.5. PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS

Os parâmetros acústicos subjetivos representam os valores obtidos através de medições subjetivas que dependem unicamente do parecer pessoal de ouvintes. Os critérios mais importantes hoje em dia aplicados para as grandes salas de espetáculo são os seguintes [1]:

- **Ruído de fundo:** os sons que se ouvem no local, mas não são provenientes da fonte ou dos auditores, designadamente ruído do tráfego, sistemas de ventilação e todos os ruídos que perturbem no geral;
- **Intensidade do som:** considera-se a intensidade geral do som aquela que está a ser sentido naquele local, sendo uma mistura das intensidades do som direto e do som reverberante;
- **Clareza do discurso musical:** quantifica o grau em que as notas musicais são claramente separadas no tempo e distintivamente ouvidas, dependendo unicamente das superfícies refletoras do som que se propagam no interior da sala;

- **Reverberância:** é a capacidade de o som perdurar no espaço. Permite dar uma ideia aproximada do tempo em que o som permanece depois da fonte sonora cessar;
- **Eco:** é um fenómeno no qual as reflexões atrasadas de um som conseguem chegar ao ouvido humano em perfeitas condições audíveis. Geralmente ocorre com maior probabilidade nos lugares da frente em grandes salas, onde se tem um tempo de reverberação relativamente curto;
- **Intimidade:** proporciona uma sensação auditiva de proximidade com a fonte sonora, dando a sensação que a música executada se encontra a ser praticada numa sala de pequenas dimensões;
- **Direccionalidade:** é a capacidade sensorial de reconhecer a direção da qual o som provém, por vezes dando a sensação que o som advém de um ponto diferente daquele que se encontra a fonte sonora;
- **Envolvimento:** é a sensação de estar imerso ou rodeado pelo som. Depende da capacidade do som se propagar no espaço e da maneira como o som reverberante se distribui no espaço.
- **Equilíbrio tímbrico:** é a perceção de estar a receber todos os “tipos” de sons, sem conseguir diferenciar em relação a frequências baixas ou altas.

3

ESTADO DA ARTE

3.1. SALAS DE ESPETÁCULO

3.1.1. CONTEXTO HISTÓRICO

a) Antiguidade clássica

Os teatros Gregos e Romanos foram construídos entre os séculos V a.C. e II d.C. como locais dedicados a espetáculos de teatro, música, dança e outras. O teatro grego foi construído para poder acolher a população da cidade durante certas festividades, chegando a acomodar perto de 20 000 pessoas [24].

A excelência da acústica do Teatro Grego, é o resultado de criteriosas observações efetuadas pelos antigos habitantes e das quais foram implementadas na construção e na localização do teatro. Reunindo todas essas observações, é possível resumilas tais como: Silêncio do local (fora de zonas urbanas); Ventos favoráveis do palco para a audiência; Inclinação forte das arquibancadas (25° a 30°); Geometria favorável dirigindo as reflexões do palco “*orchestra*” a locais mais afastados, com mínimo de atraso de tempo em comparação ao som direto; Implementação de vasos ressonantes embutidos nos degraus do auditório, contribuindo para a musicalidade e intensidade do som [24].

O teatro romano, por sua vez, era normalmente construído numa planície, nos arredores da cidade. A “*orchestra*” foi reduzida a um semicírculo, e passou a fazer parte da plateia, ocupada por membros da alta sociedade. O palco transformou-se numa plataforma elevada, rodeado por partes refletoras ornamentadas, que melhoravam a acústica do teatro. Por sua vez, o fato de os atores se localizarem a uma cota superior à plateia, alterando o ângulo de projeção do som, permitiu a melhoria da percepção do som nos lugares mais distantes do palco [24].

Estas obras, arquitetonicamente pensadas para satisfazer as necessidades primordiais dos espaços para espetáculos musicais, prevaleceram durante vários séculos, até ao período da Renascença Italiana, como se encontra representado na figura 3.1 [24].

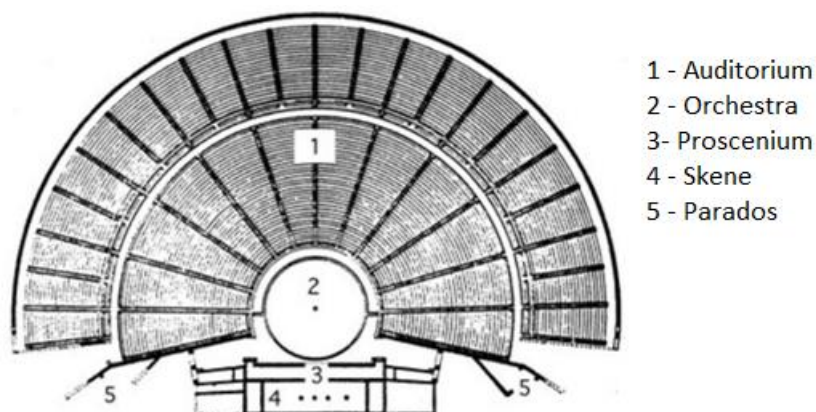


Figura 3.1 – Planta do Teatro de Dionísio, Atenas [21].

b) Renascimento

Após a sua origem na Grécia antiga, o teatro evolui e desenvolveu-se em diversas culturas e regiões do mundo. Durante a Idade Média, o teatro era frequentemente associado à igreja e era usado para ensinar lições religiosas [22].

Na Europa Renascentista nos séculos XVI-XVII, o teatro tornou-se mais sofisticado e passou a ser usado para explorar temas mais complexos. Itália e Inglaterra foram os grandes propulsores na produção teatral. Durante o reinado de Isabel I, o palco tinha uma parte coberta ao fundo e um tablado que avançava na direção da plateia. Não havia teto na maior parte do espaço para a entrada da luz natural (Fig. 3.2) [22].

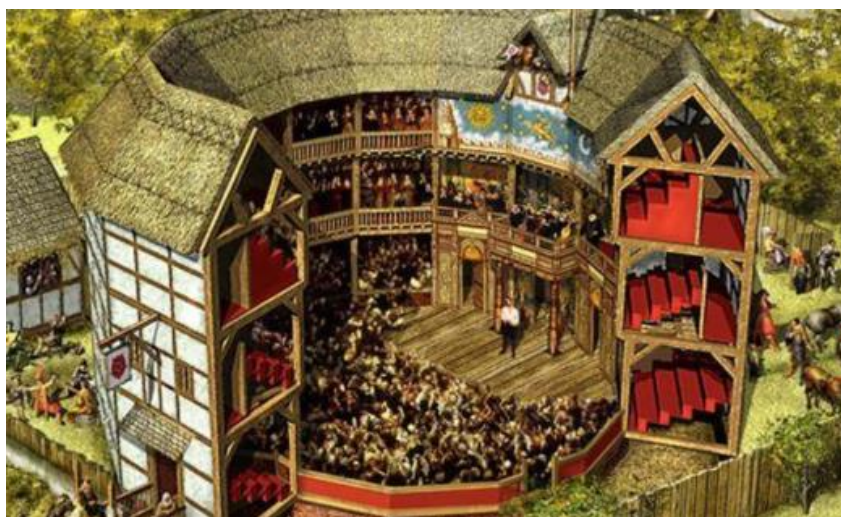


Figura 3.2 - Exemplo de um palco Elisabetano [23].

Entretanto em Itália, a redescoberta e revolução da cultura da antiguidade clássica foram o ponto de viragem para um novo tempo de renovação e de término da Idade Média [22].

Em 1588, tendo como referência o Teatro Olímpico de Vincenza, Scamozzi projeta o Teatro All'antica (Figs. 3.3 e 3.4). Dá-se então uma importante evolução no desenho dos teatros. O palco passa a ver-se com uma perspectiva central alargada, afastando as paredes laterais e os atores podem avançar para além do arco do “*Proscenium*”. Há uma maior exploração da perspectiva renascentista, criando a sensação de profundidade ou maior proximidade à audiência. Estas alterações, apesar de serem feitas com o intuito de melhorar as condições de visibilidade da audiência, melhoraram também a acústica do espaço, pois o avanço agora permitido aos atores facilitava a audição do espetáculo [24].



Figuras 3.3 e 3.4 - Teatro Olímpico de Vincenza, em Vincenza (dir.) e Teatro All'antica, em Sabbioneta (esq.) [23].

c) Barroco

O Barroco corresponde, na história da música, a um período bastante rico e revolucionário, onde se verificou uma grande evolução tanto ao nível da escrita musical, como das novas formas de composição e da execução instrumental.

Desde o início do século XVII, com o florescer da ópera por Claudio Monteverdi, até à morte de Johann Sebastian Bach, em 1750, há uma intensiva produção de novas peças musicais. A ópera tornou-se um espetáculo bastante dispendioso, pois envolvia cantores, cenários e roupa para caracterização das personagens. Por sua vez, a música instrumental atingiu um novo grau de desenvolvimento, devido ao aperfeiçoamento dos instrumentos de cordas, principalmente violinos, permitindo organizar um núcleo consistente, ao qual se juntaram instrumentos de sopro e percussão.

Todas estas mudanças no meio musical trouxeram a necessidade dos teatros se adaptarem às novas exigências acústicas e logísticas para as representações de ópera. Até que em 1637 é inaugurado o Teatro San Cassiano de Veneza (Fig. 3.5), a primeira casa de ópera concebida propositadamente para o efeito.

O problema da ópera barroca surge quando esta ocorre em teatros grandes, no qual os cantores precisam quase gritar para serem ouvidos, perdendo-se completamente a intimidade, mas acima de tudo o detalhe do contraponto pois a própria música tende a se misturar [24].

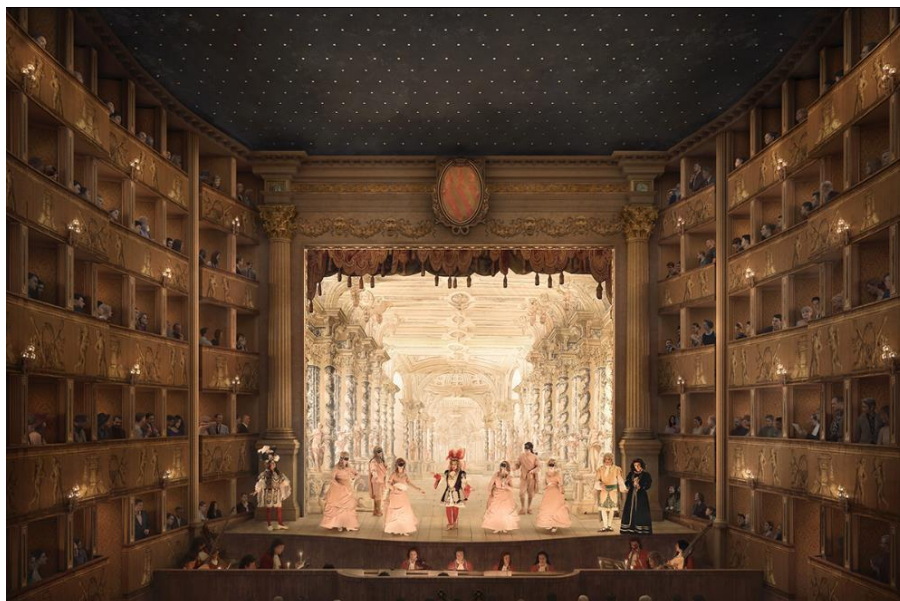


Figura 3.5 - Teatro San Cassiano, em Veneza (1637) [24].

d) Neoclassicismo

Em meados do século XVIII a mentalidade da sociedade alterou-se profundamente, e no período compreendido entre 1750 e 1820, Haydn, Mozart e Beethoven são alguns dos compositores mais famosos desta época, desenvolvem formas musicais como sinfonia e a sonata. A vivacidade e clareza que caracterizavam a música Barroca, foram substituídas nas composições clássicas pela sonoridade mais cheia. As sinfonias de Haydn e Mozart foram escritas com base no núcleo de cordas, aos quais se juntaram vários outros instrumentos de sopro e percussão, formando a base da orquestra sinfônica que hoje se conhece.

Na viragem do século XVIII, as salas de concerto foram-se construindo um pouco por toda a Europa, com especial enfoque para as cidades onde a música atingia um maior grau de maturidade, como Leipzig, Berlim e Viena. Um desses exemplos é Altes Gewandhaus em Leipzig (Fig. 3.6), que resultou da adaptação de um arsenal numa sala de concertos em 1780.

A sala tinha 23 m de comprimento e 11,5 m de largura, com as paredes laterais paralelas e as paredes do topo curvas. O pé direito da sala era de 7,35 m, o teto plano (como nas salas de ópera), mas curvo em todo o seu perímetro, no remate com as paredes. No piso não existia qualquer tapete. Tanto a estrutura da sala, bem como as paredes e pavimento eram em madeira. Este material permitia absorver o som de baixa frequência, atenuando os sons graves, fazendo sobressair uma sonoridade mais brilhante na sala. Por outro lado, toda a decoração existente nos tetos e nas paredes contribuía para uma melhor difusão do som na sala.

A plateia, com cerca de 400 lugares, organizava-se paralelamente às paredes maiores, colocando o público frente a frente, existindo também camarotes no nível superior, em ambos os topos da sala. A existência destes camarotes permitia evitar a produção de ecos, gerados pela curvatura das paredes. O Tempo de reverberação

desta sala, é de 1,3 segundos nas frequências médias (500 e 1k Hz), com a sala completamente ocupada [24].



Figura 3.6 - Altes Gewandhaus em Leipzig, [23]

e) Romantismo

O Romantismo, mais do que um estilo, assumiu-se como uma forma de valorizar a criatividade do indivíduo e afastando-se do equilíbrio dos clássicos. Os românticos procuram o regresso à natureza. Desta forma, os artistas procuram a sua inspiração nos momentos mais emotivos das suas vivências.

De 1820 até ao fim do século XIX, compositores como Mendelssohn, Brahms, Wagner, Tchaikovsky, Strauss, Debussy, Chopin, Shumann, entre outros, criaram obras que, em conjunto com as sinfonias clássicas, são atualmente a base do repertório das orquestras sinfónicas. Estas composições distinguem-se pela diversidade de formas que a melodia pode adquirir: pode ouvir-se uma longa linha melódica acompanhada pelas harmonias complexas e densas da orquestra; várias melodias que se fundem, dando apenas uma impressão geral da sonoridade da frase musical; ou ainda, a melodia parece não existir, sobressaindo apenas ritmos e harmonias.

Durante o século XIX, os compositores de ópera exploraram as capacidades da orquestra e esta, inevitavelmente, foi crescendo em número de elementos. Os lugares mais caros da ópera, encontravam-se no piso inferior, mais próximos do palco, apesar de permitirem uma boa perspetiva dos cantores, tornaram-se mais desequilibrados em termos acústicos. A orquestra, agora com grande número de elementos e uma maior potência sonora, sobrepunha-se à voz dos cantores. Por

oposição a isto, os lugares nos camarotes superiores, apesar de não terem uma visão privilegiada da cena, permitiam uma audição mais equilibrada do espetáculo. As vozes, refletidas no palco, eram claramente ouvidas nos lugares superiores, e o som da orquestra, atenuado com a distância, já não se lhes sobrepunha, um desses exemplos é a Opera House (Fig. 3.7) [24].

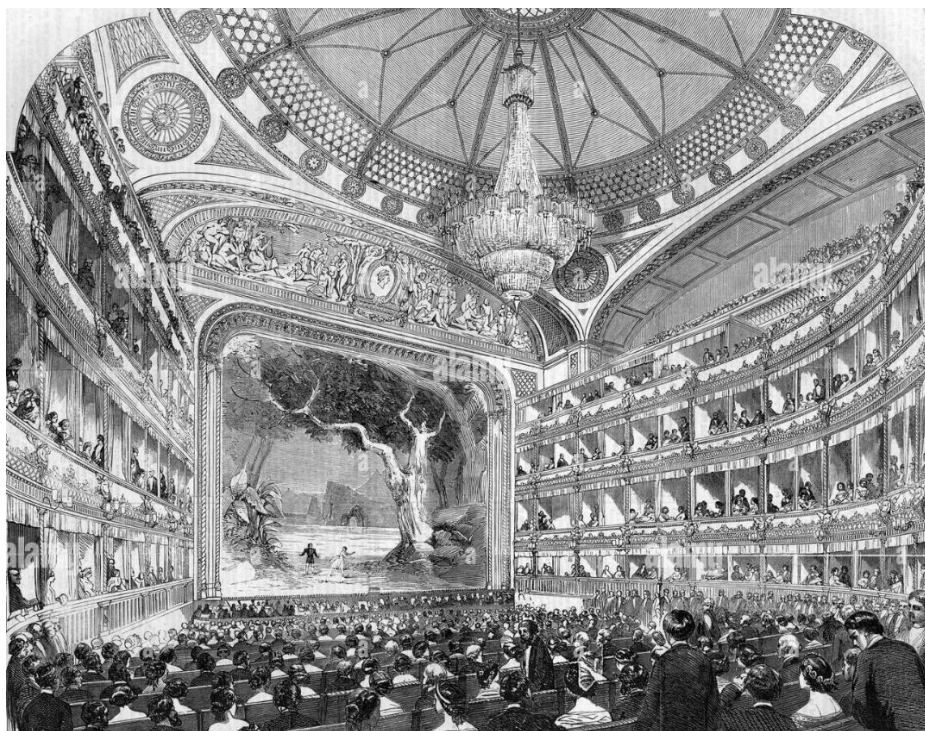


Figura 3.7 - Imagem Opera House, em Londres (1732) [24].

3.1.2. ÓPERA

3.1.2.1. Ópera Não Wagneriana

Após o ano 1700, o teatro caracterizou-se pela sua forma de ferradura, com anéis de camarotes um sobre o outro, e coberto por uma galeria de assentos de baixo custo. Este *design* foi então copiado por quase todas as cidades importantes da Europa, fazendo com que muitos dos compositores se tenham focado unicamente para um determinado tipo de acústica [14].

Numa ópera os requisitos de acústica são diferentes comparativamente com os concertos orquestrais, isto é, a parte vocal é considerada como uma forma de comunicação não muito diferente da fala. Para que se consiga preservar a inteligibilidade de um libreto, especialmente nos trechos musicais de trava-línguas que ocorrem nas composições de Mozart e Rossini, é necessário um tempo de reverberação relativamente curto, de forma a evitar que as sílabas sucessivas não sejam mascaradas devido a reverberação dos sons imediatamente precedentes [14].

Com a exceção das obras de Wagner, a ópera europeia encaixava-se perfeitamente em salas com acústica adequada para concertos e música de câmara do período

barroco. Muitas dessas casas de ópera são: La Scala (Milão), Le Fenice (Veneza), San Carlo (Nápoles), Ópera Garnier (Paris), Royal Opera (Londres), entre outras, que atendem a esses requisitos [14].

Nestas casas de ópera, a projeção das vozes dos cantores para o público tem que sair o mais clara possível e na intensidade suficiente, em junção com a orquestra que soe limpa e sem distorções. A simbiose perfeita entre a orquestra e os cantores é auxiliado pelo *design* acústico, bem como pelo controlo da orquestra efetuada pelo maestro [14].

Contudo em locais como a Europa, a ópera é quase sempre apresentada em uma linguagem inteligível para o público, e a maioria dos seus frequentadores enfatiza a importância de entender as palavras. Todavia na América e em alguns locais no Japão isso não acontece, sendo a ópera cantada na língua local e com acesso às traduções para que se possa entender o libreto. Na opinião de Erich Leinsdore “A música sozinha deve governar a reverberação para uma casa de ópera”, considerando que em locais fora da Europa, como exemplo o Metropolitan nos tempos de reverberação podem ser apresentados mais longos [14].

3.1.2.2. Ópera Wagneriana

A insatisfação de Wagner pela ópera barroca, levou-o a desenvolver um estilo totalmente pessoal, mas dentro das tradições do período romântico, sendo da sua criação algumas das óperas mais incomuns e emocionantes. Mesmo dispondo de uma orquestra grande (100 a 130 peças), o equilíbrio é mantido entre cantores e orquestra por meio de um fosso de orquestra rebaixado e coberto, o que confere uma qualidade misteriosa à música [14].

Para que as passagens orquestrais de Wagner, com sua velocidade relativamente baixa, possam soar melhor em uma sala, é necessário um tempo de reverberação longo de aproximadamente 2 segundos em frequências médias, para que o libreto seja inteligível, o tempo de reverberação precisa de ser um pouco menor, estando por volta dos 1,6 segundos ou até 1,8 segundos se caso a proporção entre o som inicial e o reverberante for alta [14].

3.2. CONSIDERAÇÕES ACÚSTICAS PARA SALAS DE ÓPERA E TEATRO

3.2.1. ASPETOS GERAIS

Wallace Clement Sabine foi um físico que na viragem do séc. XIX para o séc. XX, se dedicou seriamente à acústica, na interseção entre a física e a arquitetura. O seu trabalho focou-se em como essas duas áreas de deveriam coordenar de forma a que as comunicações sonoras, verbais e musicais fossem corretamente percebidas pelo público dos auditórios. Para Sabine a forma de se obter o melhor resultado prático em termos acústicos, reside em encontrar uma solução antes e não depois da construção do edifício [25].

No projeto de um teatro de ópera existem requisitos mínimos arquitetónicos de forma a garantir uma inteligibilidade da palavra, clareza apropriada ao som da orquestra e a equilibrada reverberação. Tal importância, permite um equilíbrio perfeito entre a

voz e o som da orquestra no qual a voz se deve sobressair, e a junção dos dois elementos ser audível em todo o espaço [19].

Para tal, considera-se a localização e orientação apropriadas das envolventes da sala de espetáculos e em simultâneo a preferência do tempo de reverberação [19]. Marshall Long considera que o ambiente ideal para se ouvir música ao vivo, está diretamente ligado ao tipo de peça musical apresentada. Mas na sua generalidade existem elementos comuns entre as diversos gêneros musicais, sendo eles [13]:

- A existência de reflexões laterais provenientes de uma fração de energia das superfícies laterais após 80 ms da percepção do primeiro som, proporciona ao público uma sensação de envolvimento;
- Dependendo do tipo de música que se encontra a ser executada, a sala de espetáculos tem que oferecer um sustento para o som instrumental, a partir de um campo reverberante proporcional à peça que se encontra a ser produzida;
- Devido à execução de músicas com um ritmo mais acelerado é essencial que exista clareza e definição de forma a serem apreciadas criteriosamente. De forma a tal ser possível, recorre-se a reflexões de superfície localizadas junto à fonte ou ao recetor, permitindo assim receber o som num curto intervalo inicial com o mínimo de atraso;
- O som deverá ter um nível sonoro aceitável, para que a sua distribuição seja uniforme. Quando uma sala de espetáculos ultrapassa os 2.600 lugares, tanto o nível sonoro como a definição são afetados;
- Para evitar os ecos, sombras ou outros defeitos, recorre-se a uma caracterização meticulosa da reverberação do espaço;
- Os ruídos externos provenientes de equipamentos mecânicos devem ser controlados para que os sons provenientes de instrumentos menos intensos possam ser inteligíveis;
- Durante o espetáculo é essencial que os intérpretes se consigam ouvir uns aos outros de forma clara e que usufruam da mesma experiência que os espectadores.

3.2.2. VOZ CANTADA

A voz humana, tem a capacidade de modificar as frequências ressonantes ou “formantes”, alterando a forma do trato vocal. Os diferentes sons vocálicos utilizados na fala são produzidos principalmente pela faringe, mais especificamente nas pregas vocais que se amplifica ao passar pelas cavidades situadas acima da laringe, conhecidas como cavidades de ressonância e pelo movimento da mandíbula, bem como do corpo e da ponta da língua [19].

O sinal sonoro, “a voz” produzida na laringe, é muito complexo, pois é composto por uma frequência fundamental determinada pelo tamanho das pregas vocais, pela velocidade de vibração e por diversas frequências parciais, que são múltiplas integrais da frequência fundamental. Essas frequências parciais são conhecidas como harmónicos da frequência fundamental. Dessa forma, pode-se entender que

se a frequência fundamental de um indivíduo é de 100 Hz, ou seja, as pregas vocais vibram 100 vezes por segundo [19].

O formante é representado pelas frequências naturais de ressonância do trato vocal, especificamente na posição articulatória da vogal falada. As vogais são identificadas pelos seus formantes. Os formantes determinam a qualidade das vogais e contribuem muito para o timbre pessoal do cantor. Sendo assim, em uma análise acústica, observa-se que os primeiros cinco formantes são os de maior interesse, sendo que os três primeiros são responsáveis pela identidade das vogais e possuem características instáveis, e são responsáveis pelo timbre pessoal, ou seja, pela qualidade e brilho da voz [19].

Os formantes, são expressos através de seu valor médio em hertz (Hz), ou ciclos por segundo, e designados por F1, F2, F3... Fn, de modo progressivo. A localização no trato vocal de cada formante, afirmando que o primeiro formante (F1) ocorre na cavidade posterior da boca e está em torno de 250 a 700 Hz, o segundo formante (F2) fica situado na cavidade oral entre os valores de 700 a 2.500 Hz [19].

O cantor treinado tem a capacidade de sobressair-se ao som de uma orquestra sem fazer uso de amplificação sonora como o microfone e sem prejudicar seu aparelho fonador (Fig. 3.8). A técnica lírica é utilizada pelos cantores de ópera, por isso suas vozes apresentam um pico espectral intenso e largo em torno de 3.000 Hz. Como sua frequência ocorre onde o som orquestral é relativamente fraco, permite que o cantor seja ouvido acima de um som orquestral mais alto, embora o som fundamental do canto pode ser mascarado [19].

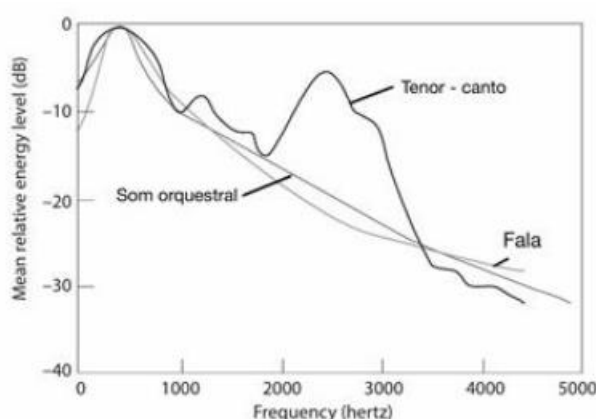


Figura 3.8 - Espectros do som orquestral e da voz cantada, mostrando o “singing formant” em torno de 3.000 Hz [19].

Outro aspecto dos cantores que deveria ser considerado é o padrão direcional da saída sonora. As direções irradiadas medidas por Marshall e Meyer para os planos horizontal e vertical. Na figura 3.9 está representado o inevitável aumento da diretividade com frequência mais alta. Eles então concluíram [19]:

- Que ocorrem diferenças perceptíveis no timbre para cantores girando mais de 40°, e que se torna prejudicial além de 80°. Para minimizar esses efeitos devem-se usar reflexões, especialmente logo além do lado do prosccênio;

- Um reflexo fora do palco na frente do cantor é especialmente valioso e deve ser explorado sempre que possível;
- As reflexões laterais provavelmente serão mais valiosas do que reflexões aéreas e deve-se sempre que possível estar dentro de 60° da visão do canto;
- Os coros devem se localizar em degraus ingremes, com inclinação de pelo menos 45°.

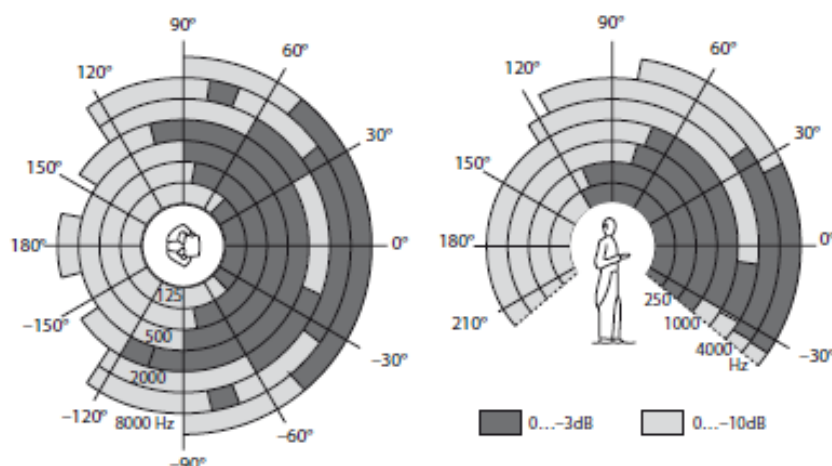


Figura 3.9 - Padrão de diretividade da voz para um cantor barítono [19].

3.2.3. ESTRUTURA FÍSICA E DISPOSIÇÃO

De todas as formas possíveis de um auditório, a restrição deste depende do tipo de espetáculo que nele se pretende produzir, e no caso de ópera o próprio *design* é condicionado. A necessidade de os cantores e orquestra visualizarem o maestro se torna inevitável o palco do prosccênio, com a orquestra em um fosso entre o palco e os assentos da assistência. A distância máxima do público ao palco é limitada tanto pela visão quanto pela acústica, estando a uma distância de 30 m, sendo esta distância aplicada normalmente para ópera [19].

Na sua maioria os projetos de salas de ópera encontram-se inspirados pela arquitetura do teatro barroco em forma de ferradura, ou em forma de leque, introduzidas inicialmente por Bayreuth e por Wagner [19].

As versões mais utilizadas tanto para ópera como para drama, foram em forma de U, ferradura ou elíptica. A família Galli-Bibiena considerada por muitos a responsável pelo *design* de muitas salas de ópera do século XVIII, sempre se focou no mesmo tipo de arquitetura. A escolha desse tipo de forma de planta está mais relacionada com a linha de visão do que propriamente com acústica, principalmente em espaços pequenos. A visão do ouvinte e a própria acústica torna-se afetada pela forma elíptica da sala devido a distribuição do público sobre o mesmo plano. Para minimizar esse problema procedeu-se a inclinação acentuada do piso, permitindo que a área de visão se localize acima das cabeças de qualquer público [19].

Tendo em consideração que a linha de visão do espectador para com o palco em planta estabelece um ângulo máximo, normalmente limitado a 30°. A distância

máxima do público ao palco é limitada tanto pela linha de visão quanto pela acústica, sendo legitimamente aplicado um valor de 30 metros para ópera (Fig.3.10) [19].

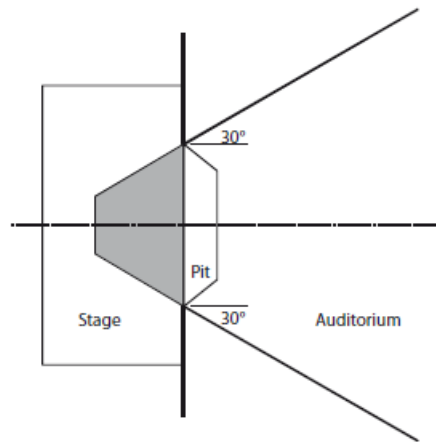


Figura 3.10 - O efeito do ângulo de visão na visibilidade do palco [19].

3.2.4. GALERIAS/BALCÕES

As galerias ou balcões permitem acomodar um maior número de audiência, visto que é um aproveitamento na vertical de um espaço que não teria utilidade. Permite uma visão privilegiada e além disso uma aproximação aos músicos, enquanto que arquitetonicamente consegue dividir verticalmente a sala de espetáculos em espaços distintos [19].

Tradicionalmente nas salas de ópera existem dois tipos de acomodações nos balcões: os camarotes (mais comuns na Itália) e as galerias abertas (normalmente mais utilizadas na Inglaterra). Dois exemplos são: o Teatro Alla Scala em Milão com camarotes e o Teatro da Paz em Belém com galerias abertas como pode ser observado nas figuras 3.11 e 3.12 [19].



Figuras 3.11 e 3.12 - Teatro Alla Scala, Milão (dir.) e o Teatro da Paz, Belém, Brasil (esq.) [24]

Duas das recomendações gerais representadas na figura 3.13 no qual se deve ter para projetos de balcões em salas de ópera são as seguintes:

- Como regra geral, a distância D não deve exceder o dobro da altura H . Além disso, o intradorso e as paredes traseiras e laterais devem ser moldados para refletir o som direto para as cabeças dos ouvintes;
- Como uma medida mais sensível do que a razão D sobre H , o ângulo. Deve ser preferencialmente maior que 25 graus, sendo o recomendado para ópera um ângulo mínimo de 30 graus.

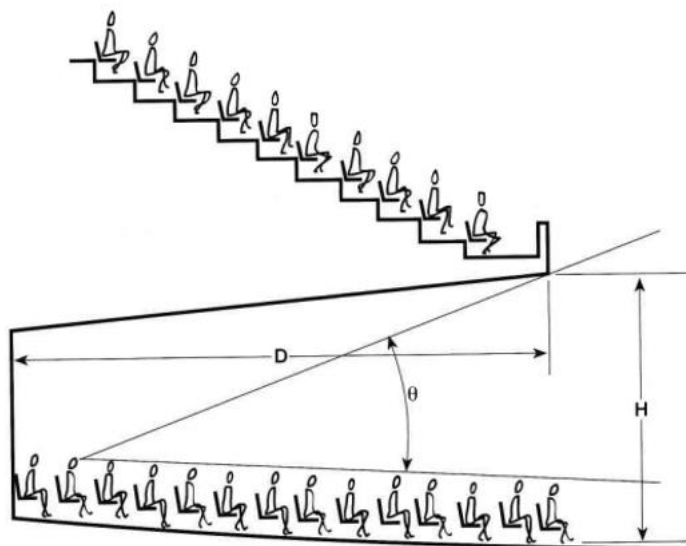


Figura 3.13 – Projeto recomendado para elaboração de varandas em tetos de ópera [14].

3.2.5. PROSCÉNIO

O proscénio, trata-se de um prolongamento do palco que se projeta, no mesmo nível deste, até a plateia (ou até o fosso da orquestra) e que permite trazer de volta o envolvimento real entre o cantor e o público, além de oferecer vantagens acústicas [19].

Num projeto de uma sala de ópera a forma e abertura do proscénio é uma característica bastante relevante, e por isso deve-se ter em conta as suas dimensões. A largura do proscénio para uma grande ópera é normalmente de 14 metros, podendo ir até aos 18 m e a sua largura no mínimo até os 9 metros [19].

O principal objetivo no projeto dos teatros de ópera é melhorar as capacidades dos cantores em relação à orquestra. As superfícies imediatamente em frente ao proscénio estão mais próximas dos artistas e são capazes de desempenhar esse papel mais efetivamente. Para melhorar o desempenho dos cantores deve-se direcionar as reflexões úteis do proscénio para o auditório através de uma orientação apropriada [19].

Para uma melhor dispersão no proscénio recorre-se a implementação de pequenos elementos de dispersão para que se possa refletir uma parcela de energia de alta

frequência da orquestra em direção à área de assentos da plateia como se encontra representado na figura 3.14 [19].

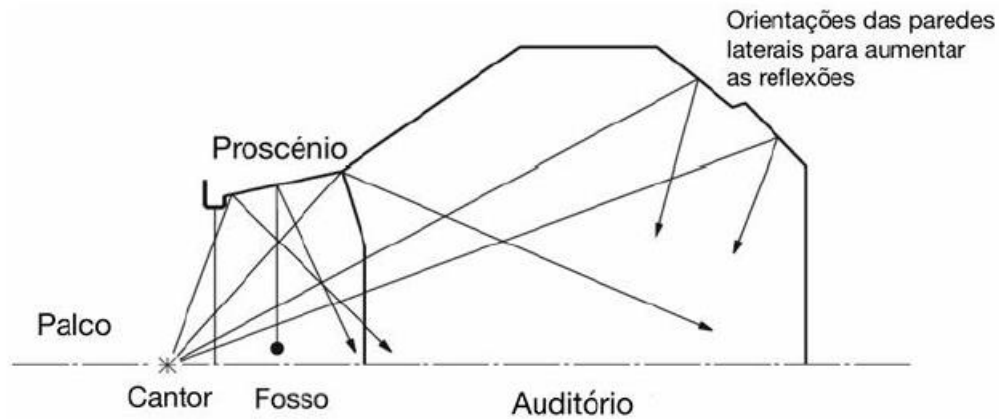


Figura 3.14 - Reflexões associadas à forma do projeto da ópera na planta (adaptado de [19]).

3.2.6. TETOS E PAREDES

No século XIX os tetos abobadados tornaram-se bastante populares e devido ao seu formato côncavo, tinham o efeito acústico de concentrar o som em locais desajustados, fazendo com que ouvintes que se encontravam no nível mais alto da sala não conseguissem receber as reflexões provenientes do teto [19].

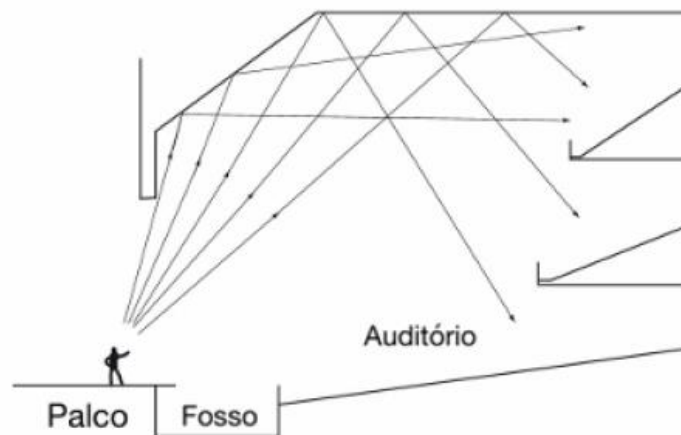


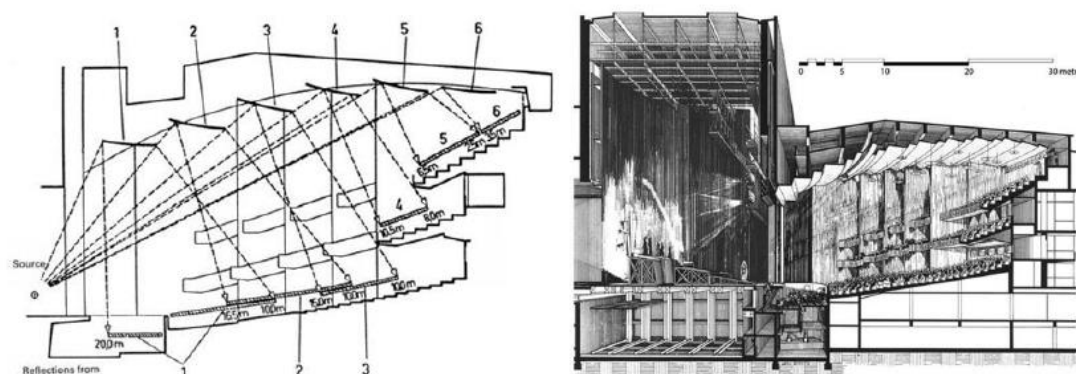
Figura 3.15 - Reflexões com um teto inclinado do proscênio até o teto plano (adaptado de [19]).

Uma característica muito importante para realçar a voz dos cantores é a colocação de uma superfície imediatamente sob o proscênio, por cima do fosso da orquestra que se designa por canópia [19].

Esta superfície que se encontra por cima do proscênio até ao teto plano (com uma determinada inclinação), permite que a voz do cantor seja refletida para os balcões,

e não necessariamente para a plateia onde não são necessárias as reflexões adicionais, como se encontra representada na figura 3.15 [19].

Foi proposto em 1962 um projeto acústico para o teto da Deutsche Oper Berlim por Cremer, Nutsch e Zemke, e mais tarde também discutido por Cremer e Müller em 1982. Consistia em aplicar uns painéis com inclinação reversa à orientação do teto (Fig. 3.16), promovendo que todas as zonas de audiência fossem abrangidas com as reflexões provenientes do teto. Os atrasos decorrentes dessas reflexões foram em todos os lugares inferiores a 50 ms, exceto para dentro do fosso (Fig. 3.17) [19].



Figuras 3.16 e 3.17 - Projeto acústico proposto para a Deutsche Oper Berlim (esq.) projeto final de execução (dir.) [19].

Na sua generalidade algumas salas de ópera e teatro, têm implantadas técnicas arquitetónicas e formas de *design* que criam a impressão ou o efeito acústico de alargamento das paredes laterais, tais como: paredes com inclinação ou curvatura, painéis móveis ou ajustáveis, revestimentos acústicos refletoras. Essas soluções servem principalmente para otimizar a acústica e proporcionar uma experiência imersiva ao público. Em plantas em forma de leque, existe uma área de assentos na zona da plateia central, na qual são mais fracas as reflexões (*Hole-in-the-middle problem*), encontrando-se aproximadamente a três quartos do caminho para trás do palco como descreve a figura 3.15. Entretanto, as paredes traseiras nas salas de óperas tradicionais, caracterizam-se pelo seu formato curvo, provocando perturbações na focagem de áreas específicas de assentos na plateia. Para se poder evitar essas perturbações têm-se optado por paredes traseiras com superfícies planas [19].

3.2.7. A ORQUESTRA NO FOSSO

Numa ópera não wagneriana os requisitos acústicos de um fosso de orquestra são para projeção clara e sem distorções da música na sala, em bom equilíbrio e mistura, sem distorção tonal. Tem que haver uma sintonia perfeita entre os vocalistas e orquestra, de forma a serem capazes de ouvir um som orquestral claro e equilibrado. Para a ópera wagneriana, a intensão de criar um “som místico” levou à criação de

um fosso fundo e coberto, cujo comportamento acústico é bem diferente do fosso aberto. Para fins de discussão, os fossos são classificados de três maneiras [14]:

- Fosso a céu aberto (por exemplo, Vienna Staatsoper);
- Fosso afundado, coberto (por exemplo, Bayreuth Festspielhaus);
- Fosso submerso, aberto (por exemplo, Eastman Theatre em Rochester).

O fosso totalmente aberto tem um efeito visual perturbador sobre o público. Uma segunda objeção é que, para acomodar uma grande orquestra de 80 a 100 peças, um fosso tem que ter de 6,7 a 9,1 m de largura, medido do palco até à grade do lado do público, na linha central. A profundidade dos fossos varia entre 2,5 e 3,5 m, tendo a opção de fossos rasos que permitem ser vistos facilmente pelo público [14].

O fosso coberto, inicialmente projetado por Wagner, consiste num fosso parcialmente enterrado sob o palco e a porção restante é quase completamente coberta por uma saliência. É usado por uma orquestra muito grande numa sala que tem um tempo de reverberação relativamente longo, por exemplo de 1,6 segundos. Exceto para música de Wagner, este fosso não é considerado satisfatório porque os sons das cordas são abafados e a orquestra assume um som “assustador” [14].

Num fosso afundado, a área do piso é geralmente pelo menos duas vezes maior que a área aberta. Nenhum fosso que se encontre em grande parte enterrado sob uma plataforma fornece à orquestra o tipo natural de som ouvido nas salas de ópera de Viena, Milão, Paris ou Londres, que têm fossos abertos [14].

3.3. LEGISLAÇÃO EM PORTUGAL

Em Portugal, está em vigor o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), instituído originalmente em 2002 pelo Decreto-Lei n.º129/2002, tendo sido posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º96/2008. Essa remodelação, ocorreu para inclusão de critérios mínimos para os edifícios de unidades hoteleiras, auditórios, salas de espetáculo e cinemas [26].

O RRAE regula o conforto acústico na edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, pela melhoria do projeto e construção dos edifícios. Inclui disposições nomeadamente relativo às correções acústicas e ao isolamento sonoro de ruídos aéreos e de percussão [26].

As normas do presente Regulamento aplicam-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos seguintes tipos de edifícios, em função dos usos a que os mesmos se destinam [26]:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artº 5);
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artº 6);
- Edifícios escolares e similares, e de investigação (artº 7);
- Edifícios hospitalares e similares (artº 8);
- Recintos desportivos (artº 9);
- Estações de transporte de passageiros (artº 10);

- Auditórios e salas (artº 10-A).

Como o Teatro Ribeiro Conceição, é utilizado numa vertente de multiuso entre se inclui teatro, musicais, ópera e atividades assentes na oratória, o Artigo 10º-A “Auditórios e Salas”, expõe os requisitos acústicos que o ele deve cumprir [26].

O ponto 1 do art. 10º-A, refere-se a recintos cuja principal valência corresponda a atividades assentes na oratória (auditórios, salas de conferência e salas de cinema) com os seguintes requisitos [26]:

- a) O tempo de reverberação médio, T , nas bandas de oitava centradas nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, a considerar para estes recintos, quando mobilados normalmente e sem ocupação, deve satisfazer o seguinte:

$$T \leq 0,12 \times V^{\frac{1}{3}} \quad \text{se} \quad V < 250 \, m^3 \quad (3.1)$$

$$T \leq 0,32 + 0,17 \times \log(V) \quad \text{se} \quad 250 \leq V < 9.000 \, m^3 \quad (3.2)$$

$$T \leq 0,05 \times V^{\frac{1}{3}} \quad \text{se} \quad V \geq 9.000 \, m^3 \quad (3.3)$$

Em que o V é o volume interior do recinto, em metros cúbicos.

- b) O projeto de condicionamento acústico destes espaços deve incluir um estudo específico destinado a assegurar uma característica de reverberação adequada no restante espectro de frequências e uma boa inteligibilidade da palavra nos diversos locais do recinto.

O ponto 2, refere-se aos auditórios e salas cuja principal valência não corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente de auditórios para música ou salas de espetáculo. O projeto de condicionamento acústico destes espaços deve incluir um estudo específico destinado a assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização funcional [26].

O ponto 3, refere-se as fachadas dos recintos que devem assegurar que os valores do índice de isolamento a sons aéreos, $D_{2m,nT,w}$, corrigido do termo de adaptação aplicável, C (ruído rosa) ou C_{tr} (ruído de tráfego), sejam os necessários para que o nível sonoro contínuo equivalente L_{Aeq} , satisfaça a expressão 3.4. É determinado, a partir da média espacial de pontos representativos, na ausência de funcionamento das instalações técnicas do edifício [26].

$$L_{Aeq} \leq 30 \, dB \quad (3.4)$$

No ponto 5, refere-se a interior dos recintos, o nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular, L_{Aeq} , associado ao funcionamento dos equipamentos e instalações

técnicas, designadamente de instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado, deve, com a sala desocupada, satisfazer a seguinte expressão [26]:

$$L_{Aeq} \leq 38 \text{ dB} \quad \text{no caso de cinemas} \quad (3.5)$$

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB} \quad \text{nos restantes recintos} \quad (3.6)$$

De acordo com o que se refere nos pontos 8 e 9, as avaliações realizadas *in situ* devem considerar um fator de incerteza *I*, relacionado com a determinação das grandezas em causa. Portanto, os valores do tempo de reverberação médio (*T*) devem ser reduzidos pelo fator *I* no valor percentual de acordo com o limite regulamentar nas expressões 3.6, 3.7 e 3.8 [26].

$$25\% \text{ se } V < 250\text{m}^3 \quad (3.6)$$

$$35\% \text{ se } 250 \leq V < 9.000\text{m}^3 \quad (3.7)$$

$$40\% \text{ se } V \geq 9.000\text{m}^3 \quad (3.8)$$

Para além do tempo de reverberação, o valor obtido para o nível de ruído particular (L_{Aeq}) deve também ser diminuído do fator de incerteza *I* no valor de 3 dB para verificação do limite regulamentar [26].

4

TEATRO RIBEIRO CONCEIÇÃO

4.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O teatro Ribeiro Conceição está localizado no Largo de Camões, em frente à Praça da Catedral, em Lamego (Fig. 4.2 e 4.3) [27].

O edifício foi construído em 1727 com o objetivo de ali funcionar o Hospital da Misericórdia. Mais tarde, em 1886, o Quartel do Regimento da cidade de Lamego sofreu um grande incêndio e a Misericórdia cedeu-lhe o espaço do velho hospital. Porém, no ano seguinte, essa fatalidade também assombrou este edifício, ficando reduzido a escombros [27].



Figura 4.1 – Comendador Ribeiro Conceição [28].

Em 1924, é comprado em hasta pública por José Ribeiro Conceição (Fig. 4.1), que ergue então o teatro que hoje tem o seu nome, mantendo a fachada setecentista original [27].

Inaugurado a 2 de Fevereiro de 1929, José Ribeiro Conceição é alvo de homenagem pública com a presença da atriz Lucília Simões. A partir daí, este local acolhe espetáculos de teatro, ópera, circo, cinema, dança e música, tornando Lamego uma referência na vida cultural do interior do país [27].

Em 1989, fecha as suas portas. Entretanto, a Câmara de Lamego avança com a aquisição e em 1993 foram realizadas obras de recuperação e consolidação do edifício [27].

A recuperação do palco e a aplicação de tecnologias de cena, permite uma maior rentabilização artística e de público. Renovaram-se por completo as áreas anexas e complementares ao espetáculo em si: palco tecnologicamente equipado, novos camarins, sala de ensaios, estúdio, zona de exposições autónoma e *foyer* [28].

Mantida a fachada de estilo típico barroco Português, composta por dois andares, com acesso através de uma escadaria monumental. Dela se destaca as várias

janelas em granito e o brasão da coroa real Portuguesa. O interior apresenta uma espaçosa sala de estar a modo "italiano" [28].

A sala, em si mesma, manteve a mesma estrutura, a arquitetura e a decoração originais, com plateia e duas ordens de camarotes, numa lotação total de cerca de 417 lugares [29]. A 23 de Fevereiro de 2008, é reinaugurado o teatro como uma das salas mais emblemáticas durienses [29].



Figura 4.2 - Localização do Teatro Ribeiro Conceição, Lamego [30]



Figura 4.3 - Teatro Ribeiro Conceição, em Lamego [27].

4.2. DESCRIÇÃO ARQUITETÓNICA E GEOMÉTRICA

A sala de espetáculos do Teatro Ribeiro Conceição, é composta pelos seguintes elementos [28]:

- Piso 1
 - ✓ Plateia com 187 lugares;
 - ✓ 2 frisas de 5 lugares;
 - ✓ 4 frisas de 3 lugares;
 - ✓ 12 frisas de 4 lugares.
- Piso 2
 - ✓ Balcão de 1ª ordem, com 28 lugares;
 - ✓ Camarotes de 1ª ordem, com 12 camarotes de 4 lugares.
- Piso 3
 - ✓ Balcão de 2ª ordem 36 lugares;
 - ✓ Camarotes de 2ª ordem 12 camarotes de 4 lugares.

Na totalidade consegue albergar 417 espetadores como se encontra esquematizado na planta do auditório (Fig. 4.4).

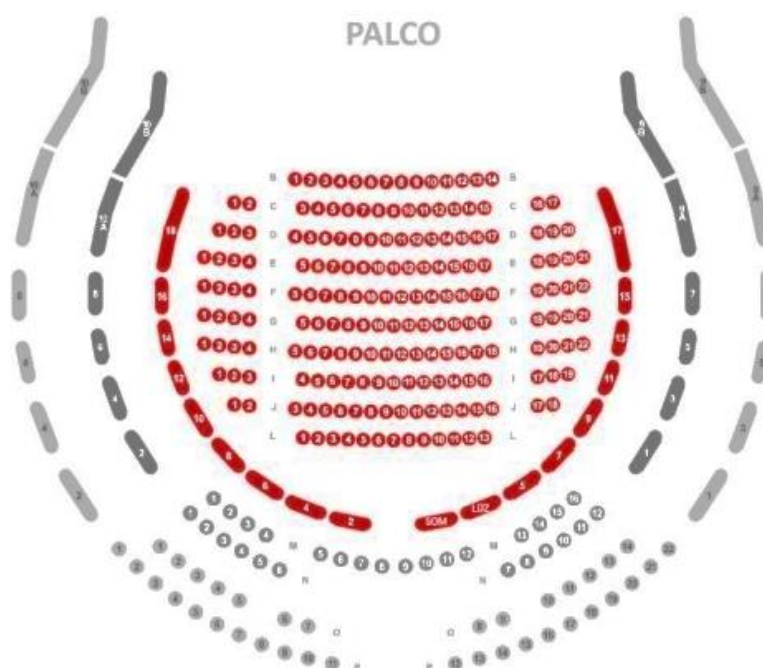


Figura 4.4 – Planta do Teatro Ribeiro Conceição [28].

- Palco
 - ✓ Palco em madeira de pinho de Oregon envernizado em preto baço;
 - ✓ Largura: 13 m;
 - ✓ Profundidade: 10,50 m;
 - ✓ Altura plateia-palco: 1,20 m;
 - ✓ Área máxima (cena negra): 8,30 m X 8,30 m.

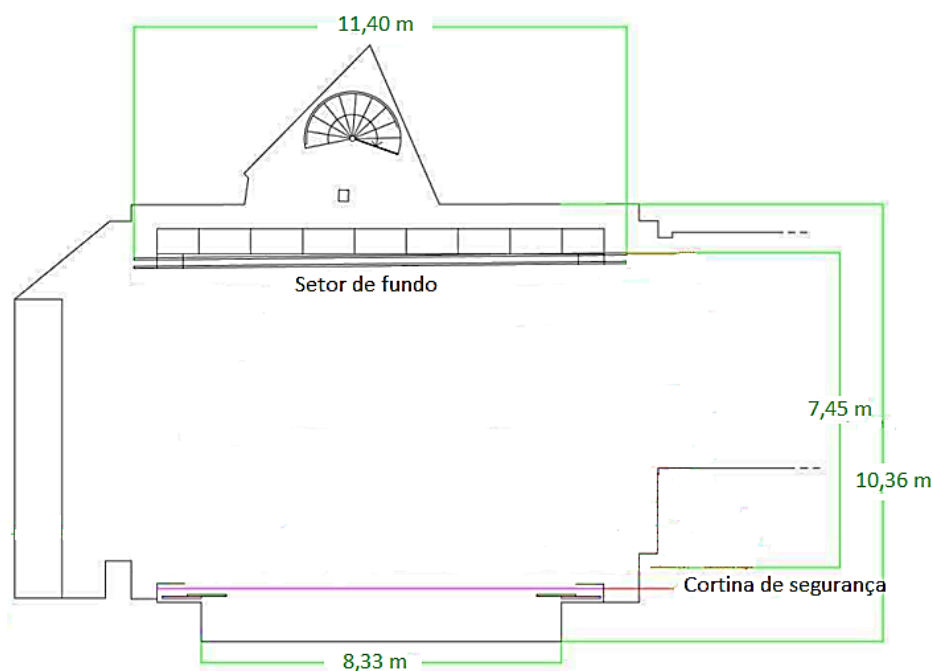


Figura 4.5 - Planta do palco do teatro Ribeiro Conceição [28].



Figuras 4.6 e 4.7 – Palco totalmente aberto (dir.) e o palco condicionado através das bombalinas e pernas (esq.) [Fotos da autora].

Na medição dos parâmetros acústicos desceu-se as bombalinas negras, como também as pernas, de forma a garantir uma aproximação o mais possível a um espetáculo no seu ambiente natural (Figs. 4.5 e 4.6).

Pertence ao fosso de orquestra uma plataforma hidráulica que executa quatro níveis de paragem: palco, plateia, fosso de orquestra e oficina/sala de piano. A plataforma tem as seguintes dimensões: Largura: 7,80 m; Profundidade (em curva): 1 m e 1,60 m ao eixo, representado na figura 4.8 [28].

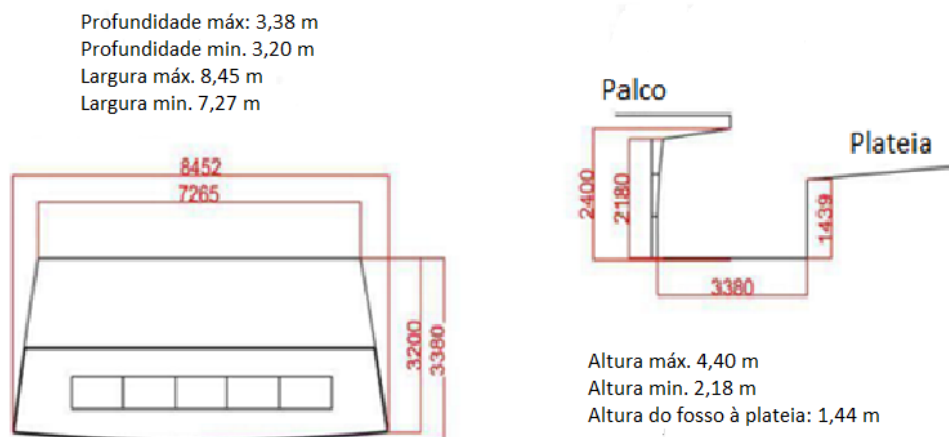


Figura 4.8 – Planta e alçado esquemático do fosso de orquestra [28].

Quadro 4.1 - Valores da área, altura média e do volume das zonas do teatro Ribeiro conceição

Zona			Altura aprox. (m)	Altura Média aprox. (m)	Área aprox. (m²)	Volume aprox. (m³)
Palco	“1ª varanda”		9,30	14,9	137	2032
	“2ª varanda”		12,50			
	“3ª varanda”		15,80			
	“Falsa teia”		19,00			
	“Teia”		22,00			
	“Varanda do proscénio”		10,70			
Sala	Piso 0	Plateia	9,38	9,38	249	2095
		Frisas	2,70		112	
	Piso 1	1º Balcão	2,70		112	
		Camarotes 1ª ordem				
	Piso 2	2º Balcão	4,00		112	
		Camarotes 2ª ordem				
Fosso	Altura máxima		2,40	2,29	25	57
	Altura mínima		2,18			
	Altura do fosso à plateia		1,44			
	Largura		7,80			
	Profundidade		3,20			
	Desnível fosso-plateia		1,50			

Os valores do quadro 4.1, foram obtidos a partir de medições efetuadas no local através de mediadores de distância a laser, sabendo que podem existir erros de medição devido às superfícies e ao posicionamento do equipamento considerando-se um erro de precisão de ± 3 mm por metro.

O interior da sala do Teatro Ribeiro Conceição insere-se no estilo designado por teatro à italiana, em forma de ferradura (Figs. 4.4 e 4.9). Destaca-se pelos seus pormenores decorativos, entre os quais as talhas douradas e seu imponente lustre estilo francês (Figs. 4.10 e 4.11).



Figura 4.9 - Interior da sala do Teatro Ribeiro Conceição [Fota da autora].



Figuras 4.10 e 4.11 - Lustre estilo francês (esq.) e talha dourada (dir.) [Fotos da autora].

Apesar da inexistência de um projeto acústico específico para o Teatro Ribeiro Conceição, existem aspetos os quais não se podem desvalorizar e que contribuem para a absorção sonora e reflexões e que, por sua vez, influenciam diretamente no Tempo de reverberação, a saber:

a) Paredes

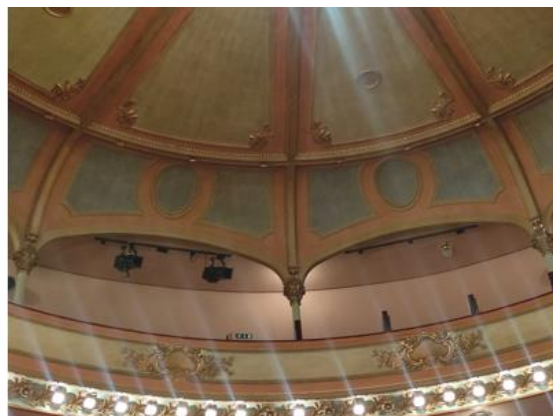
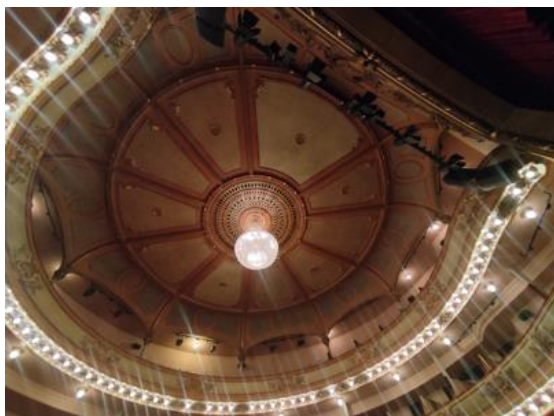
As paredes são estruturalmente em madeira e gesso cartonado permitem absorver algum som de baixa frequência, atenuando os sons grave, e fazendo sobressair uma sonoridade mais agradável na sala. O formato arredondado do parapeito das frisas e dos balcões no qual estão inseridas as talhas favorecem a difusão e a dispersão do som (Fig. 4.12). A utilização de cortinas com um elevado peso específico, e com um determinado grau de franzido (número de pregas) aplicadas numa certa distância à superfície faz aumentar a sua eficácia em médias e altas frequências, como também a utilização de uma espessura adequada faz aumentar a eficácia nas altas frequências (Fig. 4.13) [1].



Figuras 4.12 e 4.13 - Cortinas aplicadas nas frisas e balcões (dir.), Paredes (esq.) [fotos da autora].

b) Teto

O teto em forma abobadada e com remate curvo nos pilares de sustentação, apresenta um diâmetro total de aproximadamente 14 metros (Figs. 4.14 e 4.15). Devido à sua forma côncava, o som tende a se concentrar em locais desajustados, privando alguns ouvintes que se encontram nos níveis superiores de receberem reflexões provenientes do teto [19].



Figuras 4.14 e 4.15 - Teto em forma abobada (esq.) e Teto com o remate curvo nos pilares (dir.) [fotos da autora].

c) Cadeiras almofadadas

As cadeiras almofadas são extremamente úteis quando aplicadas em auditórios e salas de concerto. Normalmente estes ambientes possuem um volume enorme, e o próprio público torna-se na sua generalidade o material absorvente sonoro mais condicionante, afetando diretamente o Tempo de reverberação que depende do volume do espaço e da quantidade de pessoas presentes [30].

O problema é que na maioria das vezes o espetáculo não se encontra esgotado e o Tempo de reverberação não é o mesmo para uma sala esgotada ou para uma sala quase vazia. É devido a este fluxo inconstante de público que as cadeiras almofadadas são extremamente eficazes, pois o seu acolchoamento pode oferecer algo similar à absorção sonora do corpo humano, fazendo com que se minimize as diferenças no tempo de reverberação entre o ambiente ocupado e desocupado. As cadeiras devem ter preferencialmente um acolchoamento acusticamente absorvente. (Fig. 4.16) [30].

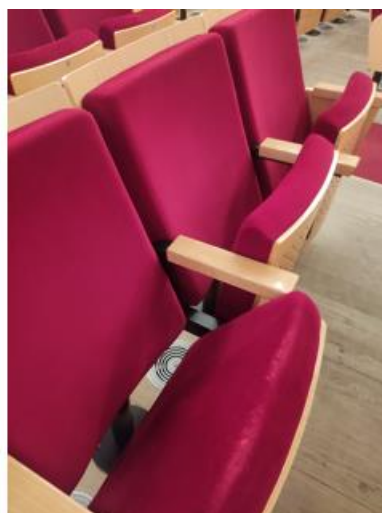
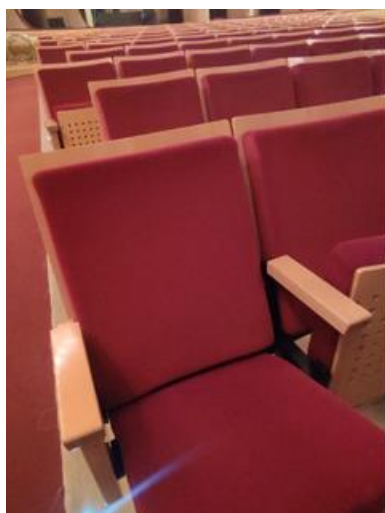


Figura 4.16 - Cadeira almofadas do Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora].

5

METODOLOGIA DOS ENSAIOS

5.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Os equipamentos e *software* utilizados nas medições dos ensaios, foram cedidos pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), sendo os seguintes:

- **Fonte sonora** Brüel & Kjaer (*Echo Speech Source*), modelo 4720: fonte de sonora que emite um sinal no qual permite medir uma gama de parâmetros. Existem diversos métodos de excitação e diversas formas e modelos de fontes sonoras (direcionais, omnidirecionais, etc.) (Fig. 5.1 A);
- **Sonómetro** Brüel & Kjær, modelo 2260: medidor de nível sonoro portátil com autonomia através de bateria interna. É capaz de realizar análises detalhadas em oitava e banda de 1/3 de oitava, além de ter a possibilidade de ser programável. Instrumentos de medida de pressão acústica, basicamente constituídos por um microfone, um circuito integrador, filtros de ponderação e um mostrador (analógico ou digital). Há sonómetros de várias classes em função da sua precisão, sendo o Tipo 0 (referência) o mais utilizado em laboratório (Fig. 5.1 B);
- **Calibrador de microfone** Brüel & Kjær, modelo 4231: a sua utilização garante que se possa obter uma confiança dos resultados obtidos através da medição do sonómetro. Este equipamento permite verificar ou calibrar sonómetros para avaliar a sua precisão (Fig. 5.1 C);
- **Microfone** de 13 mm Brüel & Kjær, modelo 4189: possui uma alta precisão em campo livre com alta sensibilidade em uma gama de frequência de 6,3 a 20.000 Hz. Permite converter variações de pressão no ar em impulsos elétricos (Fig. 5.1 D);
- **Tripé portátil** Brüel & Kjaer, modelo UA0049: é utilizado para garantir a estabilidade e rigor durante todas as medições; possui uma perna niveladora que varia sua altura de 0,40 m a 1,31 m;
- **Software DIRAC**: é uma ferramenta avançada para calcular diversos parâmetros acústicos de forma automatizada;



Figura 5.1 - Equipamentos de medição: A – Fonte Sonora, B – Sonómetro C – Calibrador de microfone e D – Microfone [31], [32], [33] e [34].

Os ensaios foram realizados 4 de Novembro de 2024 pelo Engenheiro António Eduardo Batista da Costa e auxiliado pela autora, estando a sala completamente desocupada à exceção dos intervenientes que realizaram as medições.

5.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO

5.2.1. RUÍDO DE FUNDO

O ensaio de ruído de fundo tem como objetivo avaliar e descrever o ruído que existe numa sala de espetáculos quando nesta não existe interferência de equipamentos ligados e de público. Com este ensaio determinam-se os níveis de pressão sonora (L) e os níveis sonoros (L_A), provenientes unicamente do ruído externo. Este ensaio permite compreender se os ruídos de fundo prejudicam acusticamente os espectadores.

O equipamento utilizado neste ensaio foi o sonómetro (Brüel & Kjær modelo 2260), que foi aplicado no tripé portátil Brüel & Kjaer, a uma altura aproximadamente de 1,2 metros (altura aproximada de uma pessoa que se encontra sentada). A fonte sonora Brüel & Kjaer colocou-se no palco a aproximadamente 1,20 m da boca de cena (Fig. 5.2).

A medição deste parâmetro efetuou-se com o AVAC ligado e depois com o AVAC desligado, nos sete pontos que se encontram esquematizados na figura 5.4.

No momento das medições, os pontos 6, 9, 11, 12 e 14 que se encontram junto a *régie* (sala de controlo do som, luz e projeção cinematográfica), apresentaram valores superiores aqueles que se obtiveram nos restantes pontos.



Figura 5.2 e 5.3- Fonte sonora (esq.) Sonómetro aplicado no tripé no Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora].

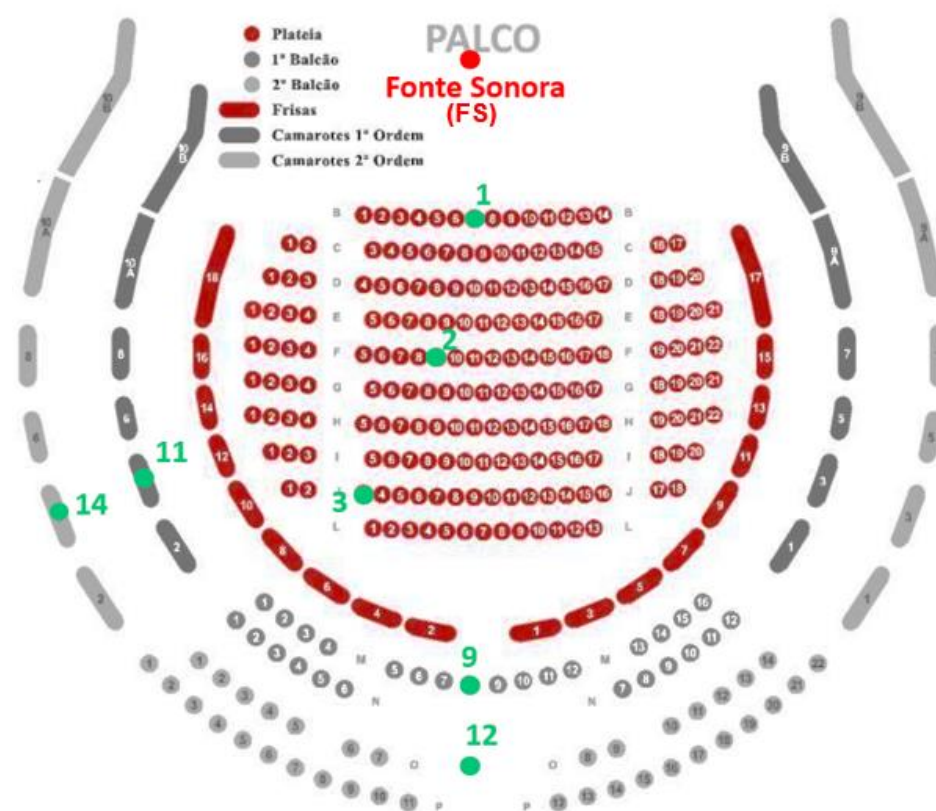


Figura 5.4 – Planta do Teatro Ribeiro Conceição dos sete pontos escolhidos para as medições do ruído de fundo: 1, 2 e 3 situados na plateia, 9 no 1º balcão, 11 no camarote 1ª ordem, 12 no 2º balcão e o 14 no camarote 2ª ordem (adaptado de [28]).

As medições foram realizadas para cada ponto com uma duração de aproximadamente de 3 a 5 minutos, visto que os únicos ruídos existentes provinham de fontes estáveis (régie) obtendo uma estabilização imediata. No quadro 5.1 encontra-se o número de ensaios efetuado para cada ponto.

Quadro 5.1 – Número de ensaios efetuados em cada ponto para a medição do ruído de fundo e a distância de cada ponto até a Fonte sonora (FS).

Ponto	Lugar	Distância FS/ponto (m) *	AVAC desligado	AVAC ligado
1	B7	4,1	1	14
2	F9	7,4	2	13
3	J3	13,3	3	12
4	I2	12,6	-	-
5	G3	10,8	-	-
6	Porta saída	14,1	-	-
7	Frisa 6	13,8	-	-
8	Frisa 12	12,1	-	-
9	1º Balcão Cadeira 8	16,5	4	11
10	1º Balcão Cadeira 2	15,3	-	-
11	1º Balcão frisa 4	14,2	5	10
12	2º Balcão Centro	17,7	6	9
13	2º Balcão cadeira 2	17,5	-	-
14	2º Balcão frisa 4	16,5	7	8

* - valores aproximados

Determinando-se os respetivos espectros sonoros em bandas de frequência de 1/3 oitava, obtiveram-se os valores do nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}) em dB, que posteriormente ponderados usando o filtro A (L_{Aeq}) em dB, resultam no nível sonoro equivalente.

5.2.2. OUTROS PARÂMETROS

Neste ensaio foi medido o Tempo de Reverberação (TR), o Tempo Central (t_s), a Claridade (C_{80}), a Definição (D_{50}) e o *Speech Transmission Index* (STI).

A fonte sonora (Brüel & Kjaer – *Echo Speech Source*) foi colocada aproximadamente no centro do palco a uma distância de 1,20 m da boca de cena, de forma a gerar um nível de pressão sonora satisfatoriamente alto capaz de superar o ruído de fundo (Fig. 5.5).

Neste ensaio é utilizado um sonómetro (Brüel & Kjaer 2260) que se aplica no tripé portátil (Brüel & Kjaer UA0049) com uma altura de aproximadamente 1,2 metros (altura aproximadamente de uma pessoa que se encontra sentada), e faz-se a leitura das medições nos quatorze posições distintas da sala (Fig. 5.6).



Figuras 5.5 e 5.6 - Fonte sonora instalada no centro do palco (esq.), e o *software* DIRAC (dir.), no Teatro Ribeiro Conceição [fotos da autora].

As medições foram efetuadas nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 que se localizavam na plateia, o ponto 6 junto a porta de entrada, os pontos 7 e 8 nas frisas, os pontos 9 e 10 no 1º balcão o 11 no camarote de 1ª ordem e por fim os pontos 12 e 13 no 2º balcão e o 14 no camarote de 2ª ordem (Fig. 5.7).

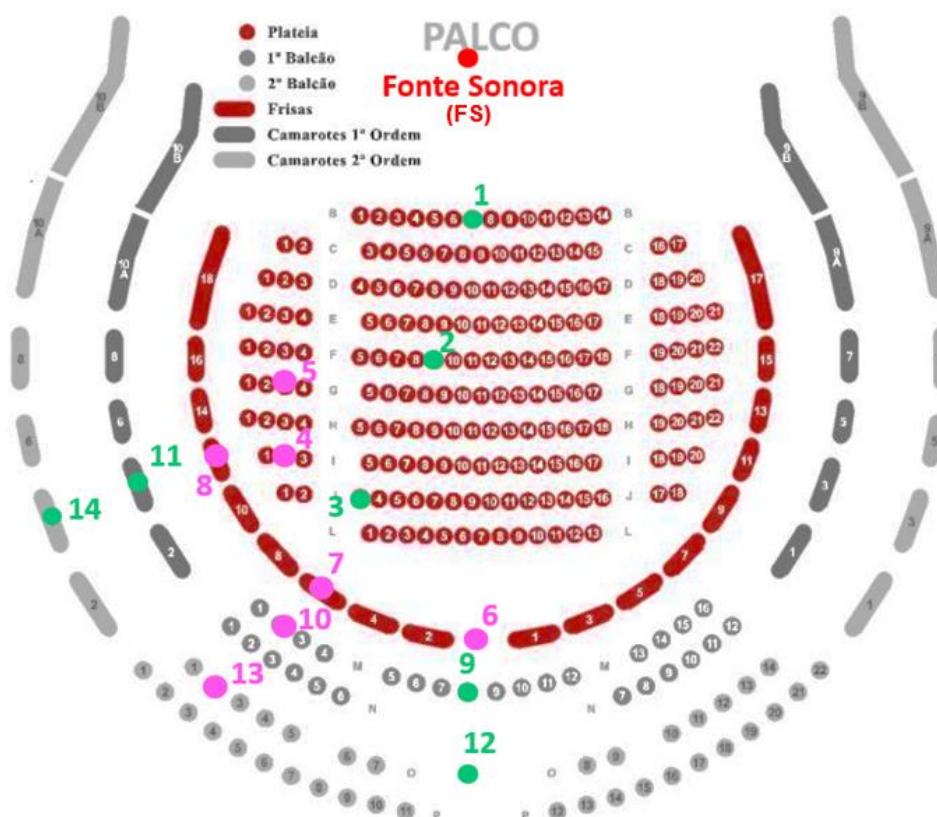


Figura 5.7 - Planta do Teatro Ribeiro Conceição com a representação da fonte sonora (FS) e dos quatorze pontos, escolhidos para a as medições do TR , ts , C_{80} , D_{50} e STI : pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 situados na plateia, 8 e 7 frisas, 9, 10 e 11 no 1º balcão do primeiro nível e 12, 13 e 14 no 2º balcão do segundo nível (adaptado de [28]).

O ruído que é emitido pela fonte sonora é filtrado nas bandas de 1/1 de oitava pelo recetor. Depois de recolher a amostra, o *software* DIRAC calcula e processa automaticamente os parâmetros pretendidos. No quadro 5.2 encontra-se o número de ensaios efetuado para cada ponto.

Quadro 5.2 - Número de ensaios efetuados em cada ponto para AVAC ligado e desligado e a distância de cada ponto até a Fonte sonora (FS).

Ponto	Lugar	Distância FS/ponto (m) *	AVAC desligado	AVAC ligado
1	B7	4,1	1 - 2	1
2	F9	7,4	3 - 4	2
3	J3	13,3	5 - 6	3
4	I2	12,6	7 - 8	4
5	G3	10,8	9 - 10	5
6	Porta saída	14,1	11 - 12	6
7	Frisa 6	13,8	13 - 14	7
8	Frisa 12	12,1	15 - 16	8 - 9
9	1º Balcão Cadeira 8	16,5	17 - 18	10
10	1º Balcão Cadeira 2	15,3	19 - 20	11
11	1º Balcão frisa 4	14,2	21 - 22	12
12	2º Balcão Centro	17,7	23 - 24	13
13	2º Balcão cadeira 2	17,5	25 - 26	14
14	2º Balcão frisa 4	16,5	27 - 28	15

* - valores medidos em desenho

6

RESULTADOS

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se os resultados das medições efetuadas no Teatro Ribeiro Conceição de acordo com o descrito no capítulo 2. Os resultados obtidos são também analisados comparativamente de acordo com os valores regulamentares nacionais (RRAE) e ainda para verificar se estes se encontram ideais para a tipologia da sala em questão.

6.2. RUÍDO DE FUNDO

6.2.1. MEDIÇÕES *IN SITU*

O ensaio de ruído de fundo é uma etapa essencial em uma análise acústica, pois avalia o nível de som residual presente em um ambiente quando não há fontes de som intencionais em operação. Este tipo de medição fornece dados importantes para determinar o conforto acústico e as condições de silêncio do espaço, além de ser um parâmetro-chave em conformidade com regulamentações e normas acústicas. Este ensaio permite posteriormente analisar se existe interferência na ocasião em que os espetadores se encontram a usufruir do espaço.

Na análise efetuada para avaliação deste parâmetro foram obtidos valores nas bandas de frequências de 1/3 de oitava (16 a 16.000 Hz) do nível de pressão sonora e o nível sonoro, em sete pontos (P1, P2, P3, P9, P10, P11, P12 e P14) identificados na sala conforme descrito no capítulo 5.2.1, com e sem sistema de ventilação ligado, respetivamente. A medição dos mesmos decorreu entre 3 a 5 minutos, visto que os únicos ruídos existentes provinham da *régie* obtendo uma estabilização imediata.

Através desta medição obteve-se para cada ponto os valores do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e o nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) conforme descritos nos quadros 6.1 e 6.2, estando também representados os valores que sofreram ponderações da curva A para bandas de frequência de 1/3 de oitava na gama do audível. Observa-se que o nível de ruído de fundo varia de acordo com a posição, isto é, o ruído de fundo tende a aumentar à medida do afastamento do palco e da aproximação da *régie*. Com o AVAC ligado verificou-se um ligeiro aumento dos valores dos níveis de pressão sonora conforme descrito no quadro 6.1 comparativamente com o quadro 6.2 onde se encontra os valores de pressão sonora com o AVAC desligado. Verificou-se que os pontos mais afetados foram, o ponto P1 com uma variação de 5,2 e ponto P9 que teve uma variação de 6,8 e o ponto que sofreu uma maior variação foi o ponto P11 de 8,9 (Quadro 6.3).

Quadro 6.1 - Valores dos níveis de pressão sonora e nível sonoro nos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) e nível pressão sonora equivalente (L_{eq}) do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado.

Freq. (Hz)	Posição													
	P1 (Plateia B7)		P2 (Plateia F9)		P3 (Plateia J3)		P9 (1ºBalcão cadeira 8)		P11(Cama rote 4 1ª ordem)		P12 (2ª Balcão centro)		P14(Cama rote 4 2ªordem)	
	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A
16	51,6	<0	51,3	<0	55,3	<0	55,7	<0	55,7	<0	55,8	<0	57,0	0,3
31	54,0	14,6	54,0	14,6	51,6	12,2	51,4	12,0	51,2	11,8	52,8	13,4	52,5	13,1
63	47,1	20,9	47,1	20,9	44,6	18,4	44,7	18,5	45,1	18,9	46,1	19,9	46,1	19,9
125	41,0	24,9	41,2	25,1	38,9	22,8	39,0	22,9	38,9	22,8	40,3	24,2	40,8	24,7
250	32,8	24,2	33,0	24,4	33,6	25,0	33,8	25,2	33,4	24,8	33,9	25,3	33,7	25,1
500	25,7	22,5	25,8	22,6	26,2	23,0	26,4	23,2	26,3	23,1	27,8	24,6	27,6	24,4
1k	20,2	20,2	20,2	20,2	21,7	21,7	22,3	22,3	23,4	23,4	22,6	22,6	22,9	22,9
2k	17,8	19,0	17,9	19,1	20,4	21,6	21,1	22,3	21,1	22,3	20,1	21,3	19,3	20,5
4k	16,2	17,2	16,4	17,4	19,5	20,5	19,8	20,8	20,4	21,4	18,1	19,1	17,2	18,2
8k	15,0	13,9	14,9	13,8	16,4	15,3	16,6	15,5	17,4	16,3	15,7	14,6	15,1	14,0
16k	14,4	7,8	14,4	7,8	13,7	7,1	13,9	7,3	14,3	7,7	14,4	7,8	14,4	7,8
L_{Aeq}		30,4		30,5		30,8		31,1		31,2		31,4		30,8
L_{eq}	57,9		57,9		59,0		59,3		59,1		59,4		59,0	

Quadro 6.2 - Valores dos níveis de pressão sonora e nível sonoro nos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) e nível pressão sonora equivalente (L_{eq}) do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado.

Freq. (Hz)	Posição													
	P1 (Plateia B7)		P2 (Plateia F9)		P3 (Plateia J3)		P9 (1ºBalcão cadeira 8)		P11(Cama rote 4 1ª ordem)		P12 (2ª Balcão centro)		P14(Cama rote 4 2ªordem)	
	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A
16	50,8	<0	51,4	<0	53,4	<0	50,0	<0	48,5	<0	57,0	0,3	57,5	0,8
31,5	41,3	1,9	41,1	1,7	42,5	3,1	45,4	6,0	40,2	0,8	47,2	7,8	47,3	7,9
63	35,2	9,0	34,7	8,5	35,0	8,8	35,4	9,2	35,9	9,7	36,6	10,4	36,7	10,5
125	28,4	12,3	28,7	12,6	27,4	11,3	31,6	15,5	30,2	14,1	32,1	16,0	32,4	16,3
250	25,1	16,5	25,5	16,9	23,3	14,7	26,8	18,2	24,2	15,6	23,1	14,5	23,1	14,5
500	17,1	13,9	17,4	14,2	17,9	14,7	19,0	15,8	17,5	14,3	18,3	15,1	17,8	14,6
1k	15,3	15,3	15,6	15,6	17,3	17,3	17,3	17,3	15,9	15,9	18,1	18,1	18,0	18,0
2k	15,0	16,2	15,1	16,3	15,2	16,4	18,8	20,0	18,1	19,3	15,7	16,9	16,0	17,2
4k	15,8	16,8	15,8	16,8	15,6	16,6	17,8	18,8	18,4	19,4	15,2	16,2	15,4	16,4
8k	14,7	13,6	14,8	13,7	15,0	13,9	16,1	15,0	16,1	15,0	14,1	13,0	14,2	13,1
16k	14,6	8,0	14,6	8,0	14,5	7,9	14,4	7,8	14,3	7,7	14,3	7,7	14,3	7,7
L_{Aeq}		23,8		24,0		24,1		26,3		25,5		24,5		24,6
L_{eq}	52,7		53,2		55,1		52,5		50,2		60,0		60,6	

Quadro 6.3 - Variação dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) com o AVAC ligado e desligado do Teatro Ribeiro Conceição.

Posição	P1	P2	P3	P9	P11	P12	P14
Leq (dB) com AVAC Ligado	57,9	57,9	59,0	59,3	59,1	59,4	59,0
Leq (dB) sem AVAC Ligado	52,7	53,2	55,1	52,5	50,2	60,0	60,6
Δ Ruído de Fundo	+5,2	+4,7	+3,9	+6,8	+8,9	≈ 0	≈ 0

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos procedeu-se a uma análise gráfica (Figs. 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4) dos valores obtidos nos quadros 6.1 e 6.2 para cada banda de frequência.

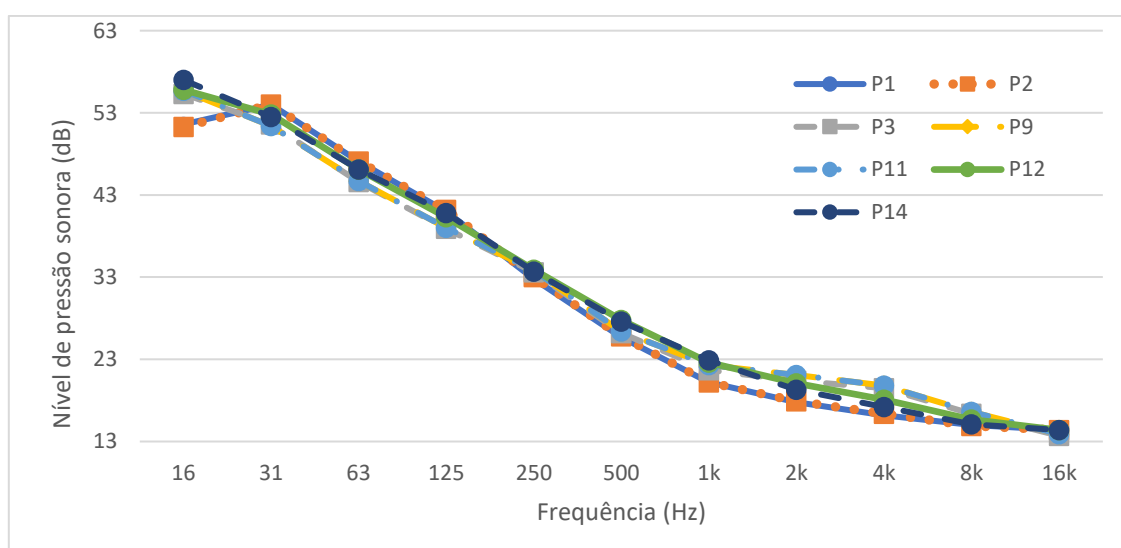


Figura 6.1 - Valores de níveis de pressão sonora dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado.

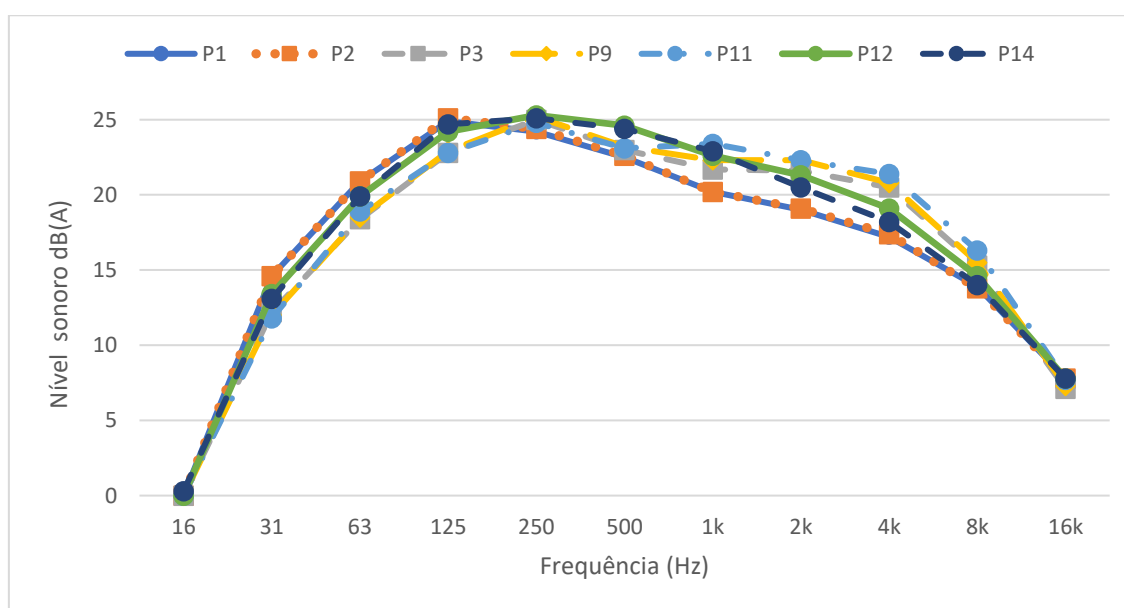


Figura 6.2 - Valores de níveis sonoros dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) com a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição com AVAC ligado.

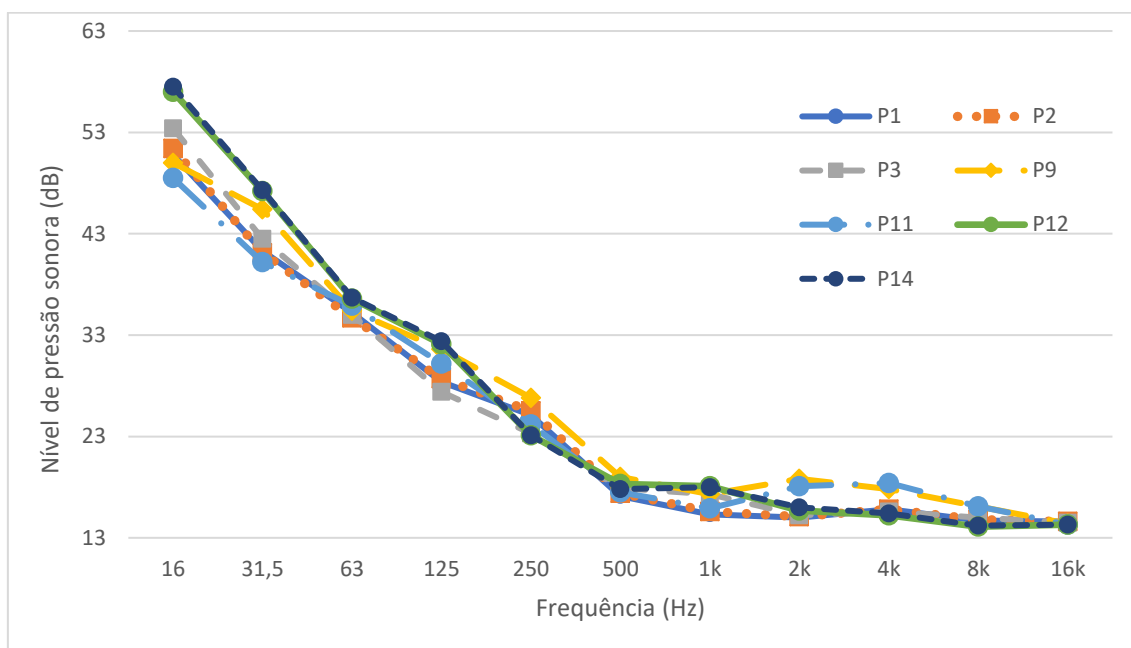


Figura 6.3 - Valores de níveis de pressão sonora dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado.

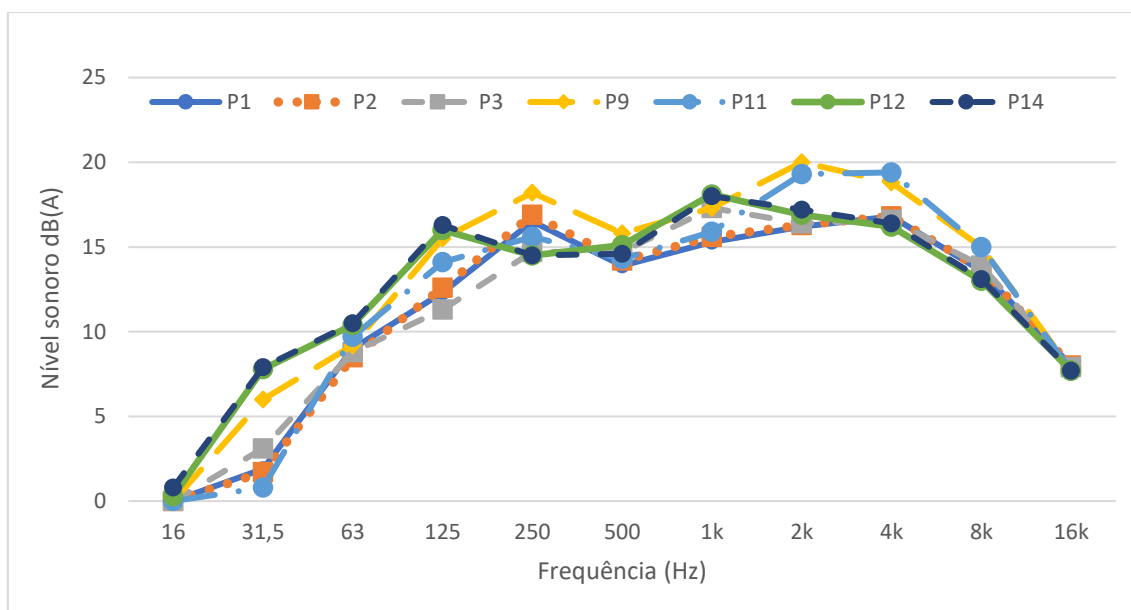


Figura 6.4 - Valores de níveis sonoros dos pontos (P1, P2, P3, P9, P11, P12 e P14) do ruído de fundo (dB) com a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição sem AVAC ligado.

Numa análise aos resultados obtidos nas figuras 6.1 e 6.3 com o funcionamento do sistema de ventilação ligado e desligado, observa-se um aumento do nível de pressão sonora nas baixas frequências, com os valores a rondar entre os 50,8 e 57,5 dB, e uma diminuição nas altas frequências que ronda entre os 13,7 e 14,6 dB. Verifica-se que os valores com o sistema de ventilação ligado e independentemente do ponto no qual se procedeu o ensaio, permanecem mais uniformes e com pouca oscilação, mas quando o sistema de ventilação está desligado estes diferenciam-se significativamente obtendo mais oscilações.

Ao aplicar a curva A (Fig. 6.2 e 6.4), ocorre a óbvia diminuição nos valores obtidos nas baixas frequências, visto que o objetivo da curva A é ajustar esses valores de forma a se aproximar da sensibilidade do ouvido humano como anteriormente observado no capítulo 2.2.2.2. É de notar que para as frequências entre 125 e 1.000 Hz para o AVAC ligado se encontram os maiores valores, o que não ocorre com o AVAC desligado onde os maiores valores se encontram entre as frequências 1.000 e 4.000 Hz. Com o AVAC ligado consegue-se abranger uma parte da faixa de frequências médias, no qual o ouvinte percebe o ruído com maior sensibilidade/intensidade, mas no caso do AVAC desligado os valores mais intensos encontram-se entre 2.000 e 4.000 Hz, o que é favorável, visto que resulta numa menor perturbação na faixa de frequência quando do “*singing formant*” (em torno de 2.500 a 3.000 Hz) [19]. É deveras importante para cantores de ópera que não exista perturbações nessa gama de frequência (capítulo 3.2.2).

Procedeu-se ao cálculo da média logarítmica e do desvio padrão para cada frequência nos seus respetivos pontos (Quadro 6.4), e elaborou-se as comparações gráficas (Fig. 6.5 e 6.6) dos valores obtidos no quadro 6.4, de forma a se obter uma análise visual do comportamento dos valores com a frequência e a diferença entre os resultados na ponderação com a curva A para cada ponto.

Quadro 6.4 - Valores da média logarítmica do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e o nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) para bandas de frequência de 1/3 de oitava, do Teatro Ribeiro Conceição.

Freq. (Hz)	Com AVAC ligado				Sem AVAC ligado			
	L (dB) Média Logarítmica (P1,P2,P3,P9, P11,P12 e P14)		Desvio Padrão (P1,P2,P3,P9, P11,P12 e P14) (dB)		L (dB) Média Logarítmica (P1,P2,P3,P9, P11,P12 e P14)		Desvio Padrão (P1,P2,P3,P9, P11,P12 e P14) (dB)	
	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A	sem filtro A	com filtro A
16	55,1	0,0	2,1	0,0	53,9	0,0	3,2	0,0
32	52,6	13,2	1,1	1,1	44,5	5,1	2,8	2,8
63	45,9	19,7	1,0	1,0	35,7	9,5	0,7	0,7
125	40,1	24,0	1,0	1,0	30,5	14,4	1,8	1,8
250	33,5	24,9	0,4	0,4	24,7	16,1	1,3	1,3
500	26,6	23,4	0,8	0,8	17,9	14,7	0,6	0,6
1k	22,1	22,1	1,2	1,2	16,9	16,9	1,1	1,1
2k	19,9	21,1	1,3	1,3	16,5	17,7	1,4	1,4
4k	18,5	19,5	1,6	1,6	16,5	17,5	1,2	1,2
8k	16,0	14,9	0,9	0,9	15,1	14,0	0,8	0,8
16k	14,2	7,6	0,3	0,3	14,4	7,8	0,1	0,1
L_{Aeq}		30,9		0,3		24,8		0,8
L_{eq}	58,8		0,6		56,5		3,7	

Nas figuras 6.5 e 6.6, observa-se que temos algumas variações significativas quando comparativamente ao funcionamento do AVAC, mas que na sua generalidade este não interfere muito no ruído de fundo, sendo o fator mais significativo o posicionamento dos pontos circunjacentes à *régie*.

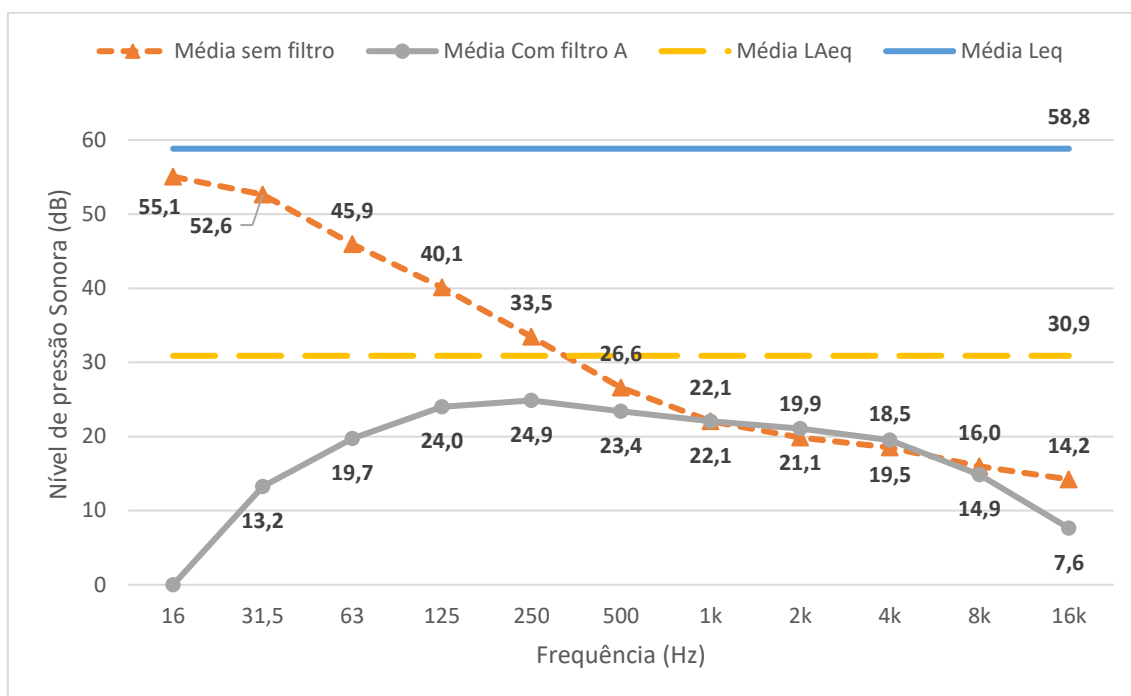


Figura 6.5 – Valores médios dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (dB), de todos os pontos com e sem a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava com AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição.

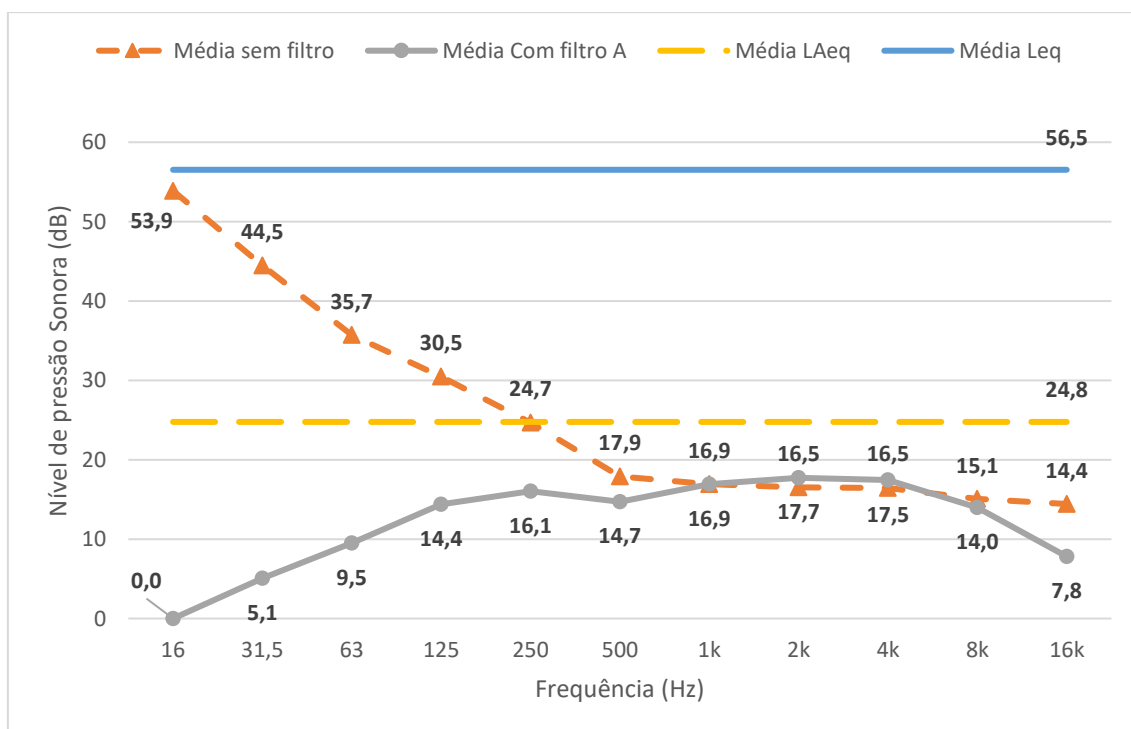


Figura 6.6 - Valores médios dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (dB), de todos os pontos com e sem a curva A, em bandas de frequência de 1/3 de oitava sem AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição.

Para uma análise mais abrangente calculou-se a diferença dos valores de pressão sonora global para o AVAC ligado e desligado (Quadro 6.5) e a respetiva representação gráfica (Fig. 6.7) de acordo com a frequência, onde se pode comparar

os valores obtidos da variação que existe no nível de pressão sonora do ruído de fundo quando o fator integrante é o sistema de ventilação.

Quadro 6.5 - Variação dos níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) com o AVAC ligado e desligado de acordo com a sua frequência.

Frequência (Hz)	Média Logarítmica L_{eq} (dB) com AVAC Ligado	Média Logarítmica L_{eq} (dB) sem AVAC Ligado	Variação de Ruído de Fundo (ΔRF) (dB)
16	55,1	53,9	1,2
32	52,6	44,5	8,2
63	45,9	35,7	10,2
125	40,1	30,5	9,6
250	33,5	24,7	8,8
500	26,6	17,9	8,7
1k	22,1	16,9	5,1
2k	19,9	16,5	3,3
4k	18,5	16,5	2,1
8k	16,0	15,1	0,9
16k	14,2	14,4	0,0
L_{eq}	58,8	56,5	2,3
L_{Aeq}	30,9	24,8	6,1

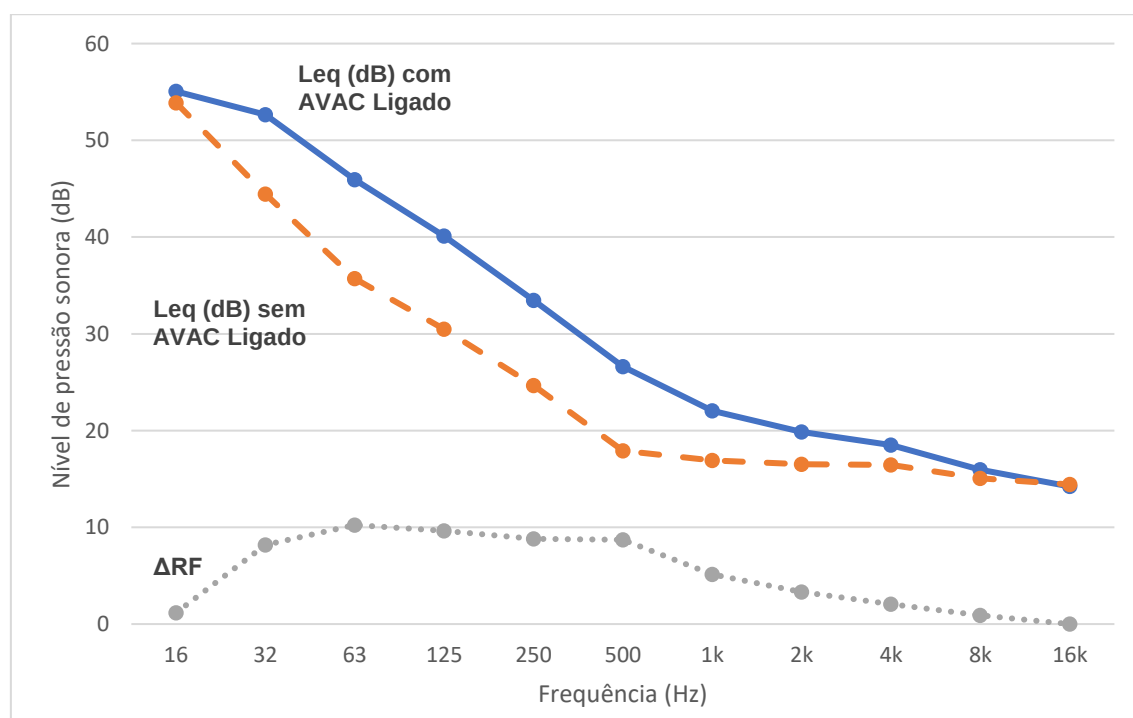


Figura 6.7 - Comparação entre os valores médios do nível de pressão sonora de ruído de fundo (RF), em bandas de frequência de 1/3 de oitava com e sem o AVAC ligado e a respetiva variação dos níveis de pressão, do Teatro Ribeiro Conceição.

O Teatro Ribeiro Conceição apresenta um controle de ruído de fundo satisfatório, mesmo com o sistema de climatização em operação. Para otimizar a experiência acústica, especialmente em eventos que requerem maior silêncio, recomenda-se a utilização do sistema de AVAC em configurações silenciosas ou a sua desativação durante apresentações mais sensíveis, como recitais ou gravações.

6.2.2. CURVAS DE INCOMODIDADE NC E NR

Tem como principal objetivo avaliar a incomodidade de um local interior face ao ruído de fundo provocado por equipamentos que influenciam diretamente no usufruto de um espetáculo. Estas curvas são usadas por medição dos níveis de pressão sonora nos locais mais ruidosos de uma sala, preferencialmente à altura dos ouvidos do ouvinte. A sua utilização caracteriza o ruído de fundo em termos da sua natureza [1].

A curva de incomodidade NC (*Noise Criterion*) permite uma classificação do local com base nas medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo entre as bandas de frequência de 63 a 8.000 Hz. A curva de incomodidade NR (*Noise Rating*) abrange as frequências entre as bandas de 31 a 8.000 Hz, sendo atualmente mais utilizada na Europa.

No quadro 6.6 encontram-se os valores de NC e NR resultantes do funcionamento do o AVAC. Conclui-se que, aquando a não utilização do AVAC obteve-se um valor de NC 19, e com o AVAC ligado obteve-se NC 22, o que, tratando-se de um teatro no qual a oratória pode ser essencial considera-se um valor adequado para esse fim. Com estes valores conclui-se que o funcionamento do AVAC é satisfatório, dado que se encontra abaixo dos valores máximos recomendados (Quadro 6.6) [1].

De igual forma, com o AVAC desligado obteve-se o valor de NR 22, e aquando este se encontra ligado obteve-se um NR 24, concluindo-se assim que ambos os valores comprem os valores máximos recomendados [1].

Quadro 6.6 - Valores calculados de NC e NR de acordo com o funcionamento do AVAC e a sua variação, comparativamente com os valores máximos recomendados [1].

	NC	NR	Valores Máximos recomendados (Teatro e música)
Com AVAC	22	24	22 a 30
Sem AVAC	19	22	20 a 30
Variação (Δ com AVAC)	+3	+2	

6.2.3. LEGISLAÇÃO NACIONAL (RRAE)

Como anteriormente visto no capítulo 3.3 (expressão 3.5), no interior dos recintos de espetáculos, exceto nas salas de cinema, o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), condicionado com o funcionamento do AVAC, deve estar de acordo com o valor máximo de 30 dB(A) estimado pelo RRAE. Contudo o RRAE ainda inclui uma

incerteza de 3 dB(A) a diminuir ao valor que se obteve. No quadro 6.7 encontra-se os valores do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) obtidos com e sem o AVAC ligado, e a avaliação dos mesmos de encontro com as exigências regulamentares do RRAE. Conclui-se que em ambos os casos (com e sem AVAC) os valores obtidos nas medições cumprem os limites regulamentares exigidos.

Quadro 6.7 - Avaliação regulamentar (RRAE) do nível sonoro contínuo equivalente no Teatro Ribeiro Conceição.

Uso	Medição	L_{Aeq} (dB)	Fator de incerteza dB(A)	L_{Aeq} com fator de incerteza (I) (dB)	RRAE L_{Aeq} (dB)	verificação
Recintos de espetáculos (exceto cinema)	Com AVAC	31	3	28	≤ 30	ok
	Sem AVAC	25	3	22	≤ 30	ok

6.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

6.3.1. SALA VAZIA

A medição dos valores do Tempo de reverberação tem como objetivo fundamental analisar o tempo que um som permanece no ambiente, e se esse espaço é adequado para o tipo de utilização, descrito no capítulo 2.4. Na medição deste parâmetro foram usados quatorze pontos como descritos no capítulo 5.2.2. Os valores do Tempo de reverberação (TR_{30}) para as bandas de 1/1 oitava encontram-se no quadro 6.8 (com AVAC ligado) e no quadro 6.9 (sem o AVAC ligado). Determinou-se as médias para cada frequência e o respetivo desvio padrão. Foi ainda calculado, para cada ponto, o Tempo de reverberação médio para as frequências de 500 e 1000 Hz.

No quadro 6.8 (com AVAC ligado) o ponto para o qual se obteve o Tempo de reverberação médio das frequências [500 e 1.000 Hz] mais elevado é no ponto P12 que se encontra no 2º balcão centro, de 1,19 segundos, e o menor valor obteve-se no ponto P3 (na plateia) de 0,93 segundos. De acordo com o quadro 6.9 (sem AVAC ligado) o ponto no qual o Tempo de reverberação médio nas frequências médias, foi o maior valor é o ponto P10, (1º balcão cadeira 2) com o valor de 1,11 segundos e o menor valor no ponto P8 localizado na frisa 12, com o valor de 0,98 segundos.

É de salientar que os valores do Tempo de reverberação nos pontos obtidos não revelam uma variação considerável (exceto nos 125 Hz), como se confirma pelos valores obtidos do desvio padrão entre 0,04 e 0,10 segundos. Isto indica uma situação na qual, independentemente da posição em que o ouvinte se situa, irá

receber o som de maneira idêntica (exceto nos 125 Hz), facto bastante relevante e positivo e, do ponto de vista acústico, o desejável que ocorra em todos os lugares de uma sala.

Nas figuras 6.8, 6.9 e 6.10 encontram-se representados os Tempos de reverberação para os quatorze pontos medidos em bandas de frequência de 1/3 oitava, onde se tem uma percepção mais clara das variações ao longo de todas as frequências (100 a 5.000 Hz). Também se encontra representado nas figuras 6.11 e 6.12 encontram-se representados os valores do Tempos de reverberação para os quatorze pontos medidos em bandas de frequência de 1/1 de oitava (125 a 4.000 Hz).

Quadro 6.8 – Valores do Tempo de reverberação (T_{30}) em bandas de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz para os pontos P1 a P14 obtidos no Teatro Ribeiro Conceição, juntamente com a média e desvio padrão com AVAC ligado (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Tempo de Reverberação (T ₃₀) (s)							TR [500,1k Hz]
Pontos	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	
P1	1,19	1,11	1,05	0,94	0,98	0,87	0,99
P2	1,22	1,19	0,94	0,96	1,00	0,87	0,95
P3	1,10(-)	1,00(-)	0,91(-)	0,95	0,90(-)	0,84	0,93(-)
P4	1,25	1,17	1,06	0,99	0,94	0,91	1,03
P5	1,30	1,28	1,03	0,94(-)	0,96	0,81(-)	0,98
P6	1,34	1,20	1,14	0,94(-)	0,92	0,86	1,04
P7	1,28	1,27	1,13	1,14	0,96	0,82	1,13
P8	1,39	1,31(+)	1,11	1,01	0,98	0,87	1,06
P9	1,37	1,25	1,08	1,01	0,93	0,90	1,05
P10	1,29	1,13	1,19	1,10	1,02	0,94	1,15
P11	1,37	1,23	1,11	1,03	1,02	0,89	1,07
P12	1,34	1,27	1,24(+)	1,15(+)	0,96	0,91	1,19(+)
P13	1,52(+)	1,27	1,17	1,05	1,04(+)	0,97(+)	1,11
P14	1,25	1,24	1,17	1,14	1,03	0,89	1,15
Média	1,30	1,21	1,09	1,02	0,97	0,88	1,06
Δ,TR (s)	0,42	0,31	0,33	0,21	0,14	0,17	0,26
Desvio Padrão	0,10	0,08	0,09	0,08	0,04	0,04	0,08

No quadro 6.8, os valores do Tempo de reverberação obtidos nos pontos P12 e P13 são mais altos comparativamente com os valores nos pontos P1 a P6, visto que uma das causas possíveis, é a sua localização em uma posição mais alta, mais próxima ao teto e às superfícies laterais. Essas áreas geralmente possuem materiais mais refletivos e contribuem para um aumento da reverberação. Em contrapartida, os pontos que se encontram na plateia, encontram-se mais próximo ao chão e em áreas abertas, estando menos sujeitos a reflexões múltiplas concentradas, mas por sua vez sujeitos ao som direto podendo este “mascarar-se” parcialmente à reverberação recebida.

Quadro 6.9 - Valores do Tempo de reverberação (T_{30}) em bandas de 1/1 de oitava de 125 a 4.000 Hz para os pontos P1 a P14 obtidos no teatro Ribeira Conceição, juntamente com a média e desvio padrão sem o AVAC ligado (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Tempo de Reverberação (T ₃₀) (s)							TR [500,1k Hz]
Pontos	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	
P1	1,12	1,11	1,02	0,96(-)	0,95	0,87	0,99
P2	1,24	1,12	1,03	1,02	0,92	0,83	1,03
P3	0,88	1,18	1,13	1,01	0,90(-)	0,83	1,07
P4	1,42	1,16	1,12	0,99	0,96	0,82	1,05
P5	1,18	1,08	1,03	0,95	1,01	0,84	0,99
P6	1,10	1,15	1,03	1,05	0,92	0,92	1,04
P7	0,98	1,15	0,99(-)	1,06	0,96	0,90	1,02
P8	1,21	1,08	0,99(-)	0,98	0,95	0,81(-)	0,98(-)
P9	1,15	1,06	1,04	1,11(+)	0,96	0,85	1,07
P10	0,86(-)	1,01(-)	1,14	1,07	0,95	0,88	1,11(+)
P11	1,26	1,20(+)	1,02	1,08	0,99	0,90	1,05
P12	1,04	1,11	1,17(+)	1,03	1,02	0,89	1,10
P13	1,69(+)	1,06	1,09	1,03	1,02	0,97(+)	1,06
P14	0,98	1,10	1,13	1,03	1,04(+)	0,84	1,08
Média	1,15	1,11	1,07	1,03	0,97	0,87	1,05
Δ, TR (s)	0,83	0,19	0,18	0,15	0,14	0,16	0,12
Desvio Padrão	0,21	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05

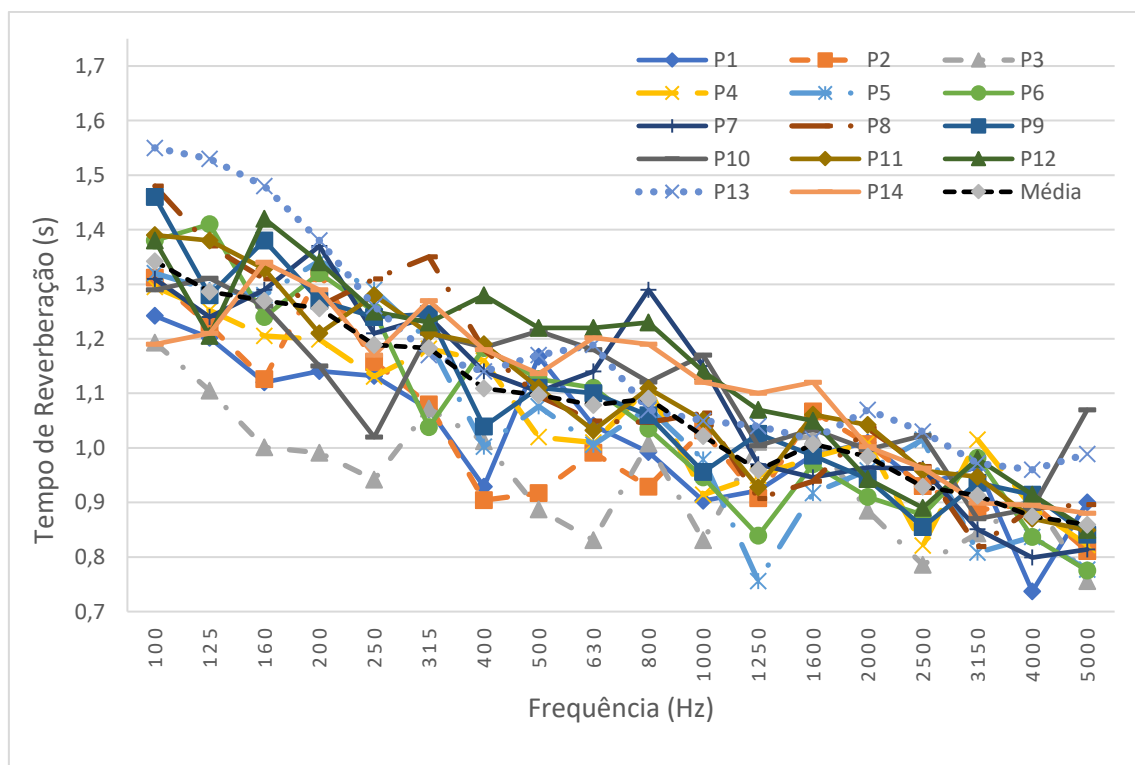


Figura 6.8 – Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava com o AVAC ligado, no Teatro Ribeira Conceição.

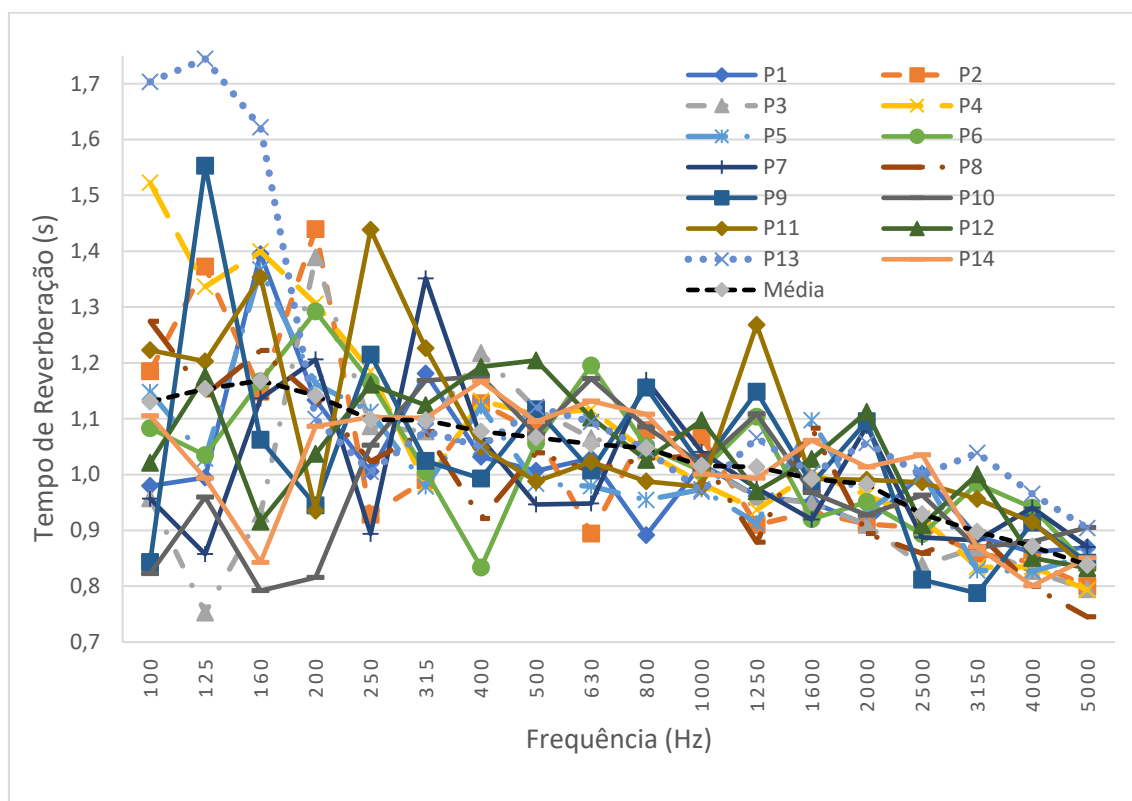


Figura 6.9 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição.

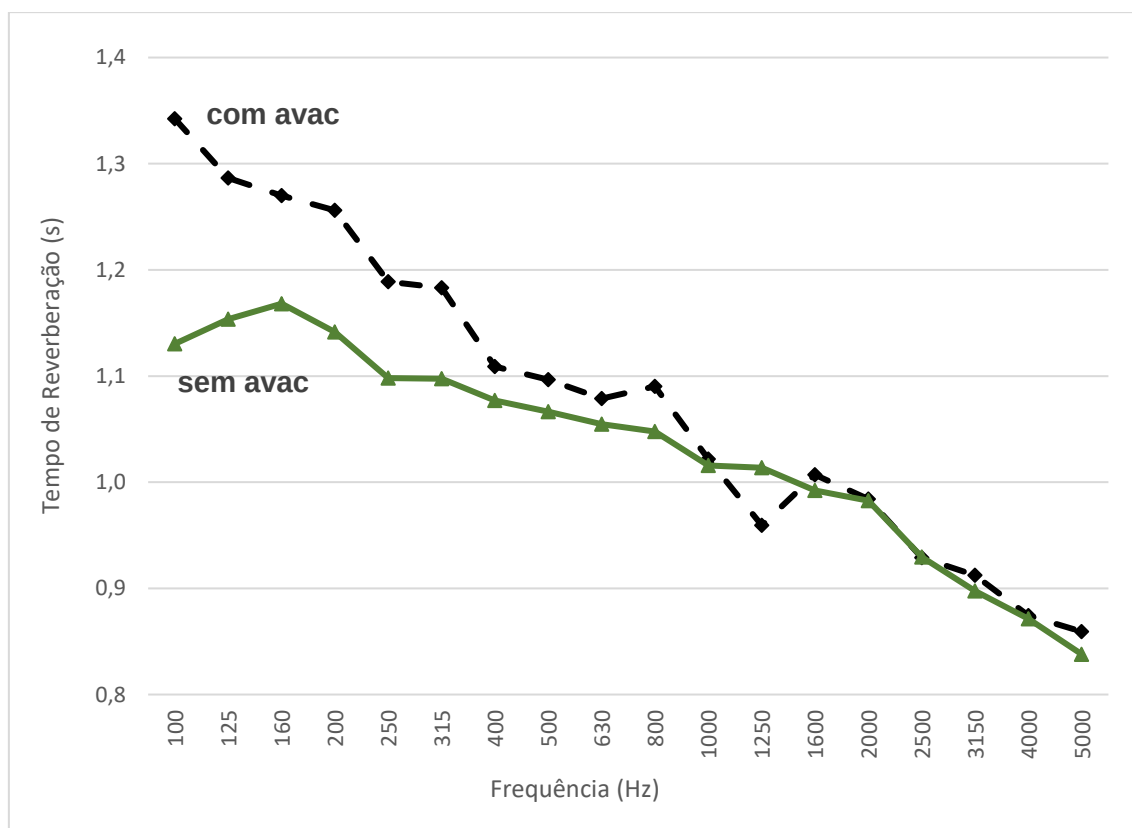


Figura 6.10 - Média dos valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/3 de oitava com e sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição.

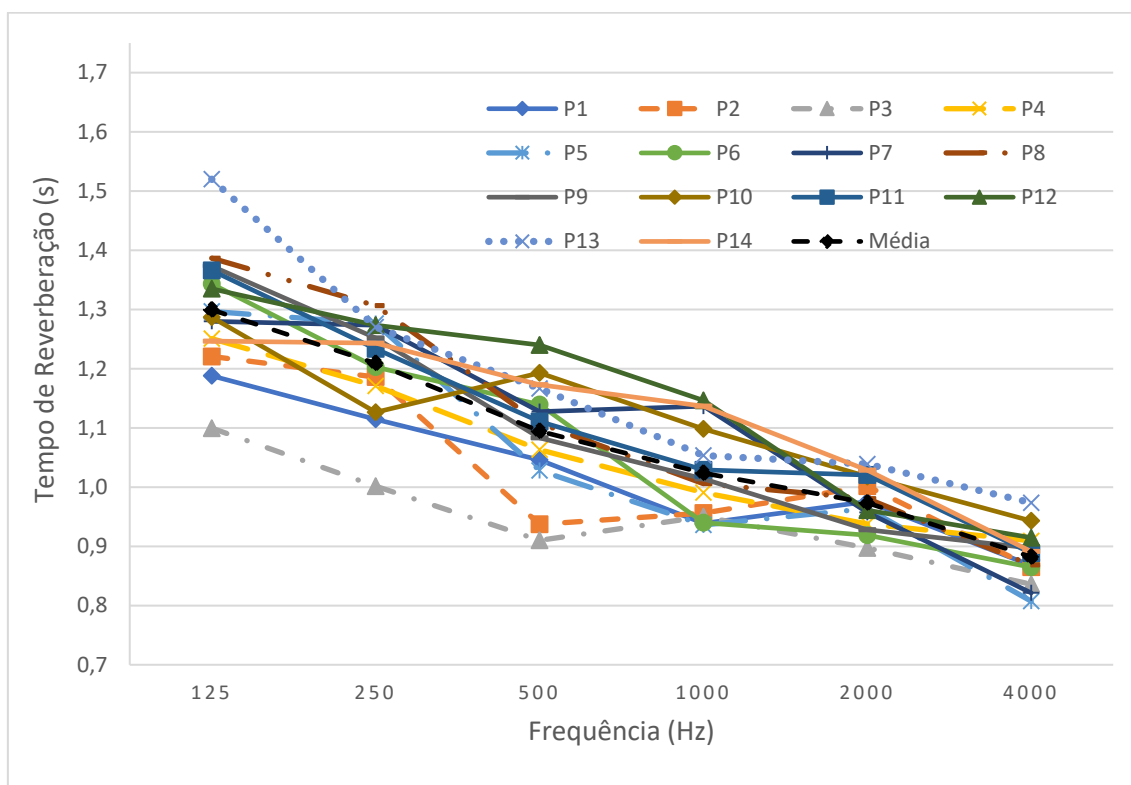


Figura 6.11 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava, com o AVAC ligado, no Teatro Ribeiro Conceição.

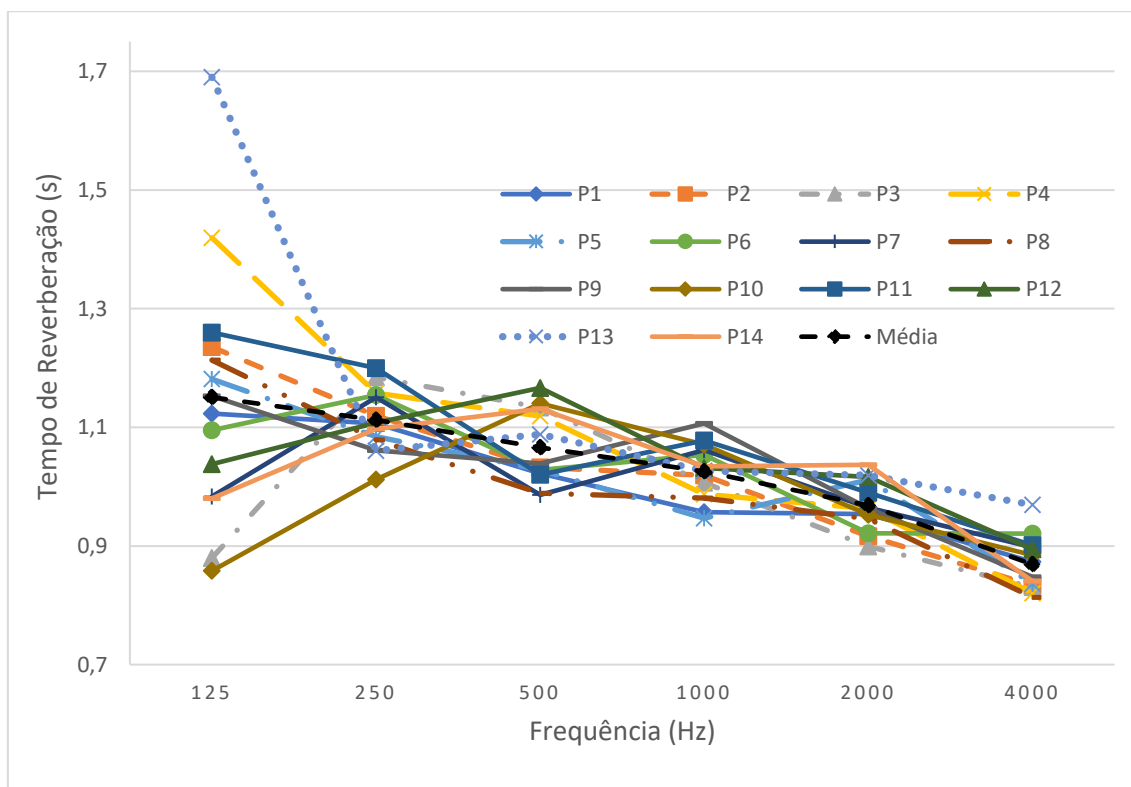


Figura 6.12 - Valores do Tempo de reverberação para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem o AVAC ligado, no Teatro Ribeiro Conceição.

A partir da análise dos gráficos em bandas de 1/3 de oitava (Figs. 6.8 e 6.9) do Tempo de reverberação, pode-se verificar uma maior dispersão dos valores nas bandas de frequência de 100 até 2.000 Hz, e nas restantes observa-se um “afunilamento” dos valores, não havendo grande variação. Na faixa de frequência de 2.000 a 4.000 Hz, obteve-se um TR médio mais baixo, entre 0,97 e 0,88 (com AVAC ligado) e 0,97 a 0,87 (sem AVAC ligado), o que condiciona negativamente para os cantores de ópera, que carecem de um aumento de Tempo de reverberação nessas faixas de frequência para que se possam destacar em relação aos instrumentos musicais.

Mesmo tendo-se efetuado a medição do Tempo de reverberação com e sem o AVAC ligado este não condiciona ou altera de forma relevante o Tempo de reverberação. A principal influência do AVAC está associada ao ruído de fundo, enquanto o Tempo de reverberação reflete exclusivamente a resposta acústica do espaço às características arquitetónicas e materiais presentes.

Nas médias frequências (500 a 1.000 Hz) obteve-se um Tempo de reverberação médio, entre 1,09 a 1,02 (com AVAC ligado) e 1,07 a 1,03 (sem o AVAC ligado), o que confirma que o AVAC não condiciona o Tempo de reverberação. Deve-se ter em conta que estes valores de Tempo de reverberação foram obtidos com a sala vazia, e que, com a sala ocupada, esses valores seriam talvez um pouco menores.

Os valores do Tempo de reverberação obtidos indicam que o espaço é mais adequado para espetáculos que requerem maior clareza e inteligibilidade, como teatro e óperas contemporâneas. Contudo, para música sinfónica ou estilos que dependem de maior ressonância e espacialidade sonora, esses valores podem ser limitantes, sugerindo a necessidade de ajustes acústicos para melhorar a adequação ao género. Valores típicos exigidos para óperas no estilo de Wagner e música barroca ou clássica encontram-se entre o intervalo de 1,4 a 1,6 segundos, enquanto que para óperas modernas ou mais focadas na inteligibilidade da palavra Tempos de reverberação ligeiramente menores podem ser aceitáveis.

6.3.2. PREVISÃO PARA SALA OCUPADA

Uma das exigências do regulamento nacional na medição do Tempo de reverberação é que a sala se encontre desocupada. Para este critério é primordial compreender que haver pessoas na sala condiciona a absorção sonora. O aumento da absorção sonora afeta o Tempo de reverberação, diminuindo este. Na realidade é inverosímil que uma sala se encontre vazia durante um evento, sendo necessário pressupor-se um Tempo de reverberação com a sala ocupada de forma a se obter um valor o mais real possível. Para se poder efetuar esse procedimento, recorreu-se a estimativa de valores de absorção sonora (A) para as cadeiras ocupadas ou vazias, de acordo com o proposto por Beranek [15], de forma a se obter os valores de ΔA , que representam a absorção adicional na presença de espetadores. A previsão efetuou-se para a sala totalmente ocupada (100% de ocupação) e para a sala com metade da sua ocupação (50% de ocupação).

De acordo com os cálculos efetuados conjecturou-se que o cálculo da área de absorção (S) é a soma da área dos assentos (S_a), incluindo o fosso (zona aberta) e do proscénio. Considerou-se uma faixa de absorção de 0,5 metros em todo o

perímetro das cadeiras, de forma a proporcionar o efeito das laterais dos espetadores, abrangendo unicamente a zona da plateia, uma vez que as frisas, balcões e camarotes não necessitam de contabilizar a faixa extra de absorção, visto que, já foram calculados na sua área real como se encontra representado no quadro 6.10.

Quadro 6.10 - Parâmetros utilizados para a previsão do Tempo de reverberação com a sala 50% e 100% ocupada do Teatro Ribeiro Conceição [15].

Frequência (Hz)		125	250	500	1k	2k	4k
α (cadeira ocupada)		0,68	0,75	0,82	0,85	0,86	0,86
α (cadeira vazia)		0,56	0,64	0,70	0,72	0,68	0,62
$\Delta\alpha$ (ocupado)		0,12	0,11	0,12	0,13	0,18	0,24
$\Delta A = \Delta\alpha \cdot S$ (50% ocupado)		12,3	11,3	12,3	13,4	18,5	24,7
$\Delta A = \Delta\alpha \cdot S$ (100% ocupado)		24,7	22,6	24,7	26,7	37,0	49,3
Área (m²)	Ocupação de 100%	Ocupação de 50%					
Sa (assentos)	189	95					
Sp (proscénio)	16,6	8					
S (total)	206	103					

Sabendo anteriormente que o volume da sala foi previamente estimado no capítulo 4.1 de 4184 m³, e utilizando a equação de Sabine (eq. 2.13), determina-se os valores aproximados para o Tempo de reverberação para as diferentes percentagens de ocupação como se encontra representado no quadro 6.11 (sem o AVAC ligado).

Quadro 6.11 - Cálculo do Tempo de reverberação estimado para a sala com 50% e 100% de ocupação nas bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz sem o AVAC ligado, do Teatro Ribeiro Conceição.

	0% Ocupação			50% Ocupação			100% Ocupação		
Frequência (Hz) em bandas de 1/1 oitava	TR (s)	A sala (m²)	TR [500, 1k Hz] (s)	TR (s)	A sala (m²)	TR [500, 1k Hz] (s)	TR (s)	A sala (m²)	TR [500, 1k Hz] (s)
125	1,15	582	1,05	1,13	594	1,03	1,10	606	1,01
250	1,11	602		1,09	613		1,07	624	
500	1,07	628		1,05	640		1,03	653	
1000	1,03	653		1,01	666		0,99	679	
2000	0,97	692		0,94	710		0,92	729	
4000	0,87	770		0,84	795		0,82	820	
Volume (m³)									
4 184									

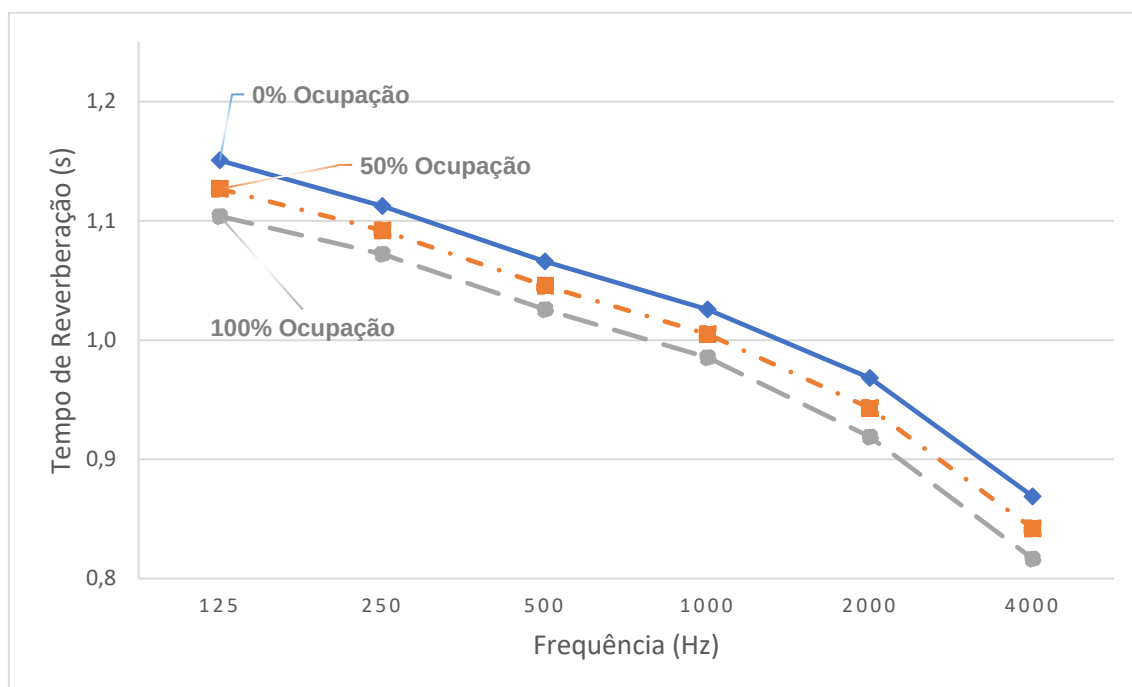


Figura 6.13 – Valores do Tempo de reverberação com a percentagem de ocupação da sala de (0%), (50%) e com (100%) em bandas de 1/1 oitava sem AVAC ligado.

De acordo com os valores obtidos no quadro 6.11 verifica-se que o Tempo de reverberação estimado para a percentagem de ocupação de 50% e 100% varia de 0,02 a 0,04 segundos sem o funcionamento do AVAC. Encontram-se representado na figura 6.13 os valores do Tempo de reverberação com a respetiva curva de ocupação em bandas de 1/1 oitava. Essa diferença não é considerável, o que nos pode dizer que a sala já possui uma grande absorção devido às cadeiras serem almofadadas e de toda a envolvente que se encontra detalhada no capítulo 4.2. Com esta análise é de se prever que o valor do Tempo de reverberação com a sala ocupada não se encontre muito distante daquele que se obteve com a sala vazia.

É de grande importância evidenciar que este estudo foi efetuado com a utilização da fórmula de Sabine unicamente para simplificar os cálculos, uma vez que esta análise necessita de mais desenvolvimento. Este estudo simplesmente permitiu obter-se uma conclusão introdutória para uma melhor abordagem.

6.3.3. OBSERVAÇÃO COMPARATIVA CONSIDERANDO VALORES IDEAIS

Como anteriormente indicado no capítulo 2.4 (Quadro 2.2), existem valores considerados ideais para cada tipo de função. Como o Teatro Ribeiro Conceição é um teatro multiusos, no quadro 6.12 encontra-se representado o Tempo de reverberação recomendado para cada tipo de uso.

No quadro 6.12 verifica-se que o Tempo de reverberação 1,01 segundos se encontra adequado para cinema e música popular, e tolerável para teatro, palavra e ópera (não wagneriana). Estando completamente desadequado para ópera (wagneriana), música sinfónica barroca, clássica, romântica, moderna, órgão e coros gregorianos. O Teatro Ribeiro Conceição encontra-se num intervalo no qual não é adequado para todas as funções, mas na sua generalização pode-se considerar bastante tolerável em certos critérios de utilização.

Quadro 6.12 - Verificação dos valores recomendados para o parâmetro Tempo de reverberação médio de acordo com a função do Teatro Ribeiro Conceição [1].

Função	TR [500, 1k Hz] ideal (s) [1]	TR [500, 1.000 Hz] (s)		Avaliação
		Com AVAC	Sem AVAC	
Auditório (palavra)	0,7 a 0,8	1,02	1,01	Tolerável
Teatro	0,7 a 0,9			Tolerável
Cinema	0,8 a 1,0			Adequado
Ópera (não wagneriana)	1,3 a 1,7			Tolerável
(wagneriana)	1,8 a 1,9			Desadequado
Música sinfónica Barroca	1,4 a 1,6			Desadequado
Clássica	1,6 a 1,8			Desadequado
Romântica	1,9 a 2,2			Desadequado
Moderna	1,4 a 1,9			Desadequado
Música popular	0,8 a 1,0			Adequado
Música de órgão	2,5 a 3,5			Desadequado
Coros gregorianos	3 a 4			Desadequado

6.3.4. LEGISLAÇÃO NACIONAL (RRAE)

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), propõe um valor máximo para o Tempo de reverberação médio (500, 1k Hz) em função do volume da sala (estando esta vazia) e quando a sua principal valência corresponde a atividades assentes na oratória, de acordo com a equação ($T \leq 0,32 + 0,17 \times \log(V)$). O regulamento ainda considera um fator de incerteza (I), em função do volume de acordo com as equações 3.7 da alínea b). O Teatro Ribeiro Conceição detém um volume de aproximadamente 4184 m³, o que implica uma incerteza regulamentar de 35%.

O quadro 6.13 está de encontro com a observância exigida no regulamento. O Tempo de reverberação médio obteve-se através da média aritmética dos Tempos de reverberação nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz nas bandas de 1/1 de oitava. O Tempo de reverberação médio com fator incerteza (I) obteve-se calculando-se através da diferença do Tempo de reverberação médio com os 35% o Tempo de reverberação máximo do RRAE. No cálculo do Tempo de reverberação máximo do RRAE usou-se o volume do Teatro Ribeiro Conceição de 4184 m³.

Na análise do quadro 6.13, conclui-se que o Teatro Ribeiro Conceição cumpre o limite máximo de 0,94 segundos com um Tempo de reverberação médio (com fator de incerteza) de 0,69 segundos.

Quadro 6.13 - Análise regulamentar (RRAE) do Tempo de reverberação médio sem o funcionamento do AVAC do Teatro Ribeiro Conceição.

	Frequência em bandas de 1/1 oitavas (Hz)	TR medido (s)	TR médio (s)	TR máximo RRAE (s)	Fator incerteza (I)	TR médio com fator Incerteza (I) (s)	Parecer para "oratória" (RRAE)
Sem AVAC	500	1,07	1,02	0,94	35%	0,69	O.K.
	1000	1,03					
	2000	0,97					

6.4. RÁCIO DE BAIXOS (BR)

Como visto no capítulo 2.4.3, o Rácio de baixos (BR) para o Tempo de reverberação (BR_TR) avalia o balanço tonal por comparação dos Tempos de reverberação das baixas frequências com as altas frequências. No quadro 6.14 encontra-se os valores de Rácios de baixo com e sem AVAC para os pontos P1 a P14. Os valores obtidos são superiores a 0,80, o que indica que valores de Rácio de Baixos entre 0,80 e 1,0 geralmente designam um bom equilíbrio tonal em salas de concertos e auditórios, pois os graves são percebidos de forma clara, mas não excessiva, em contrapartida valores superiores a 1,0 podem indicar que os graves são excessivamente reforçados, o que pode resultar em uma sonoridade “abafada”.

Quadro 6.14 - Valores médios do parâmetro Rácio de Baixos para os pontos P1 a P14 (com e sem AVAC), e a respetiva média, desvio padrão e variação medido no Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Rácio de Baixos (BR)		ΔBR
	Com AVAC	Sem AVAC	
P1 (Plateia B7)	1,10	1,10	0,00(-)
P2 (Plateia F9)	1,20(+)	1,20	0,00(-)
P3 (Plateia J3)	0,90	1,05	0,15
P4 (Plateia I2)	1,10	1,25(+)	0,15
P5 (Plateia G3)	0,90	1,15	0,25
P6 (Plateia/ Porta)	1,10	1,10	0,00(-)
P7 (Frisa 6)	1,00	0,95	0,05
P8 (Frisa 12)	1,05	0,85(-)	0,20
P9 (1º Balcão cadeira 8)	1,00	1,00	0,00(-)
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,90	0,85(-)	0,05
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,90	1,25	0,35(+)
P12 (2ª Balcão centro)	0,90	0,95	0,05
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,80(-)	1,05	0,25
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,80(-)	0,85(-)	0,05
Média	0,98	1,04	0,07
Desvio Padrão	0,12	0,14	0,02
ΔBR	0,40	0,40	0,00

O ponto que sofre mais efeito com o AVAC é o P11 (0,35) que se encontra localizado no camarote de 1ª ordem (perto de condutas de AVAC). Na sua generalidade o sistema de AVAC influenciou os valores de BR, devido ao facto de ruídos com forte presença de frequências graves (abaixo de cerca de 350 Hz), desde vibrações mecânicas, fluxo de ar em condutas ou grelhas que originam turbulência, contribuem para um aumento dos valores de BR no ambiente.

Nas figuras 6.14 e 6.15, encontra-se representadas as comparações dos Rácio de baixos em cada ponto com a sua respetiva média, condicionado pelo funcionamento do AVAC.

Na figura 6.16 encontra-se a comparação dos valores de Rácio de baixos com e sem o funcionamento do AVAC e a respetiva de variação entre esses valores. Nesta análise verifica-se que os pontos que se encontram junto as paredes laterais (onde se encontram as condutas do AVAC), obtiveram valores mais elevados.

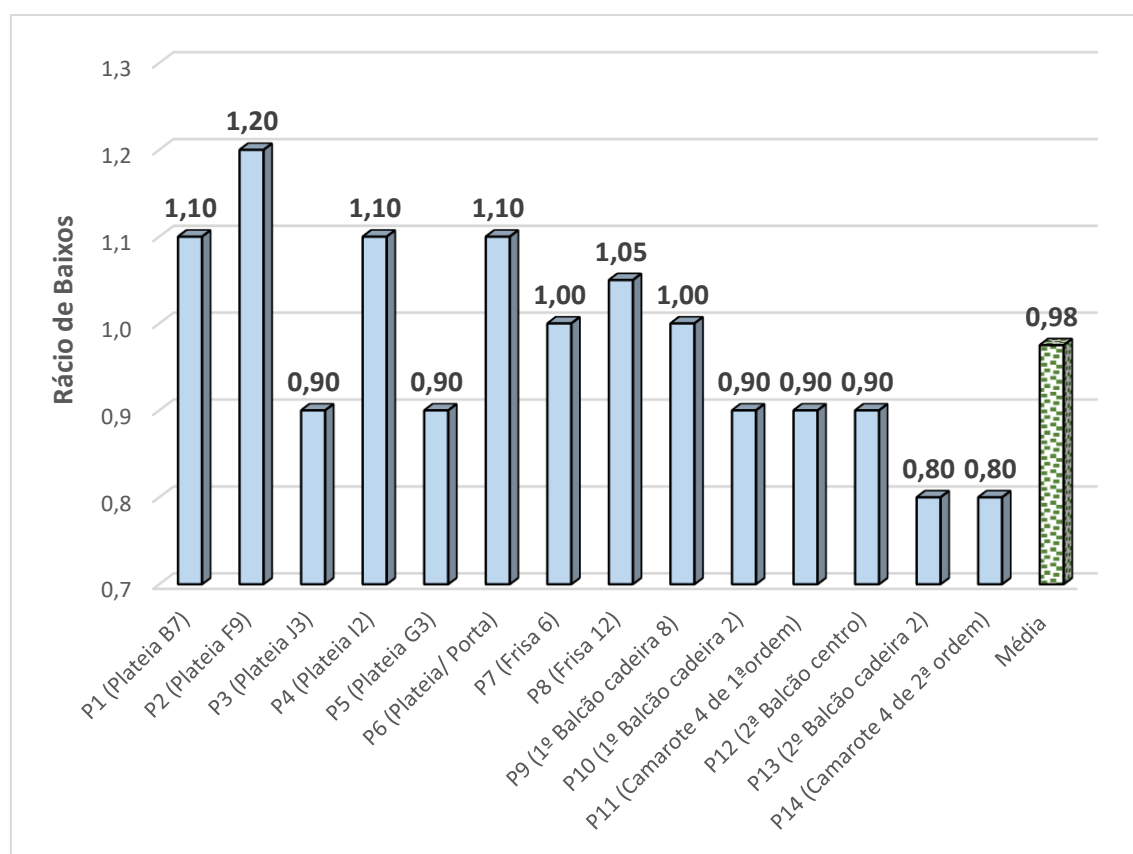


Figura 6.14 - Comparação dos valores do parâmetro Rácio de baixos para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

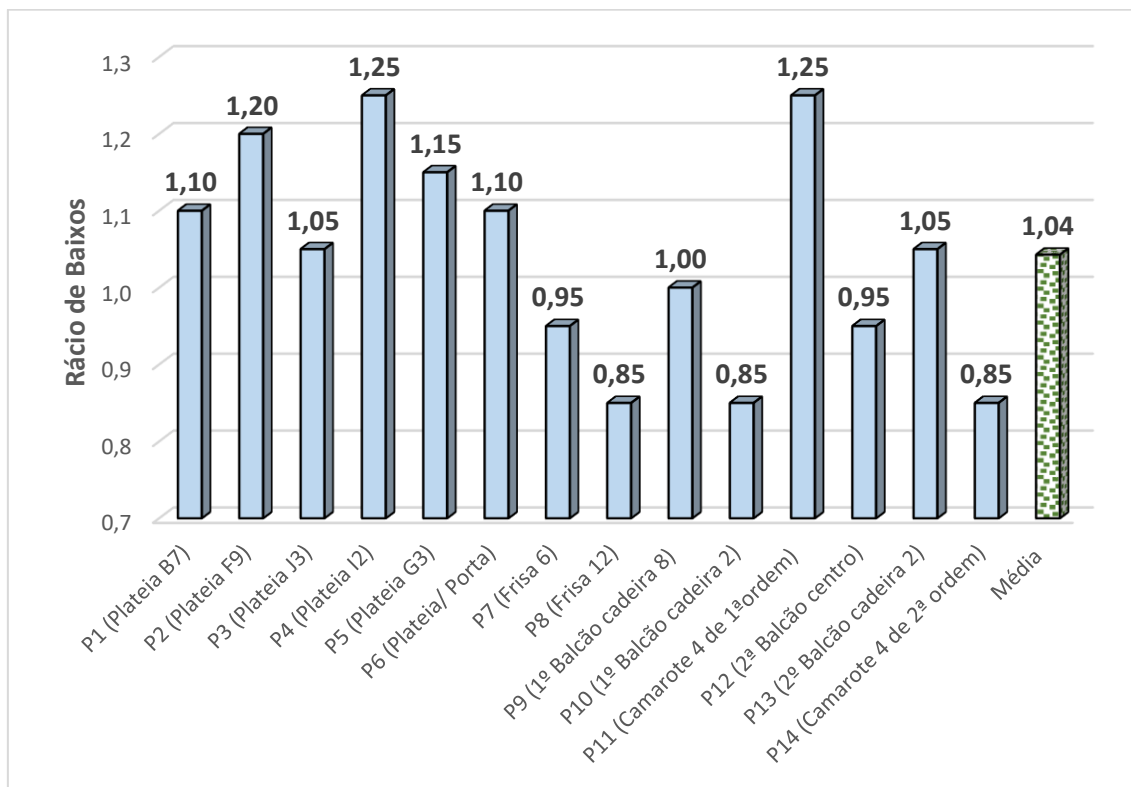


Figura 6.15 - Comparação dos valores do parâmetro Rácio de baixos para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

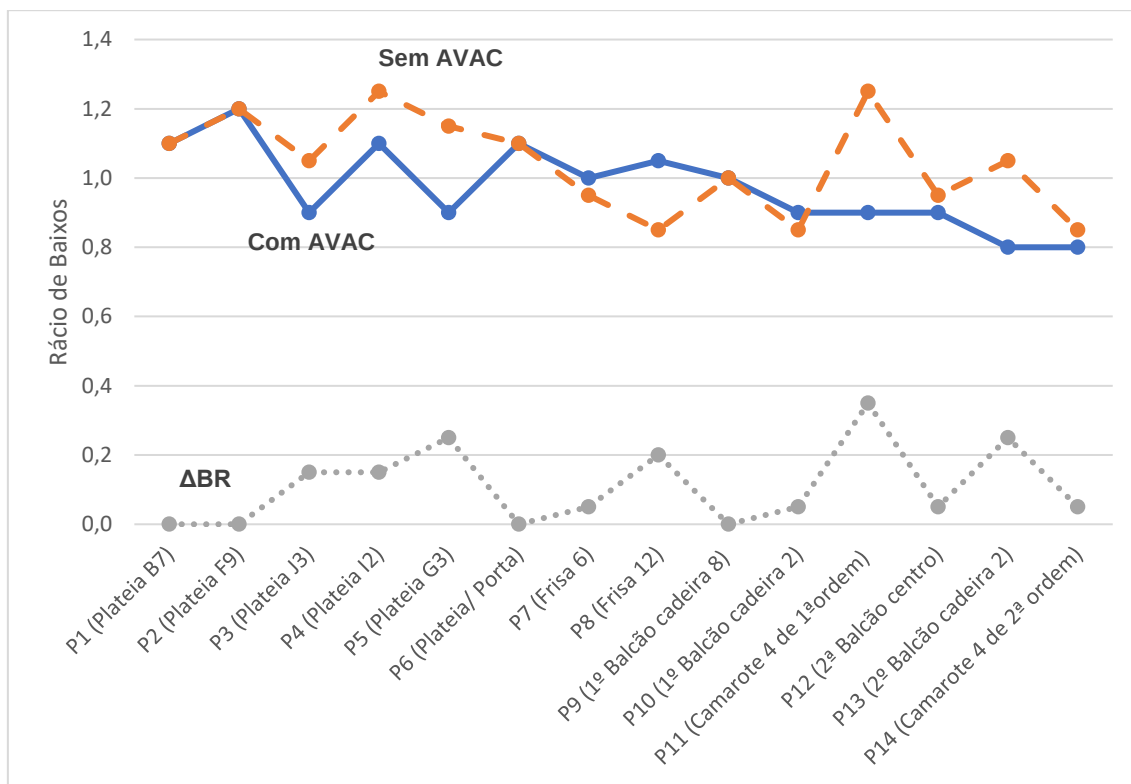


Figura 6.16 - Comparação dos valores do parâmetro Rácio de baixos médio para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC e a correspondente variação entre eles.

No quadro 6.15 encontra-se de acordo com Beranek, os valores ideais de Rácio de baixos para cada ponto estando estes valores interligados ao Tempo de reverberação de acordo com os intervalos sugeridos por Beranek.

Quadro 6.15 - Valores médios do parâmetro Rácio de baixos e do Tempo de reverberação para os pontos P1 a P14 (com e sem AVAC), e a respetiva comparação dos valores ideais de Rácio de baixos de acordo com o Tempo de reverberação, do Teatro Ribeiro Conceição [14].

Ponto (Posição)	Rácio de Baixos (BR)		Tempo de Reverberação (T30) (s)		BR ideais para TR até 1,8 (s)
	Com AVAC	Sem AVAC	Com AVAC	Sem AVAC	1,1 <BR< 1,45
P1 (Plateia B7)	1,10	1,10	0,99	0,99	Adequado
P2 (Plateia F9)	1,20	1,20	0,95	1,03	Adequado
P3 (Plateia J3)	0,90	1,05	0,93	1,07	Tolerável
P4 (Plateia I2)	1,10	1,25	1,03	1,05	Adequado
P5 (Plateia G3)	0,90	1,15	0,98	0,99	Tolerável
P6 (Plateia/ Porta)	1,10	1,10	1,04	1,04	Adequado
P7 (Frisa 6)	1,00	0,95	1,13	1,02	Desadequado
P8 (Frisa 12)	1,05	0,85	1,06	0,98	Desadequado
P9 (1º Balcão cadeira 8)	1,00	1,00	1,05	1,07	Desadequado
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,90	0,85	1,15	1,11	Desadequado
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,90	1,25	1,07	1,05	Tolerável
P12 (2ª Balcão centro)	0,90	0,95	1,19	1,10	Desadequado
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,80	1,05	1,11	1,06	Tolerável
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,80	0,85	1,15	1,08	Desadequado
Média	0,98	1,04	1,06	1,05	Tolerável

6.5. INTILIGIBILIDADE DA PALAVRA

De acordo com o capítulo 2.6.1, o parâmetro *STI* (*Speech Transmission Index*) analisa as deformações de um som em termos de qualidade na transmissão sonora entre o transmissor e o recetor, isto é, a qualidade da clareza na interpretação de um discurso à medida que o recetor se distancia do emissor, que no caso de estudo se encontra situado no centro do palco. Os valores encontram-se entre o 0 (má

inteligibilidade) e 1 (excelente inteligibilidade) como se encontra representado no quadro 6.16.

O ensaio foi realizado nos quatorze pontos (P1 a P14) e para cada ponto obteve-se o “*STI médio global*” do Teatro Ribeiro Conceição com e sem o funcionamento do AVAC.

A análise da inteligibilidade da palavra foi efetuada sem a utilização de reforço eletroacústico, significando que os resultados obtidos refletem exclusivamente as propriedades acústicas naturais do espaço. Se os resultados indicarem uma boa inteligibilidade, o Teatro Ribeiro Conceição é funcional e bem projetado para a palavra, sendo autossuficiente para várias funções sem a necessidade de intervenções técnicas adicionais.

É imprescindível que em todos os pontos de medição se obtenha uma ótima qualidade para a inteligibilidade da palavra e que estes estejam com valores consistentes e razoáveis. Conforme exposto no quadro 6.16 e nas figuras 6.17, 6.18 e 6.19, nota-se que a inteligibilidade da palavra se encontra na sua generalidade classificada como “Razoável”, exceto no ponto P1 (na plateia) que tem uma classificação como “Bom”. Isto deve-se ao facto deste ponto se encontrar próximo da fonte sonora.

É de salientar que os valores expõem pouca alteração entre ponto e que estes seguem uma certa consistência, no qual se obteve um desvio padrão de 0,04 para o “*STI médio*” com e sem o funcionamento do AVAC. Isto demonstra que por mais que se varie na localização dos pontos da sala, a inteligibilidade da palavra não difere significativamente nos diferentes lugares da sala.

Na análise do quadro 6.16 é de destacar que os piores valores médios se encontram aquando ocorre o funcionamento do AVAC, nos pontos P3 (0,44), P9 (0,49) e P12 (0,49). Estes valores como se encontram mais afastados da fonte sonora, estão diretamente afetados pela qualidade sonora que é influenciada pelo campo reverberado. No quadro 6.16 e figura 6.19 encontra-se o *STI* médio com AVAC e sem AVAC, onde se calculou a variação para cada ponto (P1 a P14).

Na figura 6.17 encontra-se descrita a comparação do parâmetro *STI* dos quatorze pontos (P1 a P14) com o funcionamento do AVAC e verifica-se que na sua generalidade os pontos rondam a média de 0,52 exceto no ponto P1 de 0,60 (mais próximo da fonte sonora) e no ponto P3 de 0,44, sendo o menor valor que representa aquele com menor qualidade de clareza de interpretação.

Na figura 6.18 encontra-se representada a comparação do parâmetro *STI* dos quatorze pontos (P1 a P14) sem o funcionamento do AVAC e no qual se verifica que no Ponto P1 (0,70) se encontra o maior valor devido à sua aproximação da fonte sonora. Nos restantes pontos os valores do parâmetro *STI* variam entre 0,51 e 0,58. Estes valores encontram-se *razoáveis* para a capacidade de o espetador interpretar com clareza um discurso.

Ponto (Posição)	STI médio com AVAC	STI médio sem AVAC	ΔSTI	Inteligibilidade da Palavra
P1 (Plateia B7)	0,60(+)	0,70(+)	0,10	Boa (0,60 - 0,75)
P2 (Plateia F9)	0,54	0,55	0,01	
P3 (Plateia J3)	0,44(-)	0,57	0,13(+)	
P4 (Plateia I2)	0,54	0,55	0,01	
P5 (Plateia G3)	0,50	0,52	0,02	
P6 (Plateia/ Porta)	0,53	0,53	0,00(-)	
P7 (Frisa 6)	0,52	0,51(-)	0,01	
P8 (Frisa 12)	0,50	0,51(-)	0,01	
P9 (1º Balcão cadeira 8)	0,49	0,53	0,04	
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,52	0,55	0,03	
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,52	0,52	0,00(-)	
P12 (2ª Balcão a meio)	0,49	0,56	0,07	
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,56	0,58	0,02	
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,55	0,55	0,00(-)	
Média	0,52	0,55	0,03	Suficiente (0,45 - 0,60)
Desvio Padrão	0,04	0,05	0,04	
ΔSTI	0,16	0,19	0,13	

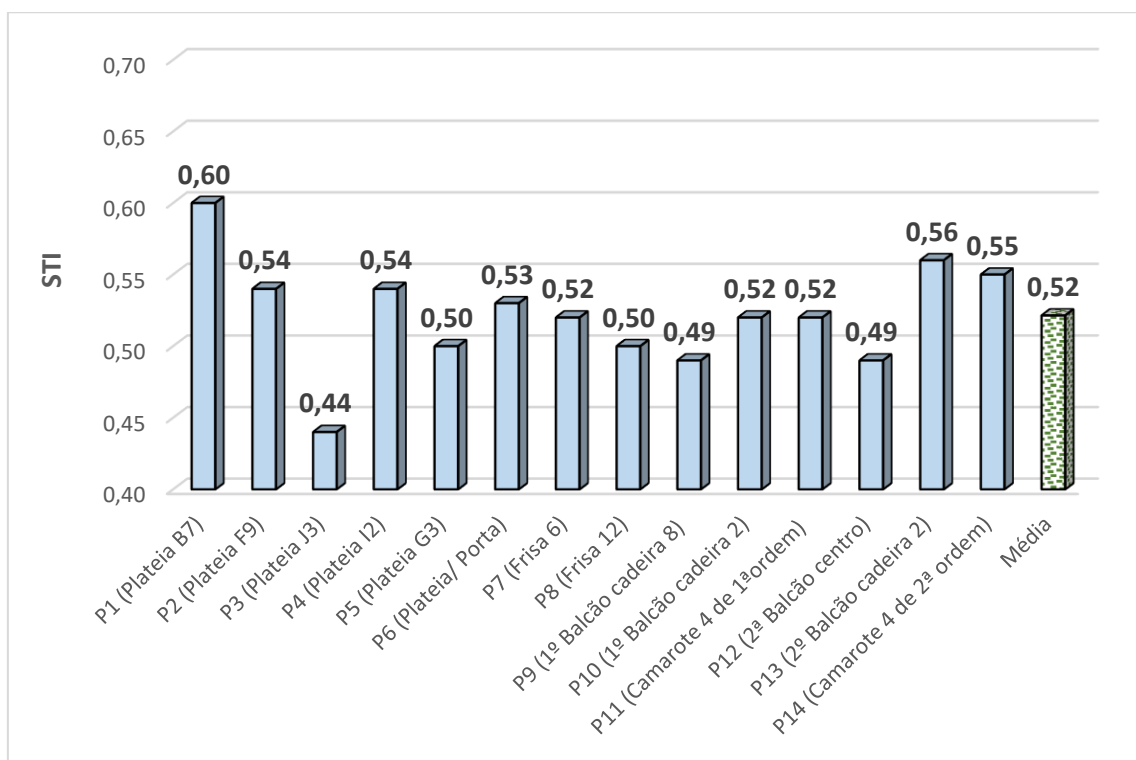


Figura 6.17 - Comparação dos valores do parâmetro STI para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

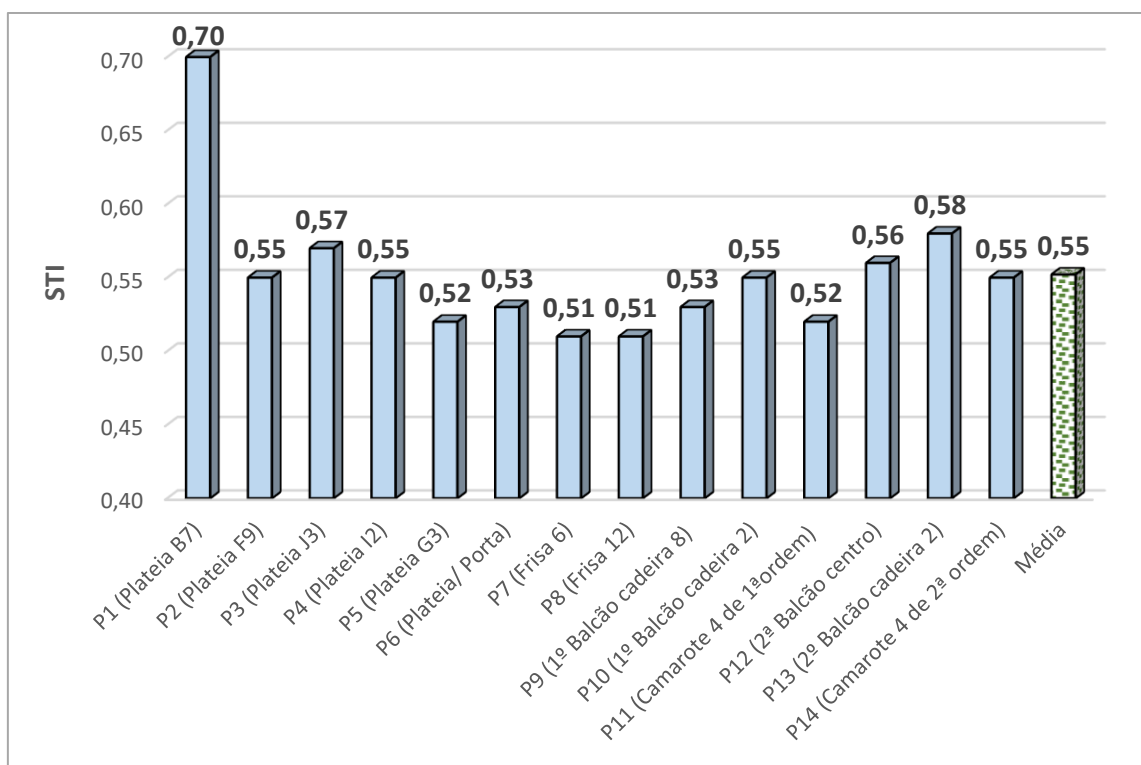


Figura 6.18 - Comparação dos valores do parâmetro STI para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

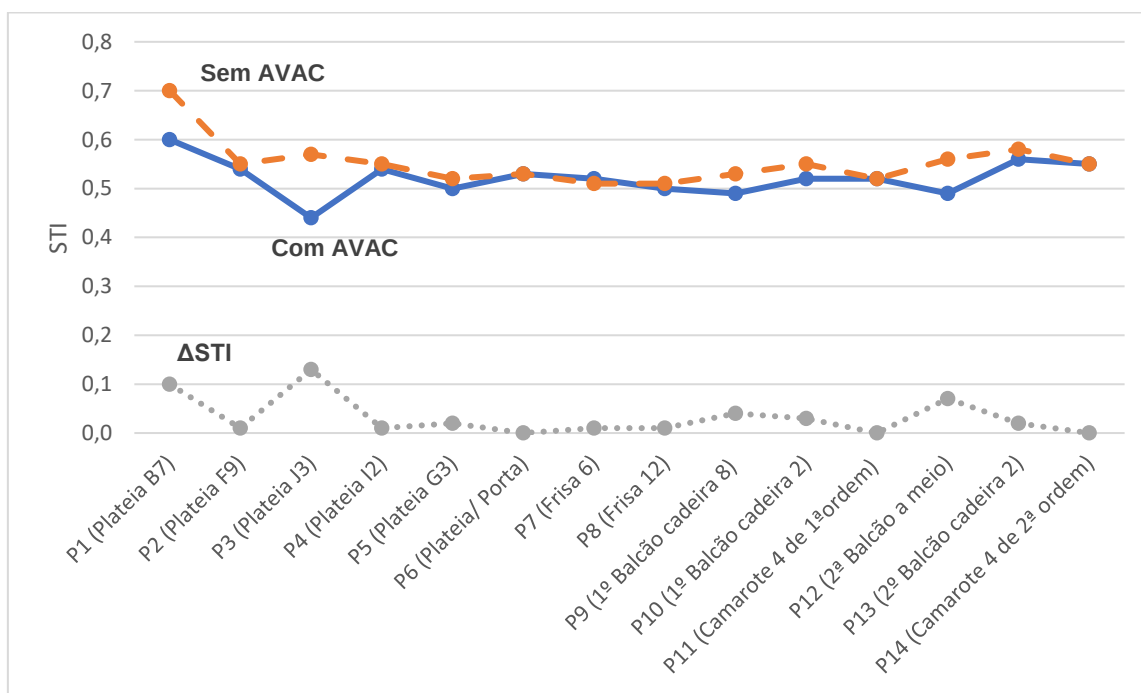


Figura 6.19 - Comparação dos valores do parâmetro *STI médio* para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC e a correspondente variação entre eles.

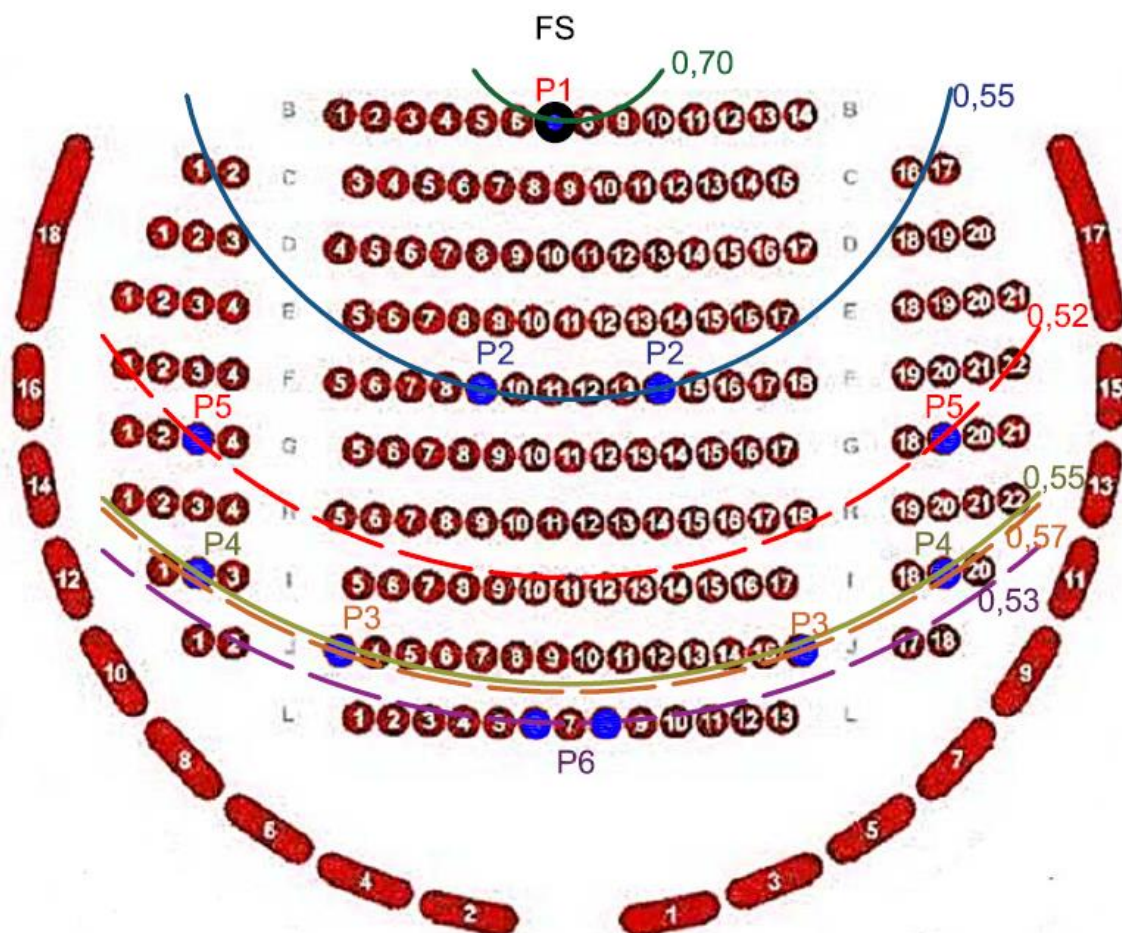


Figura 6.20 – Esquema representativo das linhas de igual STI (*Speech Transmission Index*) e Fonte sonora (FS), no Teatro Ribeiro Conceição.

Na figura 6.20 encontra-se representada as linhas de igual STI, para os pontos P1 a P6, localizados na plateia. Conforme descrito na figura existe uma zona “*hole-in-the-middle problem*” entre P2 e P5 onde a qualidade da inteligibilidade da palavra é reduzida, estando estes pontos próximos da fonte sonora. Os valores obtidos devem-se ao facto de existir uma zona da plateia onde ocorrem poucas reflexões.

6.6. CLARIDADE (C_{80})

De acordo com o capítulo 2.7.4.1, a Claridade (C_{80}) é um parâmetro que informa da capacidade para ouvir pormenores musicais, visto que, determina a energia recebida nos primeiros 80 ms (primeiras reflexões) face à energia recebida posteriormente. Se as primeiras reflexões expuserem muita energia o som direto sobrepõem-se ao reverberante (valor mais alto), e no caso inverso, o som reverberante irá sobrepor-se ao som direto (valor mais baixo). É de grande importância o estudo deste parâmetro para locais onde ocorram espetáculos musicais. Na análise deste parâmetro foram medidos quatorze pontos (P1 a P14) como se encontra representados no capítulo 5.2.2.

Quadro 6.17 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (com AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							C_{80} [500, 1k Hz] (dB)
	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
P1 (Plateia B7)	7,34	6,63	7,89	6,62	8,76 (+)	10,28 (+)	11,21 (+)	7,3(+)
P2 (Plateia F9)	3,30	6,49	4,49	4,42 (-)	5,23	6,87	10,77	4,5(-)
P3 (Plateia J3)	3,13	5,90	5,76	4,57	5,97	6,00	6,48 (-)	5,2
P4 (Plateia I2)	5,52	4,10	7,95 (+)	6,67	5,79	6,49	9,23	7,3(+)
P5 (Plateia G3)	1,37 (-)	3,45	5,36	4,85	4,77 (-)	5,11 (-)	8,49	5,1
P6 (Plateia/ Porta)	7,65 (+)	9,46	6,69	7,86 (+)	6,71	7,44	9,91	7,3(+)
P7 (Frisa 6)	4,09	5,91	5,41	6,21	6,10	6,73	9,65	5,8
P8 (Frisa 12)	2,11	3,31 (-)	5,20	6,32	5,83	5,29	7,60	5,8
P9 (1º Balcão cadeira 8)	4,62	6,56	4,31	4,85	5,30	6,34	8,77	4,6
P10 (1º Balcão cadeira 2)	7,49	7,87	5,06	4,94	5,93	6,85	10,72	5,0
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	6,51	7,44	3,47 (-)	6,12	6,77	6,54	9,76	4,8
P12 (2ª Balcão centro)	6,54	7,30	4,31	4,85	5,30	6,34	8,77	4,6
P13 (2º Balcão cadeira 2)	7,63	7,90 (+)	5,59	5,29	6,39	7,57	10,74	5,4
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	6,34	3,87	5,92	5,09	6,13	7,64	10,26	5,5
Média P1 a P14	5,26	6,16	5,53	5,62	6,07	6,82	9,45	5,6
Desvio Padrão	2,08	1,80	1,25	0,98	0,93	1,20	1,29	1,0
ΔC_{80}	6,3	4,6	4,5	3,4	4,0	5,2	4,7	2,8

Encontra-se representado nos quadros 6.17 (com AVAC) e 6.18 (sem AVAC) os valores de Claridade nos pontos P1 a P14 na banda de frequência de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz. O cálculo da média obteve-se através das frequências de 500 e 1.000 Hz para cada ponto e a média para cada frequência e o seu respetivo desvio padrão. Nas figuras 6.21 (com AVAC), 6.22 (sem AVAC) e 6.23 (comparação das médias), encontra-se a variação da Claridade com a frequência. Nas duas análises percebe-se que a Claridade (C_{80}) aumenta com a frequência. Devido às variações possíveis dos seus valores, podendo estes serem positivos como negativos, recorre-

se a uma comparação entre os valores obtidos no ensaio e os valores que se consideram ideais para as diferentes utilizações, expostas no quadro 2.7 do capítulo 2.7.3.

Quadro 6.18 - Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (sem AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							C_{80} [500, 1k Hz] (dB)
	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
P1 (Plateia B7)	7,70 (+)	7,98	8,47 (+)	8,21 (+)	8,69 (+)	10,88 (+)	12,40 (+)	8,3 (+)
P2 (Plateia F9)	3,27	5,94	5,07	5,21	5,51	6,45	10,95	5,1
P3 (Plateia J3)	2,67	5,60	6,83	7,06	6,72	6,62	9,29	6,9
P4 (Plateia I2)	4,66	5,63	7,17	5,65	5,31	5,89	9,03	6,4
P5 (Plateia G3)	2,05 (-)	3,27 (-)	5,91	5,35	4,57 (-)	5,14 (-)	7,65	5,6
P6 (Plateia/ Porta)	6,61	6,88	5,97	5,82	6,55	8,84	10,57	5,9
P7 (Frisa 6)	2,86	7,57	4,76	6,47	6,24	7,24	9,49	5,6
P8 (Frisa 12)	2,08	4,34	3,87 (-)	5,07	5,20	5,70	5,08 (-)	4,5
P9 (1º Balcão cadeira 8)	6,57	8,11	4,93	6,36	5,52	7,10	10,90	5,6
P10 (1º Balcão cadeira 2)	6,83	7,28	4,05	5,57	5,87	6,43	9,37	4,8
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	4,73	6,28	4,23	4,43 (-)	5,09	7,05	8,79	4,3(-)
P12 (2ª Balcão centro)	5,31	8,54 (+)	4,45	7,05	5,64	6,88	10,32	5,8
P13 (2º Balcão cadeira 2)	5,30	4,65	5,90	4,63	5,60	7,26	10,56	5,3
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	5,27	4,27	4,64	4,15	5,05	6,06	8,62	4,4
Média P1 a P14	4,71	6,17	5,45	5,79	5,83	6,97	9,50	5,6
Desvio Padrão	1,80	1,57	1,29	1,10	0,98	1,38	1,69	1,1
ΔC_{80}	5,7	5,3	4,6	3,8	4,1	5,7	7,3	3,9

Como evidenciado no quadro 6.19 e na figura 6.26 os pontos que exibem valores significativamente altos são aqueles que se encontram mais expostos ao som direto, tais como P1, P4 e P6, sendo aqueles que exibem mais energia e que se sobrepõem ao som reverberante. O ponto P1 é o que exhibe maior valor devido a sua proximidade com a fonte sonora. Contudo o ponto P3 é aquele que sofre maior variação devido ao efeito do funcionamento do AVAC, podendo-se justificar este valor devido a aproximação das grelhas de ventilação.

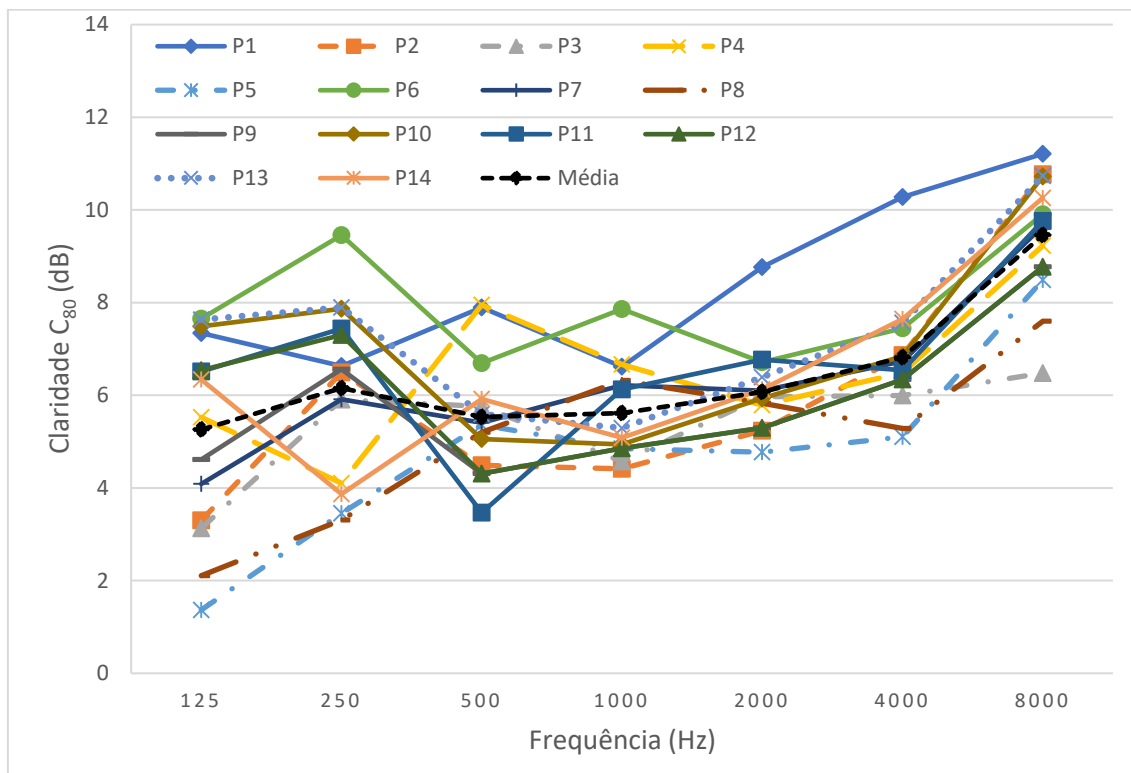


Figura 6.21 - Valores do parâmetro Clareza (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

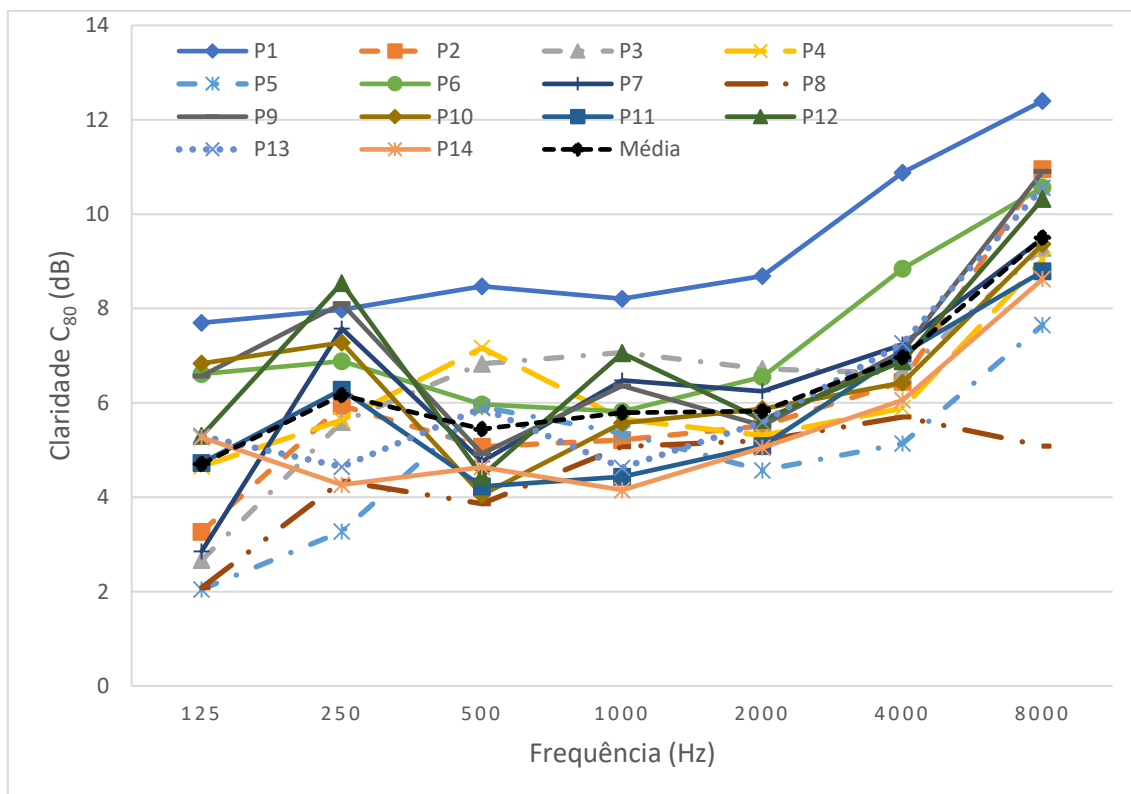


Figura 6.22 - Valores do parâmetro Clareza (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

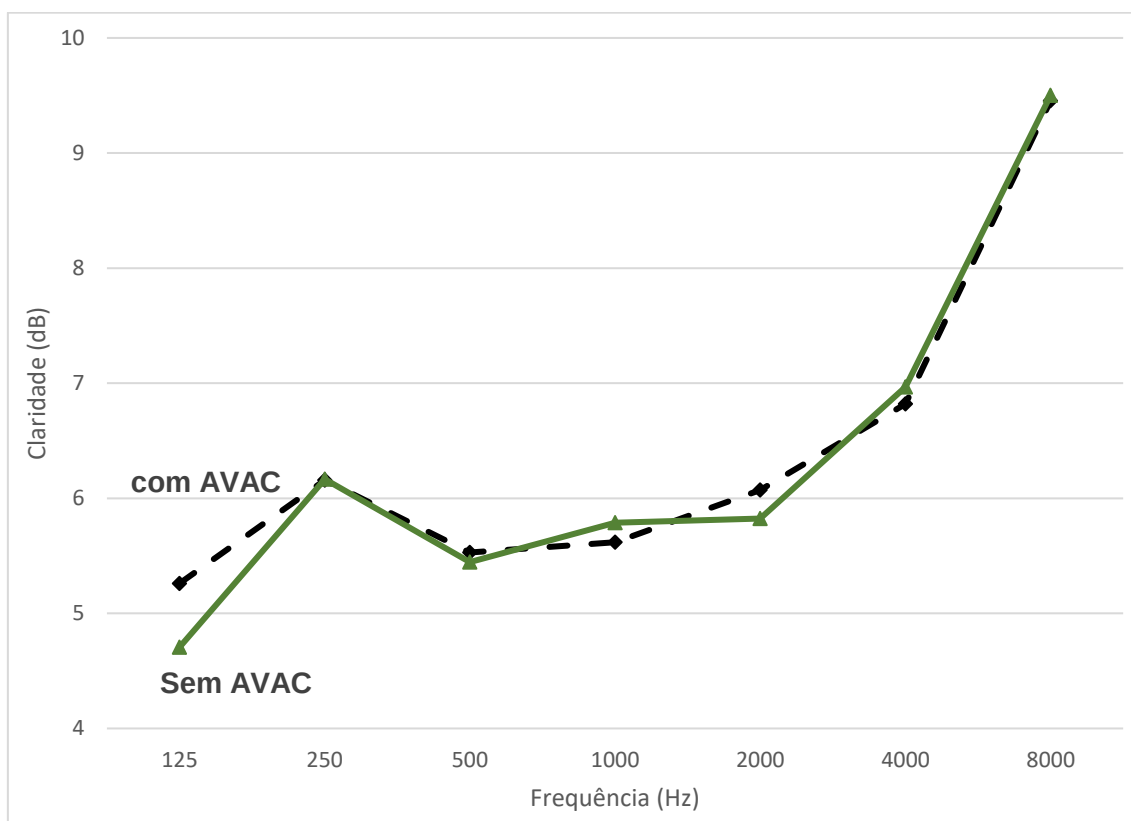


Figura 6.23 - Média dos Valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem e com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

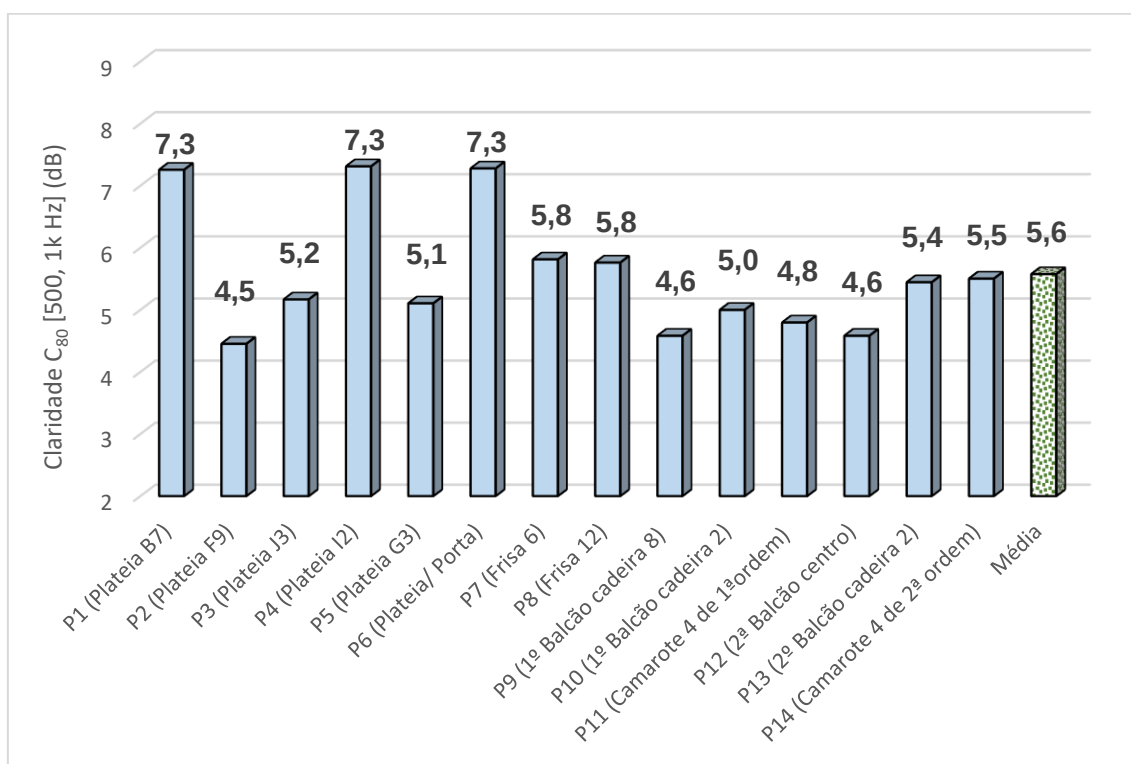


Figura 6.24 - Comparação dos valores do parâmetro Claridade (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC do Teatro Ribeiro Conceição.

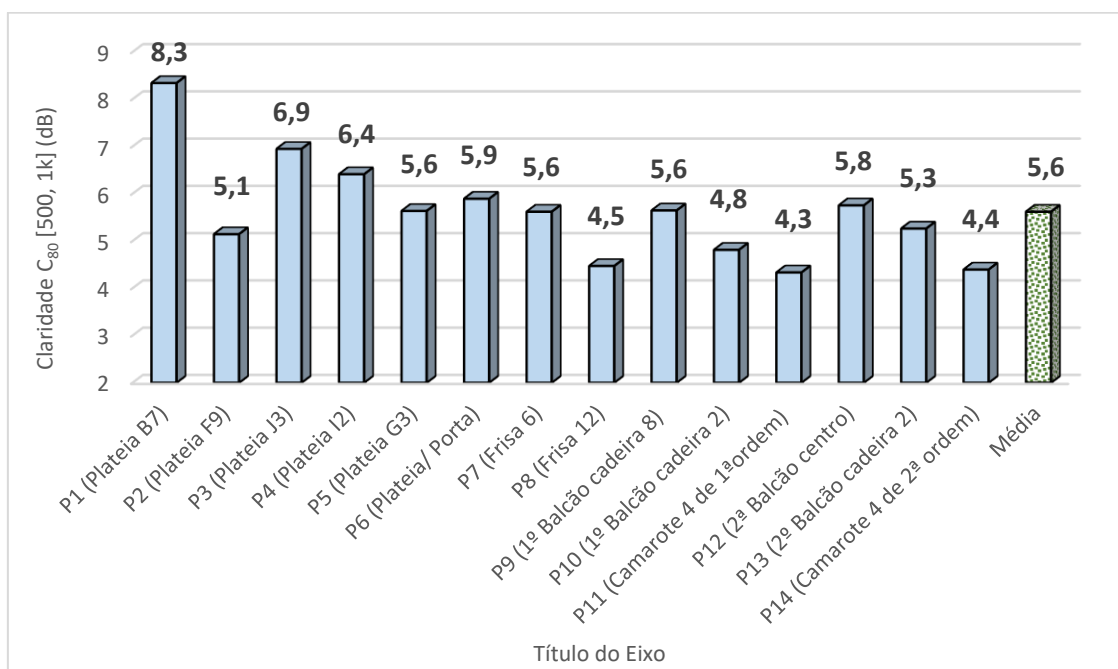


Figura 6.25 - Comparação dos valores do parâmetro Clareza (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição.

Quadro 6.19 – Valores médios do parâmetro Clareza (C_{80}) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	C_{80} [500, 1k Hz] (dB)		ΔC_{80} (dB)
	Com AVAC	Sem AVAC	
P1 (Plateia B7)	7,3 (+)	8,3 (+)	1,1
P2 (Plateia F9)	4,5 (-)	5,1	0,7
P3 (Plateia J3)	5,2	6,9	1,8 (+)
P4 (Plateia I2)	7,3 (+)	6,4	0,9
P5 (Plateia G3)	5,1	5,6	0,5
P6 (Plateia/ Porta)	7,3 (+)	5,9	1,4
P7 (Frisa 6)	5,8	5,6	0,2 (-)
P8 (Frisa 12)	5,8	4,5	1,3
P9 (1º Balcão cadeira 8)	4,6	5,6	1,1
P10 (1º Balcão cadeira 2)	5,0	4,8	0,2 (-)
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	4,8	4,3 (-)	0,5
P12 (2ª Balcão a meio)	4,6	5,8	1,2
P13 (2º Balcão cadeira 2)	5,4	5,3	0,2 (-)
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	5,5	4,4	1,1
Média	5,6	5,6	0
ΔC_{80}	2,8	4,0	1,6

Os pontos P3, P4, P6 e P12 (sem AVAC), mesmo estando mais afastados da fonte sonora são posições que devido a sua localização (frontal com o palco) permite receber som direto e as primeiras reflexões com um valor bastante considerável permitindo aos espectadores ouvir com clareza os pormenores musicais.

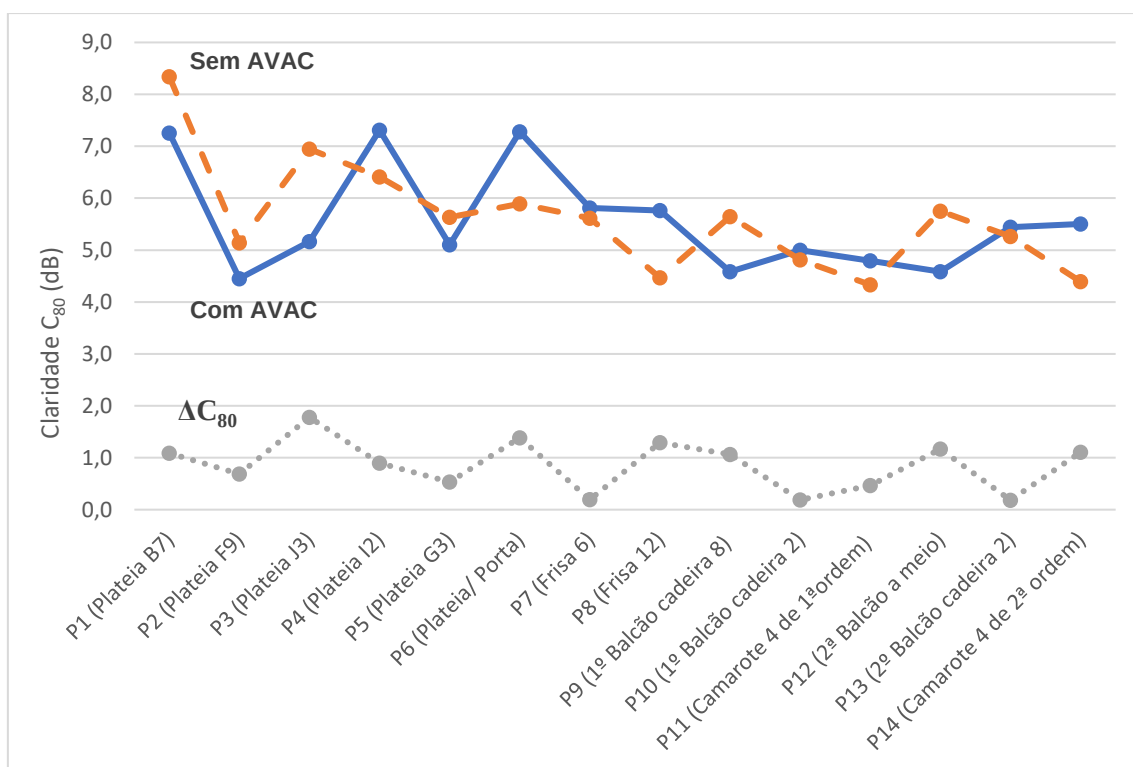


Figura 6.26 - Comparação dos valores médios do parâmetro Clareza (C_{80}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação do Teatro Ribeiro Conceição.

Quadro 6.20 - Verificação dos valores considerados ideais do parâmetro Clareza (C_{80}) de acordo com a utilização do espaço para o Teatro Ribeiro Conceição.

Função	C_{80} [500, 1k Hz] ideal (dB) [1]	C_{80} [500, 1k Hz] medido (dB)		Avaliação
		Com AVAC	Sem AVAC	
Auditório (palavra)	> 6	5,6	5,6	Tolerável
Teatro	> 6			Tolerável
Cinema	> 5			Adequado
Ópera (não wagneriana)	3 a 4			Tolerável
(wagneriana)	1 a 2			Desadequado
Música sinfónica Barroca	0 a 2			Desadequado
Clássica	-1 a 0			Desadequado
Romântica	-2 a -1			Desadequado
Moderna	-1 a 0			Desadequado
Música popular	> 6			Tolerável
Música de órgão	< -2			Desadequado
Coros gregorianos	-3 a -1			Desadequado

É de destacar que com o funcionamento do AVAC os valores da Claridade (C_{80}) melhoraram permitindo que as primeiras reflexões expusessem mais energia. No quadro 6.20 encontram-se os valores considerados ideais do parâmetro da Claridade (C_{80}) de acordo com a função do espaço, e verifica-se que o Teatro Ribeiro Conceição é adequado para cinema e tolerável para auditório, teatro, ópera (não wagneriana) e música popular.

6.7. DEFINIÇÃO (D_{50})

Como visto no capítulo 2.7.4.2, a Definição (D_{50}) é um parâmetro usado para determinar a percepção da palavra. Este relaciona a energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida. Este parâmetro varia entre 1 (melhor percepção da palavra) e 0 (pior percepção da palavra). Neste parâmetro foram utilizados quatorze pontos (P1 a P14) de acordo com o capítulo 5.2.2.

Nos quadros 6.21 (com AVAC) e 6.22 (sem AVAC) encontram-se representados os valores médios da Definição medidos nos quatorze pontos por banda de frequência de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz, e as respectivas médias com as frequências de 500 e 1.000 Hz para cada ponto e a frequência média e o desvio padrão com as frequências entre 125 e 8.000 Hz.

Nas figuras 6.27 (com AVAC), 6.28 (sem AVAC) e 6.29 (comparação das médias), visualiza-se que existe uma disseminação significativa em quase toda a gama de frequências, sendo a mais perceptível nas frequências 125 e 500 Hz, com desvios padrões de 0,07 (com AVAC) e 0,06 (sem AVAC).

Pela observação dos quadros 6.21 e 6.22, nas frequências médias (500 e 1.000 Hz), verifica-se uma variação considerável na zona da plateia (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), em contrapartida nos balcões os valores tendem a diminuir. Tal deve-se ao fato que na zona da plateia o campo reverberante ter maior efeito do que na zona dos balcões, o que resulta num menor valor parâmetro de Definição, logo menor percepção da palavra.

Na análise dos quadros 6.21 e 6.22 comparativamente com as figuras 6.27, 6.28 e 6.29 observa-se na sua generalidade a Definição (D_{50}) como “razoável”, sendo de destacar que com o funcionamento do AVAC os pontos P1, P4 e P6 (plateia) apresentam resultados bons e sem o funcionamento do AVAC os pontos que melhor se classificam são P1 e P3 (plateia). Estes valores obtiveram melhor classificação devido à sua proximidade com a fonte sonora, sendo que quanto mais próximos desta tendem a receber maior energia nos primeiros 50 ms. Determina-se que a energia recebida nas primeiras reflexões é considerada razoável e bom em alguns pontos, o que torna o Teatro Ribeiro Conceição um local com boa percepção da palavra.

Quadro 6.21 - Valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (com AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: Maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							D_{50} [500, 1k Hz]	Definição do discurso [35]
	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
P1 (Plateia B7)	0,87 (+)	0,73	0,79 (+)	0,74	0,84 (+)	0,88 (+)	0,92 (+)	0,77 (+)	Bom (0,67 a 0,86)
P2 (Plateia F9)	0,49	0,59	0,67	0,62	0,67	0,72	0,87	0,64	Razoável (0,39 a 0,67)
P3 (Plateia J3)	0,54	0,75	0,66	0,63	0,71	0,70	0,70	0,65	Razoável (0,39 a 0,67)
P4 (Plateia I2)	0,94	0,51	0,75	0,74	0,65	0,68	0,79	0,74	Bom (0,67 a 0,86)
P5 (Plateia G3)	0,45 (-)	0,46	0,61	0,61	0,52 (-)	0,60	0,75	0,61	Razoável (0,39 a 0,67)
P6 (Plateia/ Porta)	0,46	0,79 (+)	0,74	0,77 (+)	0,73	0,78	0,85	0,76	Bom (0,67 a 0,86)
P7 (Frisa 6)	0,80	0,58	0,64	0,68	0,67	0,71	0,83	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P8 (Frisa 12)	0,58	0,44 (-)	0,47 (-)	0,67	0,61	0,56 (-)	0,67 (-)	0,57	Razoável (0,39 a 0,67)
P9 (1º Balcão cadeira 8)	0,75	0,73	0,55	0,58 (-)	0,59	0,70	0,78	0,56 (-)	Razoável (0,39 a 0,67)
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,77	0,78	0,68	0,62	0,71	0,76	0,88	0,65	Razoável (0,39 a 0,67)
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,61	0,75	0,59	0,66	0,76	0,74	0,85	0,62	Razoável (0,39 a 0,67)
P12 (2ª Balcão centro)	0,75	0,73	0,55	0,58 (-)	0,59	0,70	0,78	0,56 (-)	Razoável (0,39 a 0,67)
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,82	0,79 (+)	0,65	0,68	0,74	0,77	0,88	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,63	0,57	0,62	0,66	0,70	0,78	0,86	0,64	Razoável (0,39 a 0,67)
Média P1 a P14	0,67	0,66	0,64	0,66	0,68	0,72	0,81	0,65	
Desvio Padrão	0,15	0,12	0,08	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07	
ΔD_{50}	0,42	0,34	0,32	0,20	0,31	0,31	0,25	0,20	

Quadro 6.22 - Valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 e a respetiva média e desvio padrão (sem AVAC), medidos do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							D_{50} [500, 1k Hz]	Definição do discurso [35]
	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
P1 (Plateia B7)	0,81 (+)	0,77	0,82 (+)	0,80 (+)	0,84 (+)	0,90 (+)	0,95 (+)	0,81 (+)	Bom (0,67 a 0,86)
P2 (Plateia F9)	0,52	0,55	0,68	0,64	0,64	0,73	0,88	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P3 (Plateia J3)	0,42 (-)	0,63	0,73	0,73	0,67	0,70	0,80	0,73	Bom (0,67 a 0,86)
P4 (Plateia I2)	0,70	0,60	0,71	0,61 (-)	0,60	0,62	0,77	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P5 (Plateia G3)	0,46	0,41 (-)	0,64	0,65	0,57 (-)	0,59 (-)	0,72	0,64	Razoável (0,39 a 0,67)
P6 (Plateia/ Porta)	0,49	0,70	0,66	0,65	0,71	0,81	0,86	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P7 (Frisa 6)	0,52	0,72	0,63	0,70	0,71	0,75	0,82	0,66	Razoável (0,39 a 0,67)
P8 (Frisa 12)	0,54	0,45	0,54	0,62	0,59	0,61	0,54 (-)	0,58 (-)	Razoável (0,39 a 0,67)
P9 (1º Balcão cadeira 8)	0,71	0,77	0,61	0,72	0,68	0,77	0,89	0,67	Razoável (0,39 a 0,67)
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,68	0,76	0,59	0,63	0,71	0,75	0,84	0,61	Razoável (0,39 a 0,67)
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,60	0,70	0,58	0,62	0,60	0,72	0,79	0,60	Razoável (0,39 a 0,67)
P12 (2ª Balcão centro)	0,70	0,80 (+)	0,61	0,77	0,69	0,76	0,86	0,69	Razoável (0,39 a 0,67)
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,67	0,52	0,61	0,66	0,68	0,77	0,88	0,63	Razoável (0,39 a 0,67)
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,65	0,61	0,53 (-)	0,62	0,66	0,70	0,78	0,58 (-)	Razoável (0,39 a 0,67)
Média P1 a P14	0,60	0,64	0,64	0,67	0,67	0,73	0,81	0,65	
Desvio Padrão	0,11	0,12	0,08	0,06	0,06	0,08	0,10	0,06	
ΔD_{50}	0,39	0,39	0,30	0,19	0,27	0,31	0,41	0,24	

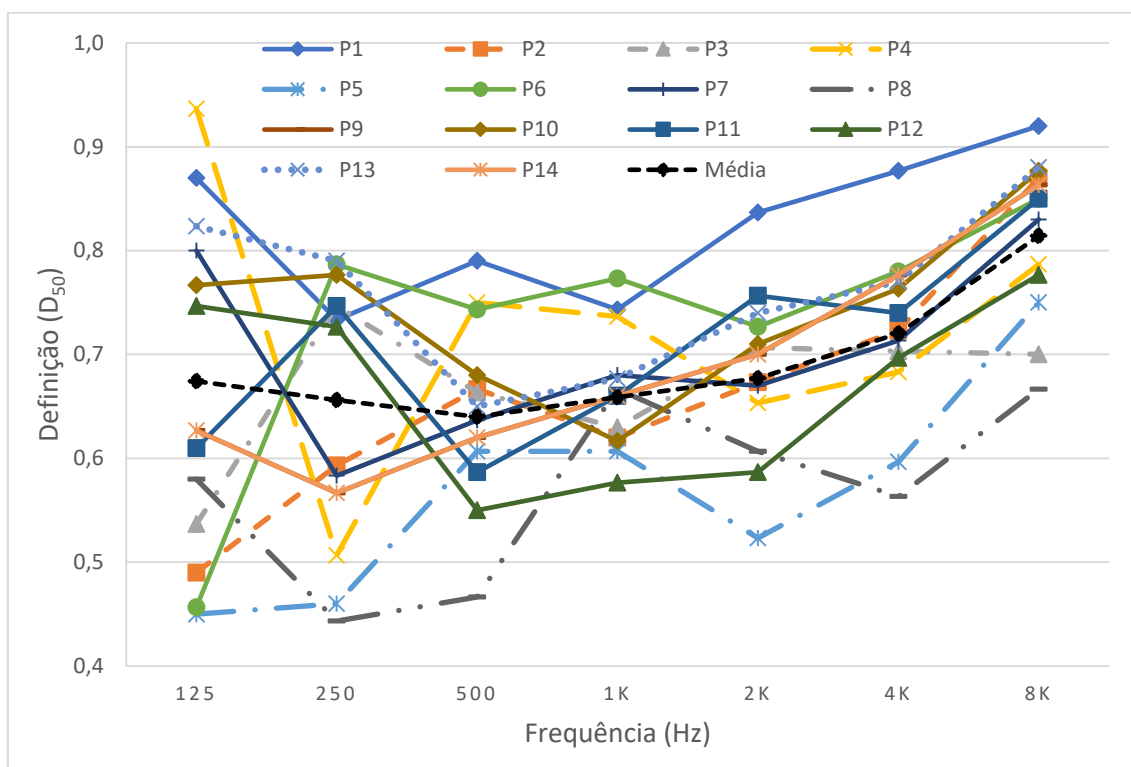


Figura 6.27 - Valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

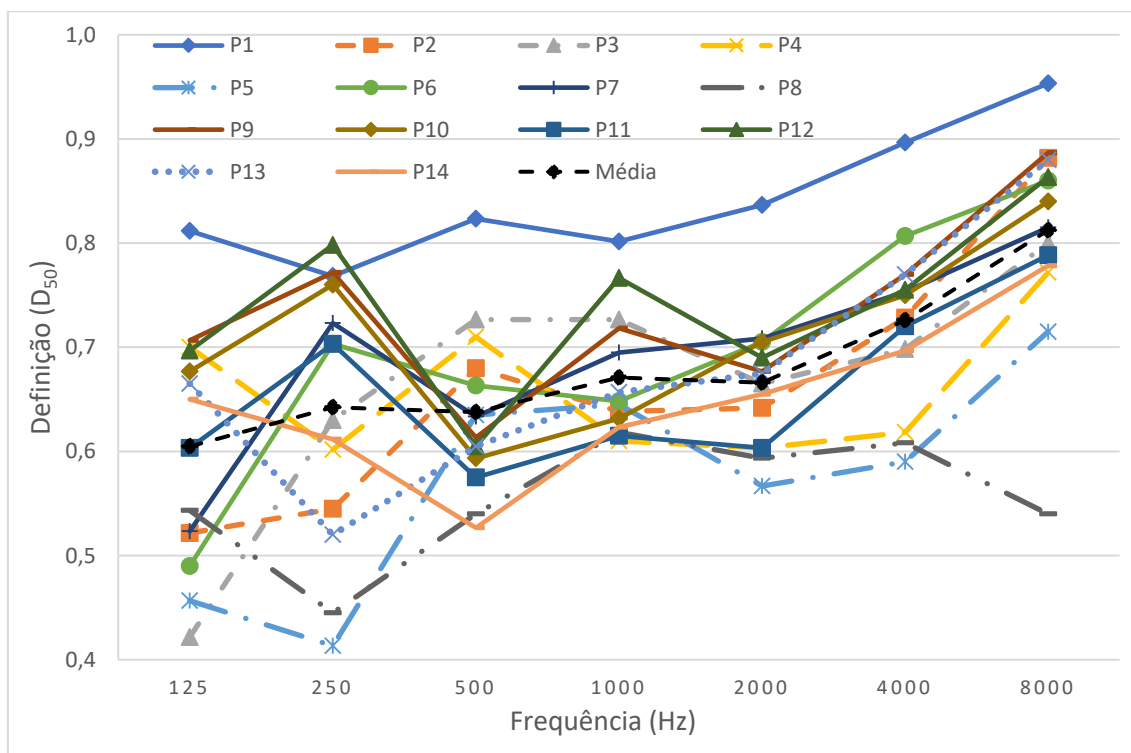


Figura 6.28 - Valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição.

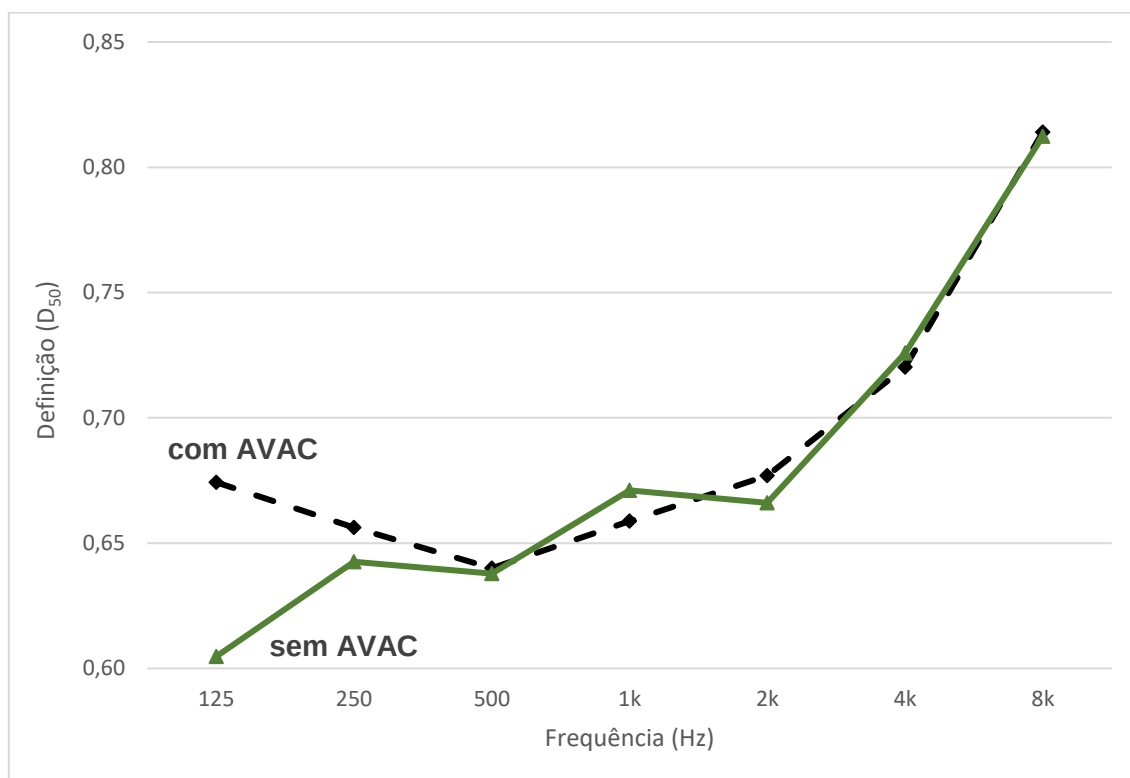


Figura 6.29 – Média dos valores do parâmetro definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com e sem AVAC do Teatro Ribeiro Conceição.

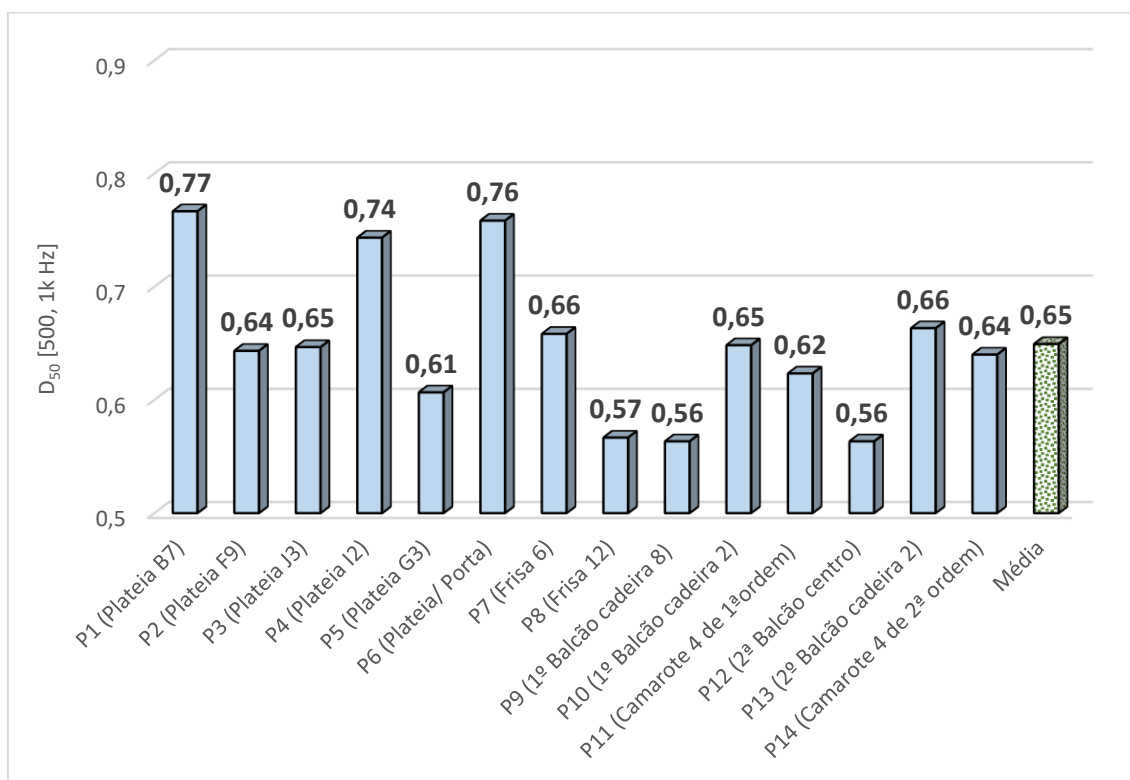


Figura 6.30 - Comparação dos valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

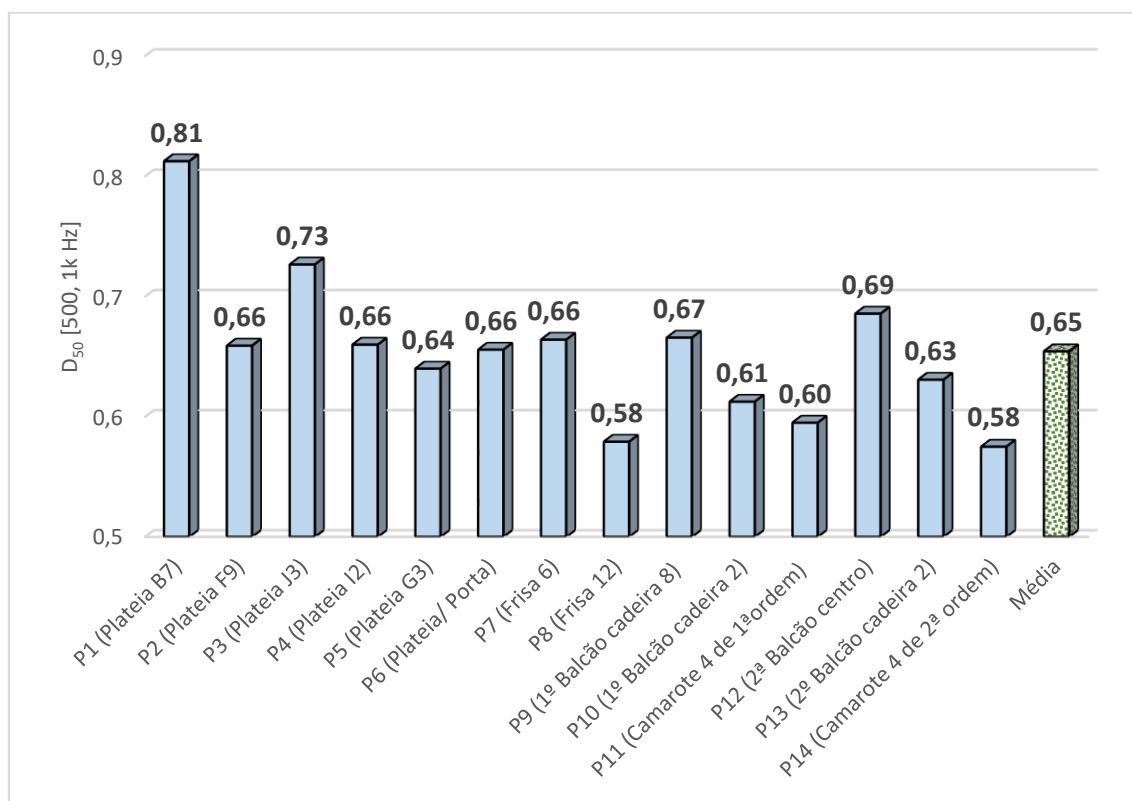


Figura 6.31 - Comparação dos valores do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

Quadro 6.23 - Valores médios do parâmetro Definição (D_{50}) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -; maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	D_{50} [500, 1k Hz]		ΔD_{50}
	Com AVAC	Sem AVAC	
P1 (Plateia B7)	0,77 (+)	0,81 (+)	0,05
P2 (Plateia F9)	0,64	0,66	0,02
P3 (Plateia J3)	0,65	0,73	0,08
P4 (Plateia I2)	0,74	0,66	0,08
P5 (Plateia G3)	0,61	0,64	0,03
P6 (Plateia/ Porta)	0,76	0,66	0,10
P7 (Frise 6)	0,66	0,66	0,01 (-)
P8 (Frise 12)	0,57	0,58 (-)	0,01 (-)
P9 (1º Balcão cadeira 8)	0,56 (-)	0,67	0,10
P10 (1º Balcão cadeira 2)	0,65	0,61	0,04
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	0,62	0,60	0,03
P12 (2ª Balcão a meio)	0,56	0,69	0,12 (+)
P13 (2º Balcão cadeira 2)	0,66	0,63	0,03
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	0,64	0,58	0,07
ΔD_{50}	0,20	0,23	0,11

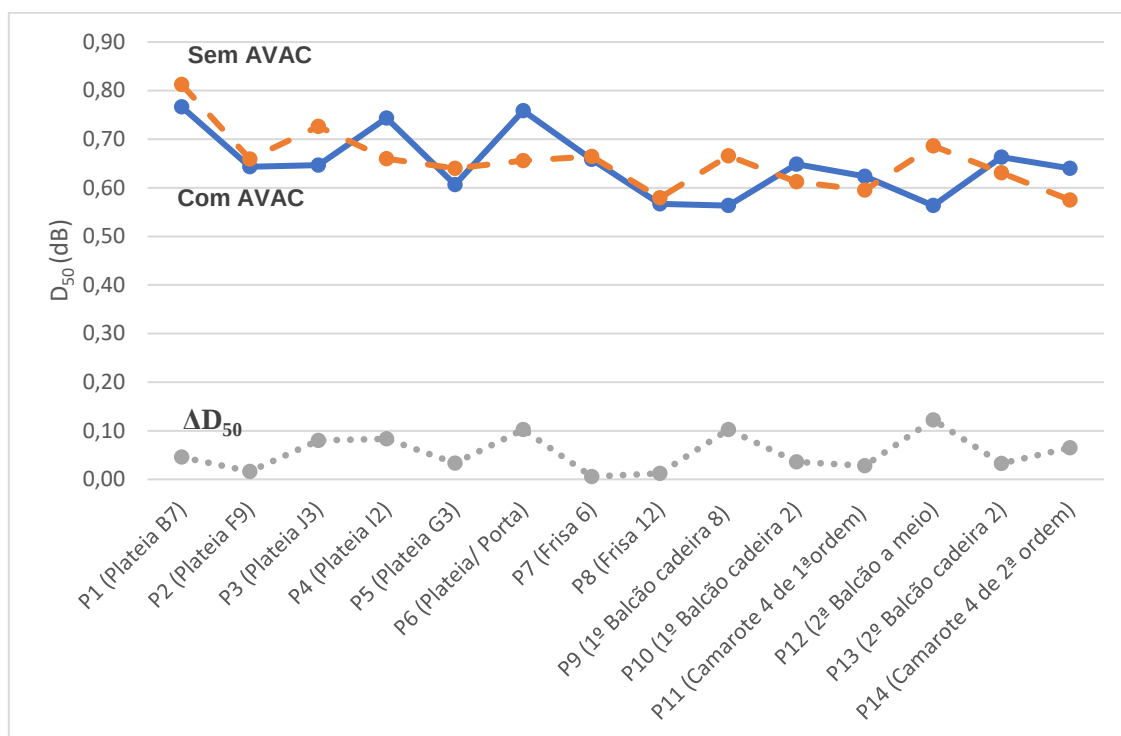


Figura 6.32 - Comparação dos valores médios do parâmetro Definição (D_{50}) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação do Teatro Ribeiro Conceição.

Como representado no quadro 6.23 e na figura 6.32 os pontos com valores mais altos do parâmetro Definição (sem AVAC) são aqueles que se encontram expostos ao som direto: P1, P3, P9 e P12, estando estes sujeitos a receber mais energia e que em contrapartida se sobrepõem ao campo reverberante. Os pontos que exibem maior valor, devido a sua localização (de frente com o palco) são os lugares P9 (0,10) e P12 (0,12) permite receber as primeiras reflexões e som direto com um valor bastante significativo, o que se destaca numa melhor percepção da palavra. É de salientar que com efeito do funcionamento do AVAC os valores de Definição (D_{50}) para os pontos P1 e P7 sofrem uma variação de 0,01 (aproximadamente 0) e no ponto P12 de 0,12 (maior variação de todos, mas mesmo assim muito baixa).

Pela análise do quadro 6.23 verifica-se que os valores de variação se encontram muito próximos (0,20 e 0,23), permitindo considerar que o AVAC não condiciona os valores da Definição (D_{50}).

6.8. TEMPO CENTRAL (TS)

Como verificado no capítulo 2.7.4.3, o parâmetro Tempo Central (TS) mede o ponto médio, no tempo, da energia acústica total recebida. Este parâmetro permite determinar se o ambiente é muito reverberante (valor mais alto) ou se a energia do estímulo sonora se concentra unicamente nas primeiras reflexões originando um som mais claro (valor mais baixo de TS).

No cálculo deste parâmetro procedeu-se à medição em quatorze pontos (P1 a P14), como se encontra descrito no capítulo 5.2.2. Os quadros 6.24 (com AVAC) e 6.25 (sem AVAC), apresentam os valores do Tempo Central medidos nos pontos P1 a

P14 nas bandas de frequência de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz, e a respetiva média e desvio padrão, obtendo-se ainda os valores de Tempo Central para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz.

Os valores do Tempo Central representados nos quadros 6.24 e 6.25 na sua generalidade são valores altos variando entre o 66 ms com o AVAC, e 68 ms sem AVAC, o que representa ser um ambiente reverberante, exceto no ponto P1 em que varia de 37 ms com AVAC para 33 ms sem AVAC. Com valores entre 33 e 37 ms, o P1 oferece características que favorecem a clareza e a inteligibilidade da palavra. Este valor representa que neste ponto a energia do estímulo sonoro acontece nas primeiras reflexões e o som é recebido pelo espetador mais claramente.

Quadro 6.24 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos (P1 a P14) medidos e a respetiva média e desvio padrão com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							TS [500, 1k Hz] (ms)
	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
P1 (Plateia B7)	67	60	36	38 (-)	28 (-)	18 (-)	15 (-)	37 (-)
P2 (Plateia F9)	87	72	59	57	52	39	19	58
P3 (Plateia J3)	116	67	56	54	49	46	44	55
P4 (Plateia I2)	86	70	47 (-)	52	54	49	30	49
P5 (Plateia G3)	109	87 (+)	58	59	62 (+)	52	32	59
P6 (Plateia/ Porta)	90	68	59	54	51	41	27	56
P7 (Frisa 6)	79	66	66	52	52	44	29	59
P8 (Frisa 12)	120 (+)	82	68	62 (+)	54	60 (+)	45 (+)	65
P9 (1º Balcão cadeira 8)	80	67	70	61	55	45	30	65
P10 (1º Balcão cadeira 2)	56	63	67	62	49	39	22	64
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	79	54 (-)	78 (+)	55	47	43	26	66 (+)
P12 (2ª Balcão centro)	83	63	70	61	55	45	30	65
P13 (2º Balcão cadeira 2)	52 (-)	63	71	61	49	40	26	66 (+)
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	82	83	59	55	48	38	25	57
Média (ms)	85	69	62	56	50	43	29	59
Desvio Padrão (ms)	19	9	10	6	7	9	8	8
Δ TS (ms)	68	33	31	24	34	42	30	29

Quadro 6.25 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos (P1 a P14) medidos e a respetiva média e desvio padrão sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	Frequência (Hz)							TS [500, 1k Hz] (ms)
	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
P1 (Plateia B7)	58 (-)	50 (-)	34 (-)	32 (-)	25 (-)	16 (-)	7 (-)	33 (-)
P2 (Plateia F9)	97	74	57	58	52	40	18	57
P3 (Plateia J3)	124 (+)	68	52	51	51	45	31	51
P4 (Plateia I2)	88	68	46	56	56	51	32	51
P5 (Plateia G3)	108	90 (+)	55	56	59 (+)	52 (+)	35	55
P6 (Plateia/ Porta)	91	71	62	60	51	40	28	61
P7 (Frisa 6)	89	62	65	55	50	43	31	60
P8 (Frisa 12)	124 (+)	81	71	60	56	52 (+)	45 (+)	66
P9 (1º Balcão cadeira 8)	73	63	67	55	54	39	21	61
P10 (1º Balcão cadeira 2)	67	53	72	57	49	43	27	65
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	92	69	71	63 (+)	56	42	30	67 (+)
P12 (2ª Balcão centro)	84	58	74 (+)	48	53	43	25	61
P13 (2º Balcão cadeira 2)	80	90 (+)	61	58	53	40	23	59
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	80	73	73	63	55	47	32	68 (+)
Média (ms)	90	69	61	55	51	42	28	58
Desvio Padrão (ms)	18	12	11	7	8	9	8	9
ΔTS	66	40	39	31	34	36	38	35

Os valores de Tempo Central (66 – 68 ms) indicam que o espaço está otimizado para funções teatrais e discursos orais, oferecendo boa inteligibilidade e clareza. Para algumas apresentações musicais, especialmente sinfônicas ou corais, pode haver uma perceção de "escassa" acústica, pois a reverberação será insuficiente para criar o ambiente imersivo desejado.

Nas figuras 6.33 (com AVAC), 6.34 (sem AVAC) e 6.35 (comparação das médias), pode-se observar que nas frequências existe uma maior dispersão dos valores, com um desvio padrão a variar de cerca de 19 ms. Em contrapartida nas médias e altas frequências este encontra-se cerca dos 10 ms.

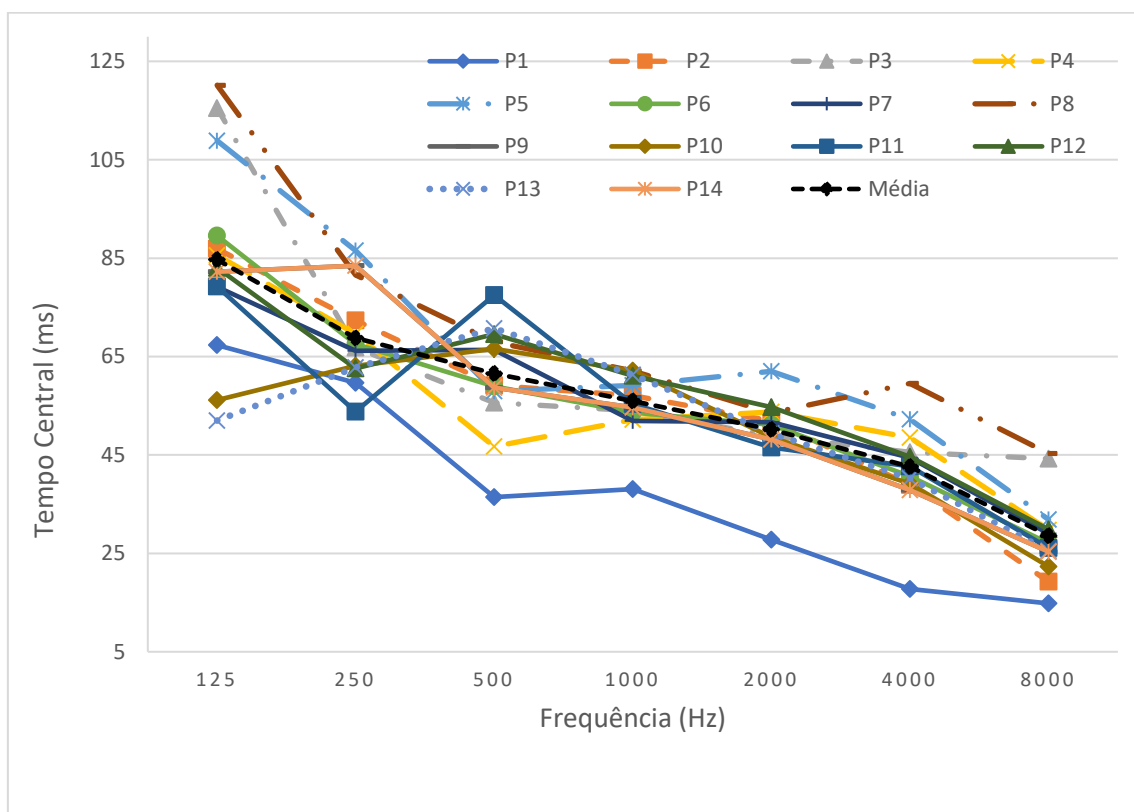


Figura 6.33 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

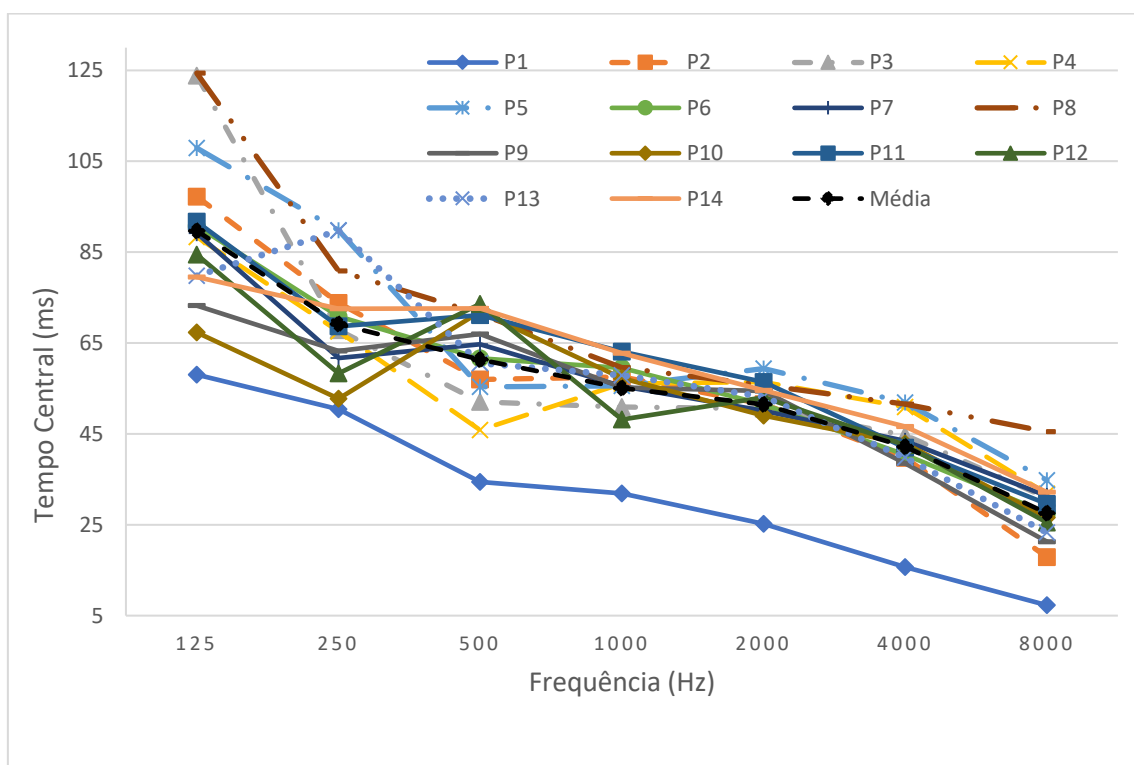


Figura 6.34 - Valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

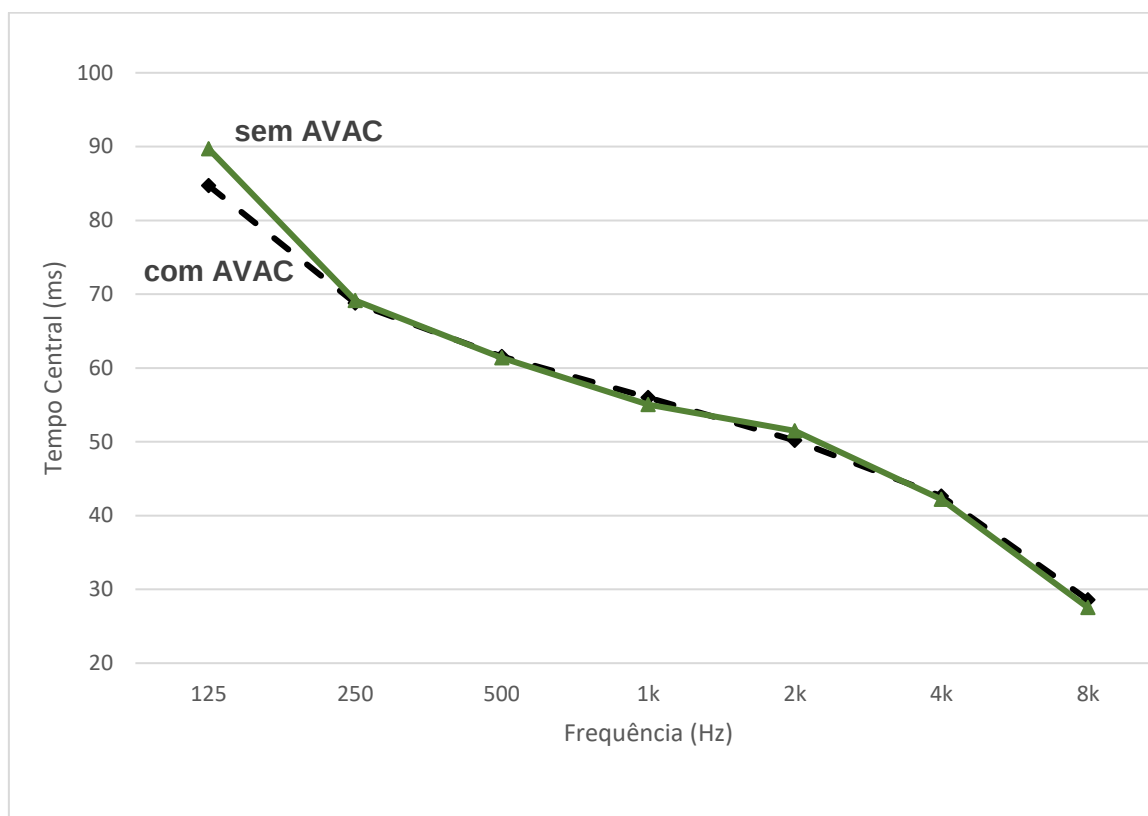


Figura 6.35 – Média dos valores do parâmetro Tempo Central (TS) para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) em bandas de frequência de 1/1 oitava com e sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

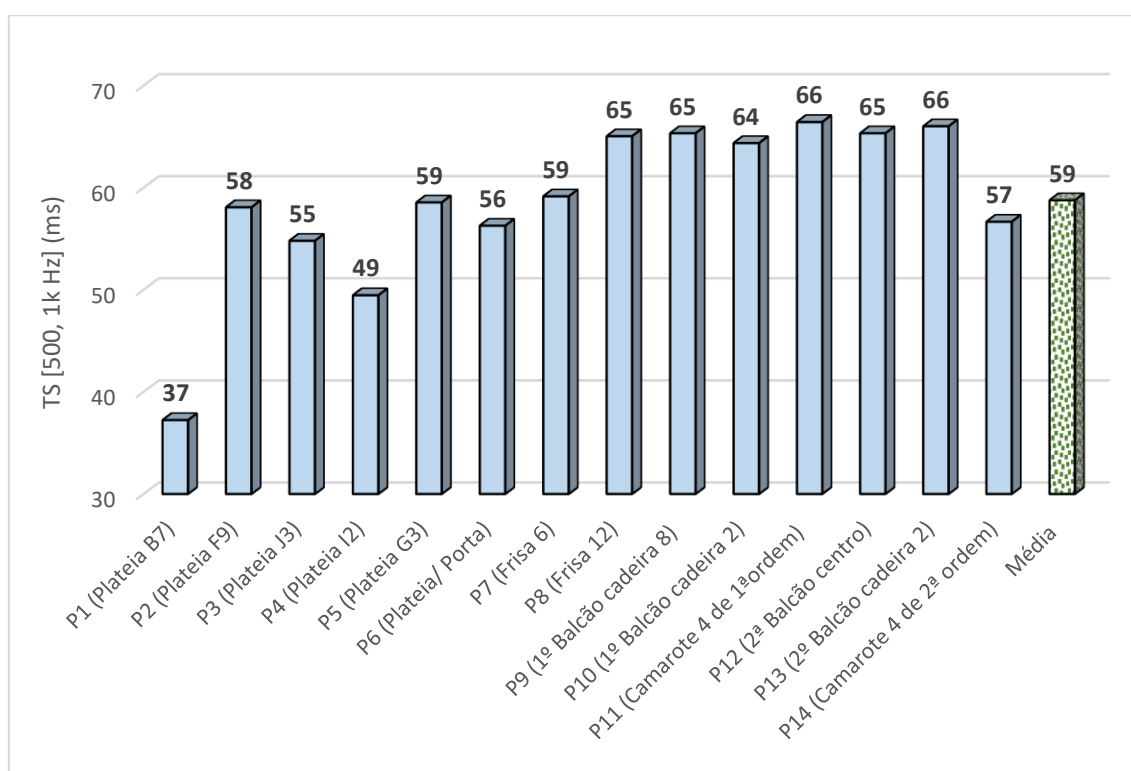


Figura 6.36 - Comparação dos valores do Tempo Central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média com AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

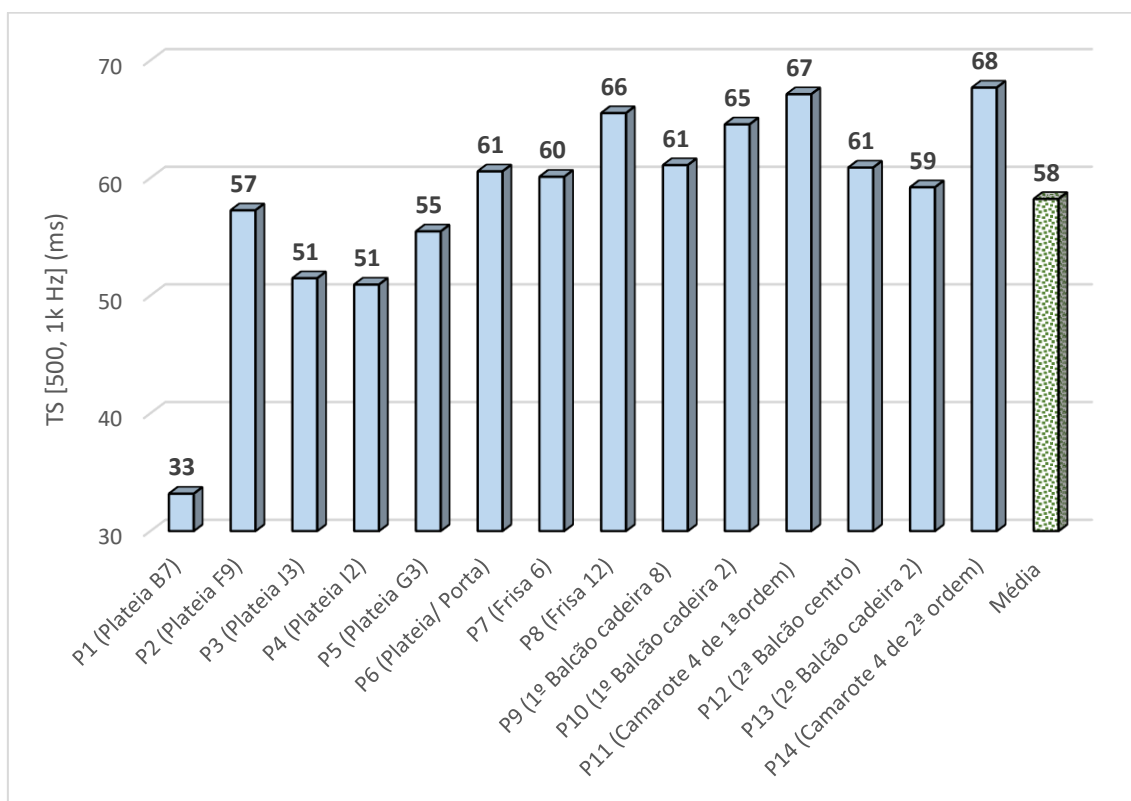


Figura 6.37 - Comparação dos valores do Tempo Central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) e a média sem AVAC, do Teatro Ribeiro Conceição.

Quadro 6.26 - Valores médios do parâmetro Tempo Central (TS) para os pontos P1 a P14 com e sem AVAC com a variação, do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Ponto (Posição)	TS [500, 1k Hz] (ms)		ΔTS
	Com AVAC	Sem AVAC	
P1 (Plateia B7)	37 (-)	33 (-)	4
P2 (Plateia F9)	58	57	1
P3 (Plateia J3)	55	51	3
P4 (Plateia I2)	49	51	1
P5 (Plateia G3)	59	55	3
P6 (Plateia/ Porta)	56	61	4
P7 (Frisa 6)	59	60	1
P8 (Frisa 12)	65	66	0 (-)
P9 (1º Balcão cadeira 8)	65	61	4
P10 (1º Balcão cadeira 2)	64	65	0 (-)
P11 (Camarote 4 de 1ª ordem)	66 (+)	67	1
P12 (2ª Balcão a meio)	65	61	4
P13 (2º Balcão cadeira 2)	66 (+)	59	7
P14 (Camarote 4 de 2ª ordem)	57	68 (+)	11 (+)
ΔTS	29	35	11

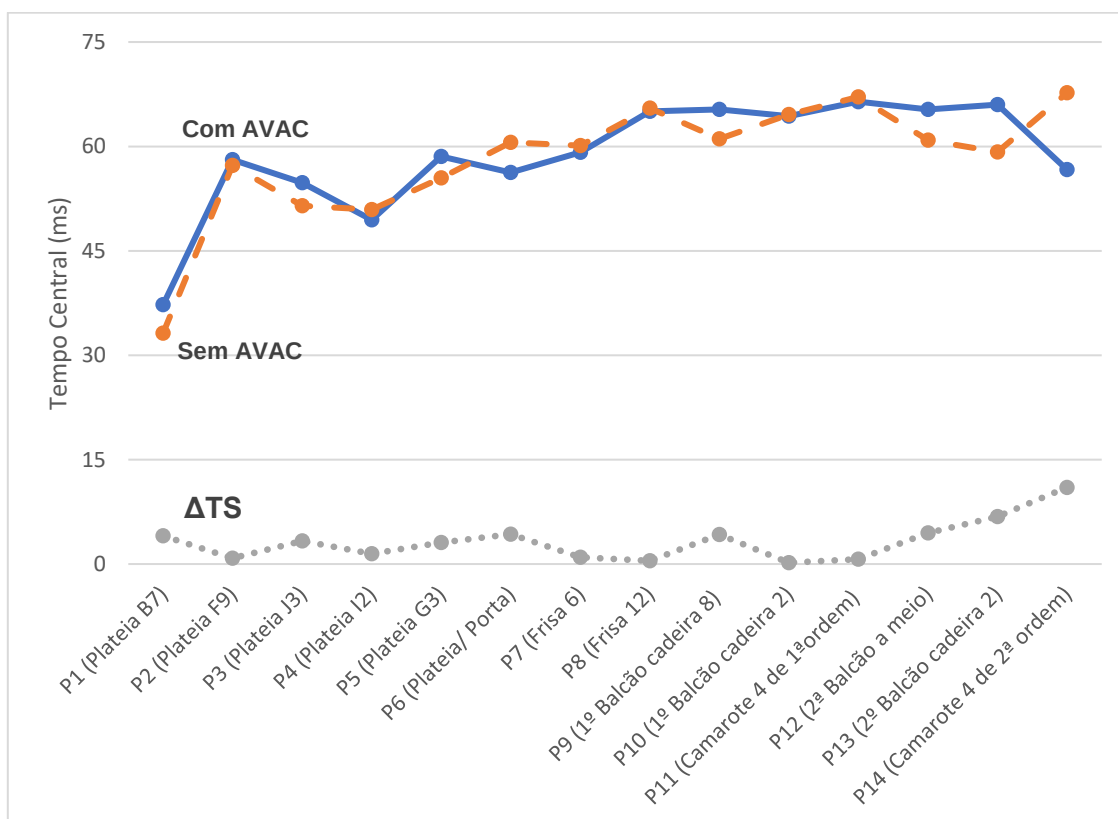


Figura 6.38 - Comparação dos valores médios do parâmetro Tempo Central (TS) [500, 1k Hz] para os quatorze pontos medidos (P1 a P14) com e sem o AVAC e a correspondente variação, no Teatro Ribeiro Conceição.

No quadro 6.26 encontram-se os valores médios do parâmetro Tempo Central (TS) para os pontos P1 a P14 com e sem o funcionamento do AVAC com variação entre esses dois resultados. Verifica-se que o funcionamento do AVAC é mais perceptível nos pontos P1, P6, P9, P12, P13 e P14 que condiciona diretamente o Tempo Central fazendo com que diminua o campo de reverberação, todavia permite um aumento na capacidade da percepção pelo ouvinte. Na figura 6.38 encontram-se representados os valores médios com e sem o funcionamento do AVAC, onde se vê resultados mais uniformes destacando-se o ponto P14, no qual sofre a maior variação.

No quadro 6.27 encontra-se a verificação dos valores recomendados do parâmetro Tempo Central médio (TS) de acordo com a função. Para música este encontra-se no intervalo de 80 a 230 ms e para a palavra nos 80 ms. Os valores do Tempo Central médio (500, 1k Hz) medidos encontram-se entre 59 ms (com AVAC) e 58 ms (sem AVAC), o que demonstra que o TS do Teatro Ribeiro Conceição se encontra dentro do intervalo ideal para a “palavra”, visto que, possuiu um som mais claro e pouco reverberante estando mais adequado para funções como o teatro e um pouco menos para alguns tipos de géneros musicais.

Quadro 6.27 - Verificação dos valores recomendados do parâmetro Tempo Central médio de acordo com a função para com e sem funcionamento do AVAC do Teatro Ribeiro Conceição [1].

Função	TS [500, 1k Hz] ideal (ms) [1]	TS [500, 1k Hz] medido (ms)		Avaliação
		Com AVAC	Sem AVAC	
Música	80 a 230	59	58	Desadequado
Palavra	< 80			Adequado

6.9. EFEITO DO AVAC

No quadro 6.28 encontram-se representados os valores dos parâmetros acústicos devido ao efeito do AVAC.

Quadro 6.28 – Efeito do funcionamento do AVAC nos parâmetros acústicos medidos no Teatro Ribeiro Conceição.

Parâmetros		Efeito do AVAC
Tempo de reverberação (s) [500, 1k Hz]		≈ 0
Claridade (C_{80}) (dB) [500, 1k Hz]		≈ 0
Definição (D_{50}) [500, 1k Hz]		≈ 0
Tempo Central (TS) (ms) [500, 1k Hz]		≈ 0
Curvas de incomodidade	NC (<i>Noise Criterion</i>)	+ 3
	NR (<i>Noise Rating</i>)	+ 2
Nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) (dB)		+ 6,1
Nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) (dB)		+ 2,3
Speech Transmission Index (STI)	máximo	- 0,10
	médio	- 0,03
	mínimo	- 0,07
Rácio de Baixos		≈ 0

De acordo com os valores obtidos no quadro 6.28 verifica-se que os valores dos parâmetros Tempo de reverberação, Claridade (C_{80}), Definição (D_{50}), Tempo Central (TS) e Rácio de baixos (BR) não sofrem qualquer efeito significativo devido ao funcionamento do AVAC, devendo-se ao facto de não ter ocorrido mudanças nas características intrínsecas do espaço.

Contudo o funcionamento do sistema de AVAC resultou em alterações de alguns parâmetros acústicos (curvas de incomodidade, níveis de pressão sonora e STI), e que as possíveis razões estão relacionadas às características do ruído gerado pelo sistema e ao comportamento acústico do ambiente. O ruído do AVAC afeta os níveis de pressão sonora (que pode influenciar o conforto auditivo), mas não interfere em alguns dos parâmetros acústicos inerentes do espaço.

O efeito do funcionamento do AVAC nas curvas de incomodidade, no nível sonoro equivalente, de acordo com os resultados obtidos, indica que o ruído gerado pelo AVAC contribui diretamente para o aumento do desconforto acústico e do nível médio de som percebido no ambiente. As curvas de incomodidade são indicadores subjetivos da percepção de desconforto causado por um determinado nível de ruído, que pode depender da frequência dominante, no qual o ruído do AVAC tende a ter maior intensidade em frequências graves, embora menos perceptíveis, quando aumentam, podendo causar desconforto.

As causas possíveis do efeito do AVAC no nível de sonora equivalente, deve-se ao facto de a prevalência de um ruído de fundo, mesmo sendo este constante adiciona energia ao ambiente, aumentando o valor médio do nível de sonora equivalente. Sendo este efeito prejudicial porque pode “mascarar” os sons desejados (como palavra ou música) e contribuir para uma sensação de aumento geral do nível de som.

Contudo o ruído adicional introduzido pelo funcionamento do AVAC no ambiente, eleva a energia sonora média (+6,1), podendo este ser percebido como um incomodo dependendo da sua intensidade, das frequências dominantes e das características acústicas do espaço.

Entretanto com o funcionamento do AVAC obteve-se valores de STI mais baixos, devendo-se ao facto de um aumento do ruído de fundo, o qual interfere na percepção da palavra.

7

COMPARAÇÃO COM OUTROS TEATROS

7.1. INTRODUÇÃO

Para enquadrar o desempenho acústico do Teatro Ribeiro Conceição, procedeu-se a uma análise comparativa com outras salas do panorama internacional e nacional. Para que a análise comparativa seja o mais coerente possível foram selecionadas salas em três grupos:

a) Salas internacionais com formato semelhante (“ferradura”):

- Theatre Royal, Bristol;
- The Arts Theatre, Cambridge;
- Wyndham`s Theatre, Londres;
- Usher Hall, Edimburgo;
- Royal Shakespeare Theatre, Stratford.

Através do parâmetro Tempo de reverberação médio (500 e 1.000 Hz) procedeu-se à análise comparativa entre as salas mencionadas e o Teatro Ribeiro Conceição.

b) Salas portuguesas com formato semelhante (“ferradura”):

Na análise comparativa para as salas nacionais utilizou-se como critério o formato em “ferradura” e dentro desse critério escolheu-se dois teatros: O Teatro Sá de Miranda localizado em Viana do Castelo [16] e o Teatro Nacional São João localizado no Porto [36]. Será efetuado uma análise comparativa recorrendo a cinco parâmetros:

- Tempo de reverberação médio (500 e 1.000 Hz);
- Claridade média (C_{80}) (500 e 1.000 Hz);
- Definição média (D_{50}) (500 e 1.000 Hz);
- *Speech Transmission Index (STI)*.

c) Salas portuguesas de outros formatos:

Para uma análise mais abrangente foram selecionadas onze salas portuguesas com formatos variados que foram anteriormente estudadas em dissertações de mestrado. No quadro 7.1, encontram-se representadas as salas de acordo com as atividades aí mais exibidas. Com esta análise pretende-se determinar comparativamente a qualidade das apresentações musicais e da comunicação verbal. Devido ao uso distinto de cada sala é impossível encontrar um valor “ideal”

dos parâmetros, tendo em conta que cada sala tem às suas próprias exigências acústicas.

Quadro 7.1 – Comparação das doze salas nacionais para diferentes atividades mais exibidas.

Salas de espetáculos	Atividades mais exibidas	Música	Palavra
Auditório da FEUP [37]	Palavra e música		X
Auditório Municipal de Vila Nova de Gaia [17]	Palavra e cinema	X	X
Casa da Cultura de Ílhavo [38]	Espetáculos, congressos, seminários, convenções, eventos corporativos e sociais, cursos, exposições e apresentações		X
Centro de Artes de Águeda [44]	Dança clássica e contemporânea, música, teatro e cinema	X	X
Cineteatro de Amarante [39]	Espetáculos	X	
Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares) [40]	Cinema, teatro, concertos e palestras	X	X
Grande Auditório do Altice Fórum Braga [41]	Conferências e seminários, espetáculos musicais, infantis, teatro, dança e <i>stand up comedy</i>	X	X
Grande Auditório do Convento S. Francisco (Coimbra) [42]	Eventos de música, teatro e entretenimento	X	X
Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga [41]	Seminários, conferências, formações e debate		X
Teatro Municipal da Covilhã [43]	Música e teatro	X	X
Teatro Municipal de Ourém [20]	Teatro, cinema e eventos corporativos	X	X
Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)	Teatro, cinema, espetáculos musicais, dança, palestras e entretenimento	X	X

Os parâmetros escolhidos para comparação dessas salas são os seguintes:

- Tempo de reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]);
- *Speech Transmission Index (STI)* ou *Rapid Speech Transmission Index (RASTI)*;
- Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}).

7.2. SALAS INTERNACIONAIS

No quadro 7.2 encontram-se os valores do Tempo de reverberação para cada sala com diferentes características volumétricas. Como perscrutado anteriormente existe uma relação entre o Tempo de reverberação e o volume de acordo com a fórmula de Sabine (equação 2.13), em que o volume aumenta e por sua vez o tempo de reverberação segue essa tendência. Ao verificar-se os dados do quadro 7.2, encontra-se uma pequena divergência entre The Arts Theatre, Cambridge (1576 m³) e o Wyndham`s Theatre, Londres (2490 m<sup>3</sup>) no qual estes obtiveram o mesmo Tempo de Reverberação médio (0,7 segundos), podendo expectar-se que o Wyndham`s Theatre, apresenta maior absorção sonora, visto que, pela fórmula de Sabine é inversamente proporcional.

Quadro 7.2 - Valores do Tempo de reverberação médio (TR) [500, 1.000 Hz], sem ocupação de cinco salas internacionais de formato “ferradura” e do Teatro Ribeiro Conceição com o seu respetivo volume e número de lugares (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [15].

Teatros	Nº de lugares	Volume (m ³)	TR (s) * [500, 1k HZ] Desocupado
Theatre Royal, Bristol	638	2170	0,8
The Arts Theatre, Cambridge	655	1576 (-)	0,7 (-)
Wyndham`s Theatre, Londres	724	2490	0,7 (-)
Usher Hall, Edimburgo	2550 (+)	16000 (+)	1,7 (+)
Royal Shakespeare Theatre, Stratford	1459	6310	1,0
Teatro Ribeiro Conceição, Lamego	417 (-)	4184	1,1

*Sem funcionamento do sistema de ventilação (AVAC).

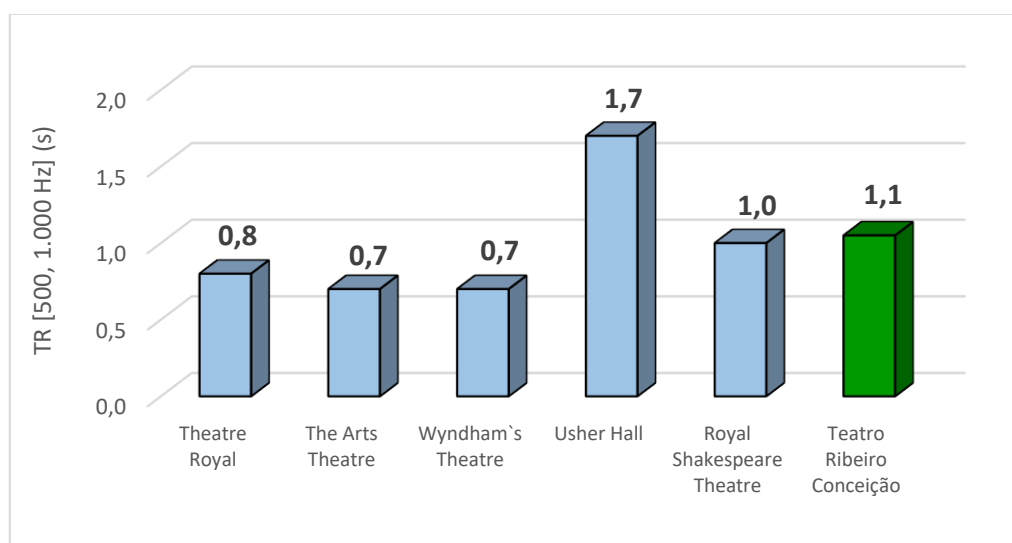


Figura 7.1 - Valores do Tempo de reverberação TR (s) [500, 1.000 Hz] desocupado, das cinco salas internacionais e do Teatro Ribeiro Conceição [15].

Ao analisar a figura 7.1, verifica-se que o Teatro Ribeiro Conceição, comparativamente com o seu volume e o número de lugares com as restantes salas, obtém um valor significativamente superior do Tempo de reverberação, sabendo *a priori* que este é proporcional ao volume.

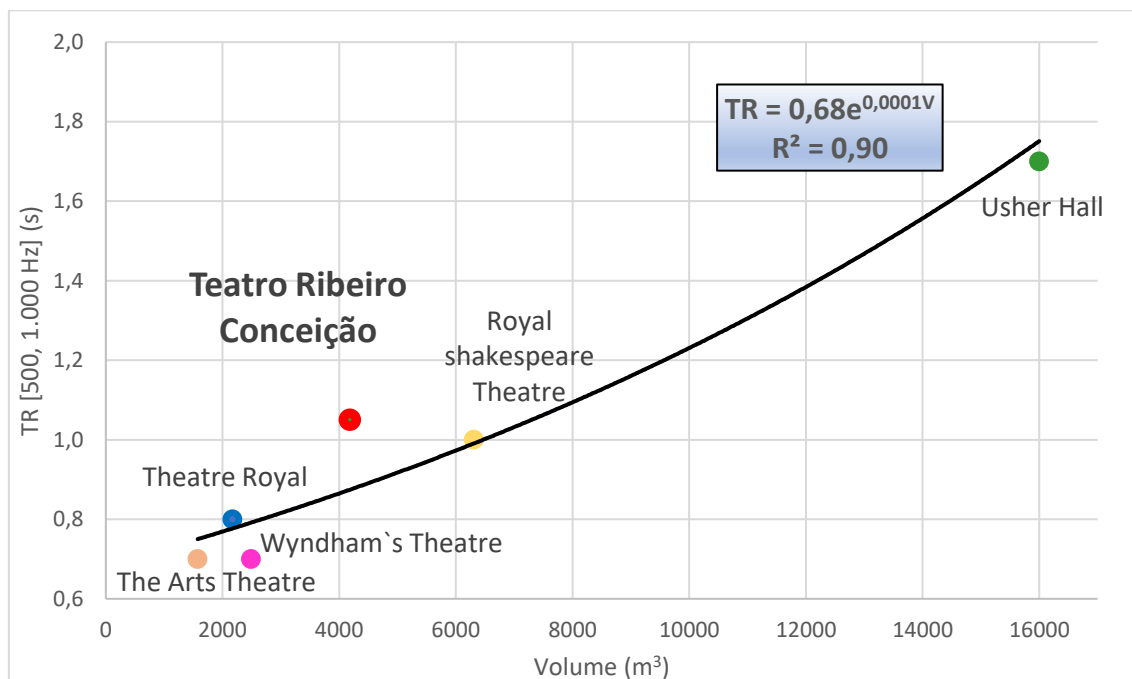


Figura 7.2 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] (s) desocupado, em função do Volume das cinco salas internacionais (tipo "ferradura" e do Teatro Ribeiro Conceição com a respetiva linha de tendência (exponencial) [15].

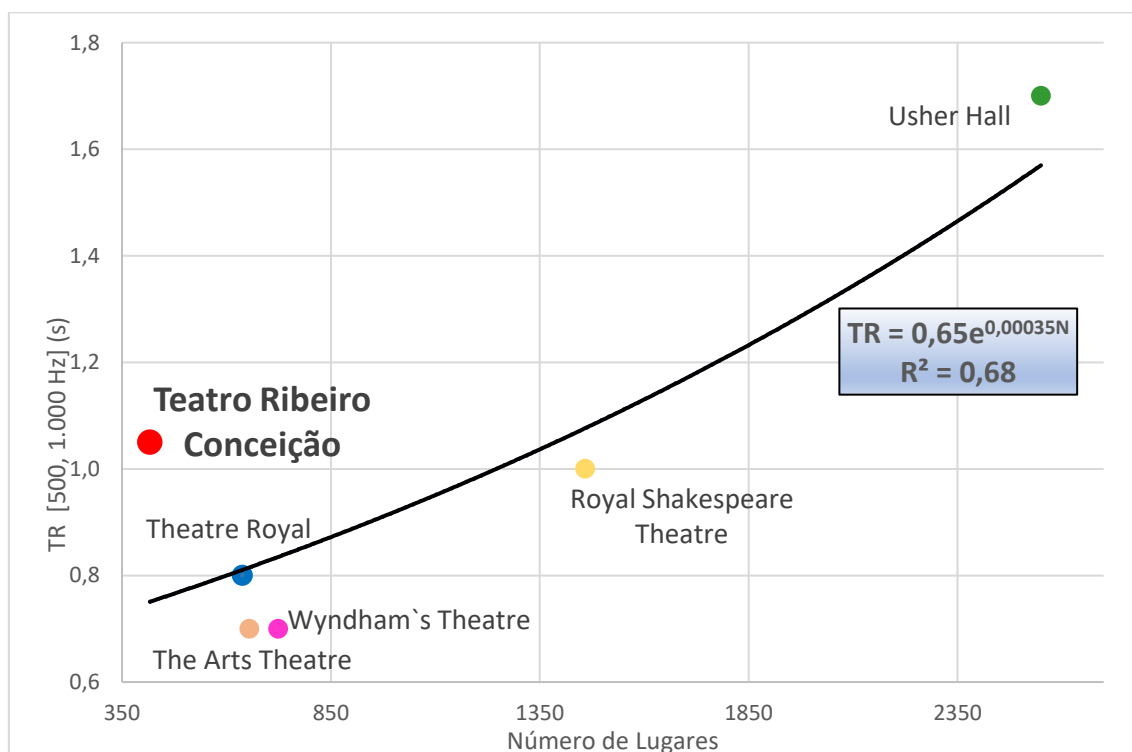


Figura 7.3 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] (s) desocupado, em função do número de lugares das cinco salas internacionais (tipo "ferraduras" e do Teatro Ribeiro Conceição com a respetiva linha de tendência (exponencial) [15].

Na figura 7.2 encontram-se representados graficamente os valores de TR médio (500, 1.000 Hz) para as salas desocupadas em função do volume com a respetiva linha de regressão (exponencial), com o valor mais próximo de R^2 . O valor de R^2 resultante foi de 0,90 um valor significativamente próximo de 1,0, determinando que o volume tende a condicionar, em 90% os valores do Tempo de reverberação.

Na análise da figura 7.3, estão representados graficamente os valores de Tempo de reverberação médio (500, 1.000 Hz) para as salas desocupadas em função do número de lugares e com a respetiva linha de regressão (exponencial). O valor de R^2 resultante foi de 0,68 um valor que se encontra um pouco distante de 1,0, determinando que o número de lugares só explica 68% da variabilidade dos valores do Tempo de reverberação, porque uma das grandes condicionantes é a absorção sonora.

7.3. SALAS NACIONAIS COM GEOMETRIA SEMELHANTE “FERRADURA”

7.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

No quadro 7.3 encontram-se os valores de Tempo de reverberação em bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz, para o Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o Teatro Ribeiro Conceição, e, na figura 7.4 está representada uma comparação gráfica desses valores. De acordo com a fórmula de Sabine, o Tempo de reverberação é proporcional ao volume, isto é, quanto maior volume maior será o Tempo de reverberação. No entanto, o Teatro Ribeiro Conceição mesmo apresentado uma volumetria maior comparativamente com o Teatro Sá Miranda, e bastante similar com o Teatro Nacional São João, o Tempo de reverberação é de 1,1 segundos, sugerindo que as componentes envolventes da sala aferem maior capacidade de absorção sonora.

Quadro 7.3 - Valores do Tempo de reverberação (salas desocupadas) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36].

Frequência (Hz)	Tempo de Reverberação (s)		
	Teatro Sá de Miranda (Viana de Castelo)	Teatro Nacional São João (Porto)	Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)
125	1,51 (+)	1,46	1,15 (-)
250	1,35 (+)	1,20	1,11 (-)
500	1,20 (+)	1,11	1,07 (-)
1000	1,21	1,22 (+)	1,03 (-)
2000	1,13 (+)	1,11	0,97 (-)
4000	0,95	1,05 (+)	0,87 (-)
TR médio (s) [500, 1k Hz]	1,21 (+)	1,17	1,05 (-)
Volume da sala (m ³)	2491 (-)	4560 (+)	4184

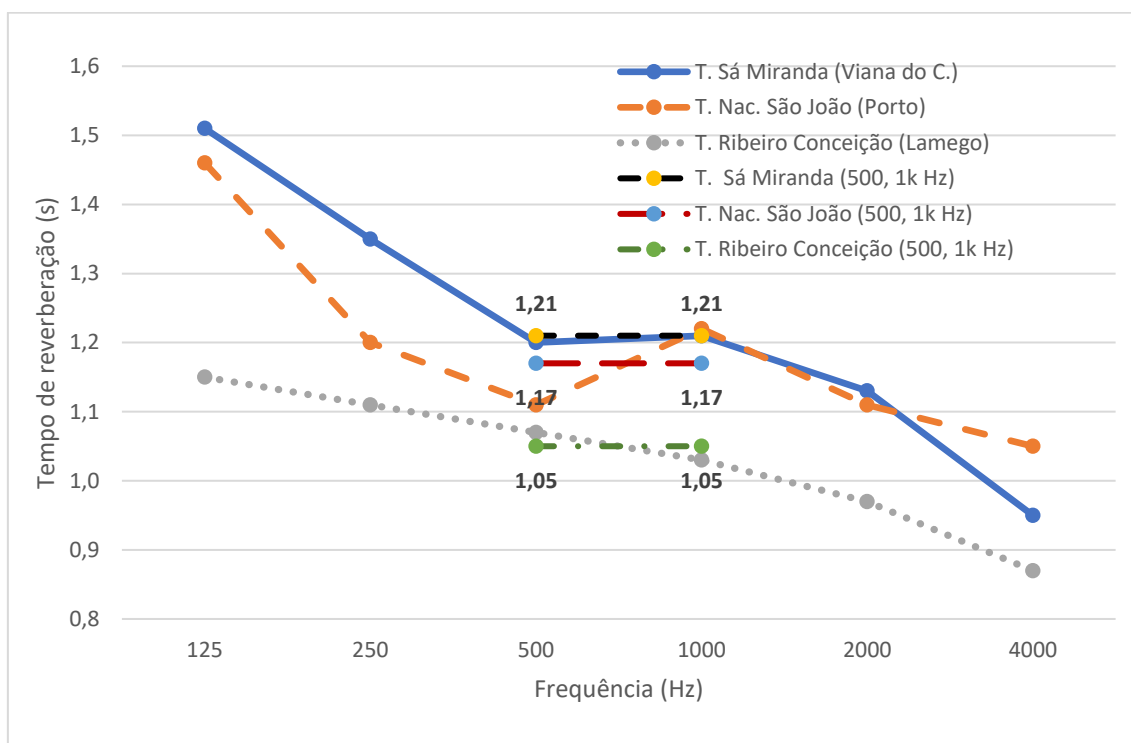


Figura 7.4 - Valores do Tempo de reverberação (salas desocupadas) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 4.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e do Teatro Ribeiro Conceição e seus respectivos valores médios [16] [36].

7.3.2. CLARIDADE (C_{80})

No quadro 7.4, estão representados os valores da Claridade média, C_{80} [500, 1.000 Hz], em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz, para o Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e do Teatro Ribeiro Conceição, e na figura 7.5 encontra-se a comparação gráfica dos valores obtidos no quadro 7.4.

Conforme analisado no capítulo 2.7.3 (quadro 2.7), verificou-se que o valor ideal de Claridade média para a função da *palavra* deve ser superior a 6 dB, enquanto que para *ópera* seria no intervalo de 1 a 4 dB. Os resultados obtidos do Teatro Sá Miranda (3,5 dB), Teatro Nacional do São João (5,1 dB) e do Teatro Ribeiro Conceição (5,6 dB), não se encontram dentro dos intervalos pretendidos, o que não se considera totalmente apropriado para as duas funções anteriormente descritas.

O valor de Claridade (C_{80}) ao contrário do Tempo de reverberação, aumenta com a frequência. E conforme indicado no quadro 7.4 os maiores valores encontram-se nas altas frequências. De entre os três teatros observados (de forma semelhante), o Teatro Sá Miranda é aquele que obtém uma energia menor nos primeiros 80 ms, considerando-se o mais adequado para *ópera*, enquanto que o Teatro Ribeiro Conceição para a *palavra*. Em contrapartida o Teatro Nacional do São João não se encontra próximo de nenhum valor ideal, o que permite classificar que não é totalmente adequado para *ópera* e podendo ser razoável para a *palavra*.

Quadro 7.4 - Valores de Claridade (C_{80}) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36].

Frequência (Hz)	Claridade (C_{80}) (dB)		
	Teatro Sá Miranda (Viana do Castelo)	Teatro Nacional São João (Porto)	Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)
125	2,0 (-)	4,2	4,7 (+)
250	3,5 (-)	4,7	6,2 (+)
500	4,1 (-)	4,9	5,4 (+)
1000	2,8 (-)	5,2	5,8 (+)
2000	4,0 (-)	6,2 (+)	5,8
4000	6,5 (-)	7,5 (+)	7,0
8000	9,8	10,5 (+)	9,5 (-)
C_{80} [500, 1k Hz]	3,5 (-)	5,1	5,6 (+)

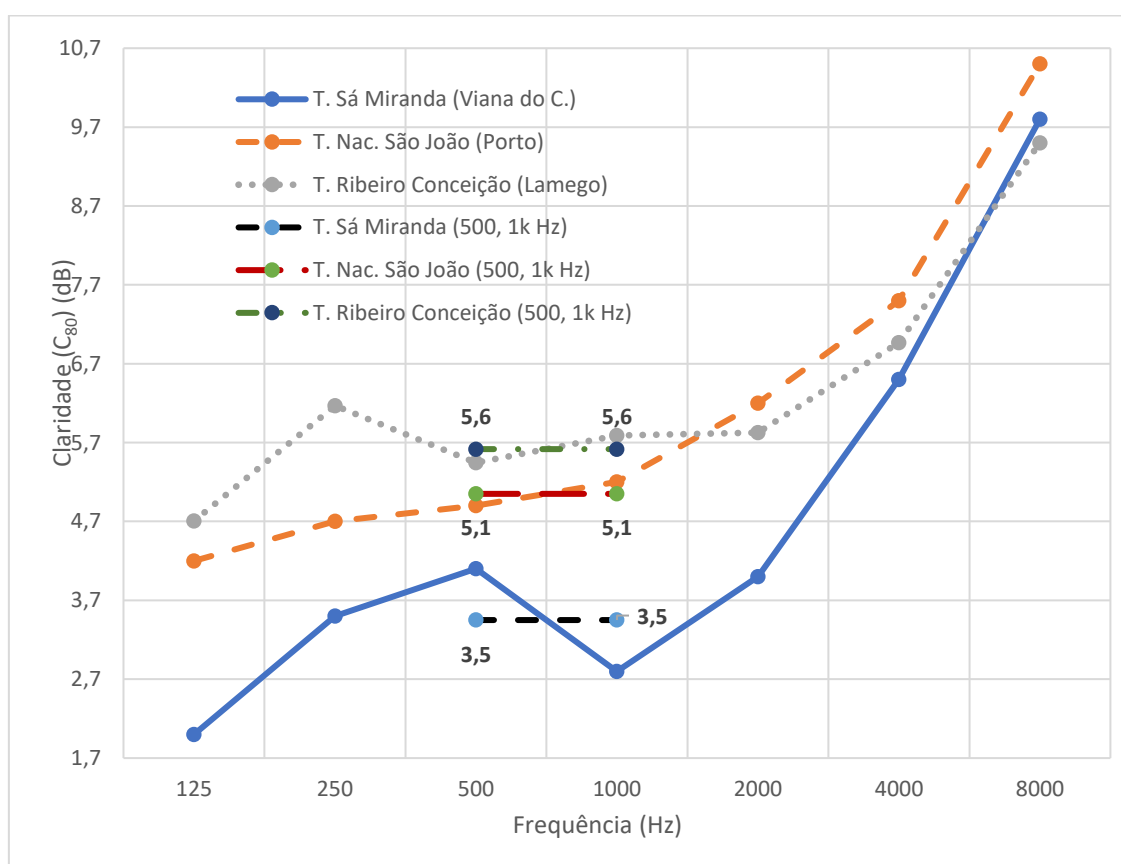


Figura 7.5 - Valores da Claridade (C_{80}) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional Do São João e Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36].

7.3.3. DEFINIÇÃO (D_{50})

No quadro 7.5 encontram-se apresentados os valores da Definição (D_{50}) em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz para o Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e para o Teatro Ribeiro Conceição, e a figura 7.6 estabelece a comparação gráfica dos valores do quadro 7.5.

Quadro 7.5 - Valores da Definição (D_{50}) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36].

Frequência (Hz)	Definição (D_{50})		
	Teatro Sá Miranda (Viana do Castelo)	Teatro Nacional São João (Porto)	Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)
125	0,48 (-)	0,51	0,60 (+)
250	0,54 (-)	0,60	0,64 (+)
500	0,56 (-)	0,59	0,64 (+)
1000	0,51 (-)	0,62	0,67 (+)
2000	0,58 (-)	0,70 (+)	0,67
4000	0,70 (-)	0,76 (+)	0,73
8000	0,82	0,83 (+)	0,81 (-)
D_{50} [500, 1k Hz]	0,54 (-)	0,61	0,66 (+)

De acordo com o capítulo 2.7.4.3, a Definição (D_{50}) é um parâmetro usado para avaliar a percepção da palavra estando limitado entre 0 e 1, onde os valores que se encontram próximos de 1 designam uma melhor percepção do discurso. A Claridade como a Definição aumenta à medida que a frequência aumenta, obtendo-se os maiores valores nas altas frequências.

Sabendo *a priori* que as frequências com relevância para analisar globalmente o parâmetro da Definição são as médias frequências (500 e 1.000 Hz) obteve-se os seguintes valores: Teatro Sá Miranda (0,54), Teatro Nacional do São João (0,61) e do Teatro Ribeiro Conceição (0,66), o que permitiu concluir-se que os valores encontram-se adequados, e aquele que apresenta melhor valor “mais adequado” é o Teatro Ribeiro Conceição.

Na generalidade pode-se concluir que todos os teatros apresentam uma Definição (D_{50}) adequada para o discurso e para a função teatral.

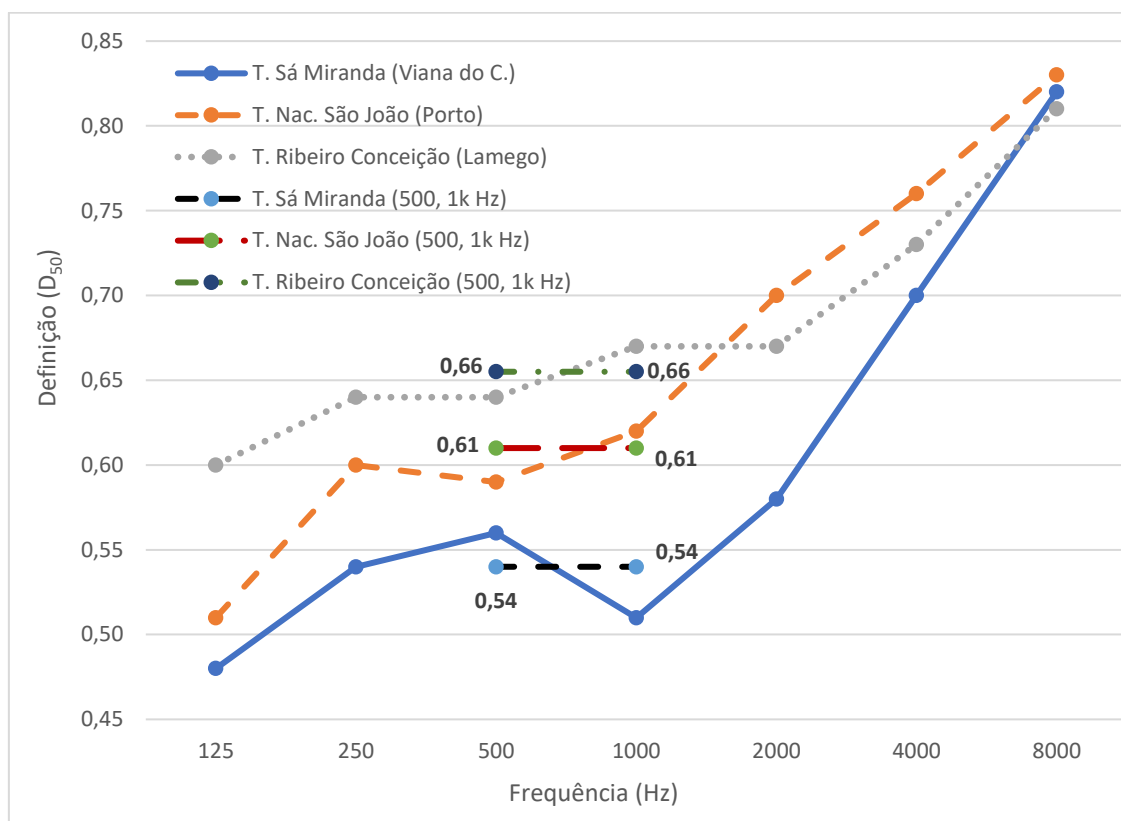


Figura 7.6 - Valores de Definição (D_{50}) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36].

7.3.4. TEMPO CENTRAL (TS)

No quadro 7.6, encontram-se representados os valores do parâmetro Tempo Central em bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz, para o Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e para o Teatro Ribeiro Conceição, e na figura 7.7 encontra-se a comparação gráfica dos valores obtidos. O Tempo Central, como o Tempo de Reverberação, diminui com a frequência, e em contrapartida obtém-se os valores mais baixos nas baixas frequências.

Este parâmetro permite perceber se o ambiente é muito reverberante, quando se obtém um valor mais alto (Teatro Sá Miranda com 73 ms é o mais reverberante), ou menos reverberante quando recebe a energia do estímulo sonoro nas primeiras reflexões (Teatro Ribeiro Conceição com 58 ms). Os três teatros demonstram resultados inferiores a 80 ms (valor ideal para função teatral), o que nos permite concluir que os três se encontram adequados para espetáculos centrados na palavra.

Quadro 7.6 - Valores do Tempo Central (TS) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36].

Frequência (Hz)	Tempo Central (TS) (ms)		
	Teatro Sá Miranda (Viana do Castelo)	Teatro Nacional São João (Porto)	Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)
125	97 (+)	84 (-)	90
250	73 (+)	69 (-)	69 (-)
500	70 (+)	62	61 (-)
1000	75 (+)	59	55 (-)
2000	63 (+)	48 (-)	51
4000	43 (+)	38 (-)	42
8000	26	24 (-)	28 (+)
TS [500, 1k Hz]	73 (+)	61	58 (-)

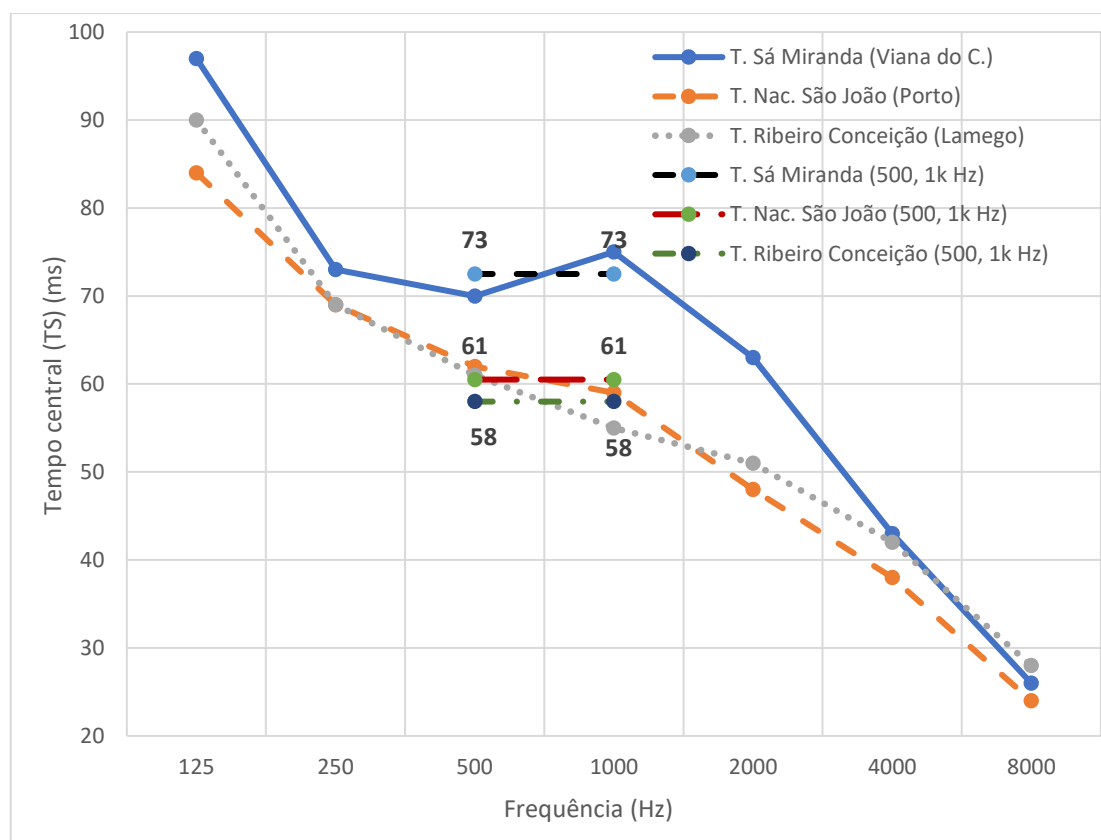


Figura 7.7 - Valores do Tempo central (TS) bandas de 1/1 oitava de 125 a 8.000 Hz do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional São João e o do Teatro Ribeiro Conceição e os respetivos valores médios [16] [36].

7.3.5. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

No quadro 7.7, e na figura 7.8, encontram-se representados os valores de *Speech Transmission Index* (STI) máximo, médio e mínimo do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e do Teatro Ribeiro Conceição.

O Teatro Sá Miranda é aquele que apresenta melhor STI máximo (0,71) comparativamente com os outros teatros (diferenças mínimas). Para os STI médios o Teatro Nacional do São João e o Teatro Ribeiro Conceição (ambos com 0,55) obtiveram melhor qualidade em termos de inteligibilidade da palavra comparativamente com o Teatro Sá Miranda, no qual vai perdendo qualidade de inteligibilidade no STI mínimo.

É importante evidenciar que as três salas proporcionam um STI máximo qualificado como “bom” e um STI mínimo “razoável”. Através dos valores STI médios conclui-se que são bastante similares e que no caso do Teatro Nacional do São João e o Teatro Ribeiro Conceição obtiveram o valor idêntico de 0,55 e o Teatro Sá Miranda com uma pequena diferença de 0,02. Tal como observado na Definição, ambos os teatros obtiveram valores médios “adequados” para a palavra, refletindo-se mais uma vez que os três teatros proporcionam boas características acústicas para espetáculos teatrais.

Após a comparação destes parâmetros conclui-se que os três teatros obtiveram valores bastante similares, o que no modo geral, é um resultado bastante mais satisfatório para a qualidade da *palavra* do que comparativamente para a *música*.

Quadro 7.7 - Valores do *Speech Transmission Index* (STI) máximo, médio e mínimo do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e o do Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna) [16] [36].

Frequência (Hz)	Speech Transmission Index (STI)		
	Teatro Sá Miranda (Viana do Castelo)	Teatro Nacional São João (Porto)	Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)
STI máximo	0,71 (+)	0,66 (-)	0,70
STI mínimo	0,46 (-)	0,52 (+)	0,51
STI médio	0,53 (-)	0,55 (+)	0,55 (+)
Amplitude (Máx. /Min.)	0,25 (Máx.)	0,14 (Min.)	0,19

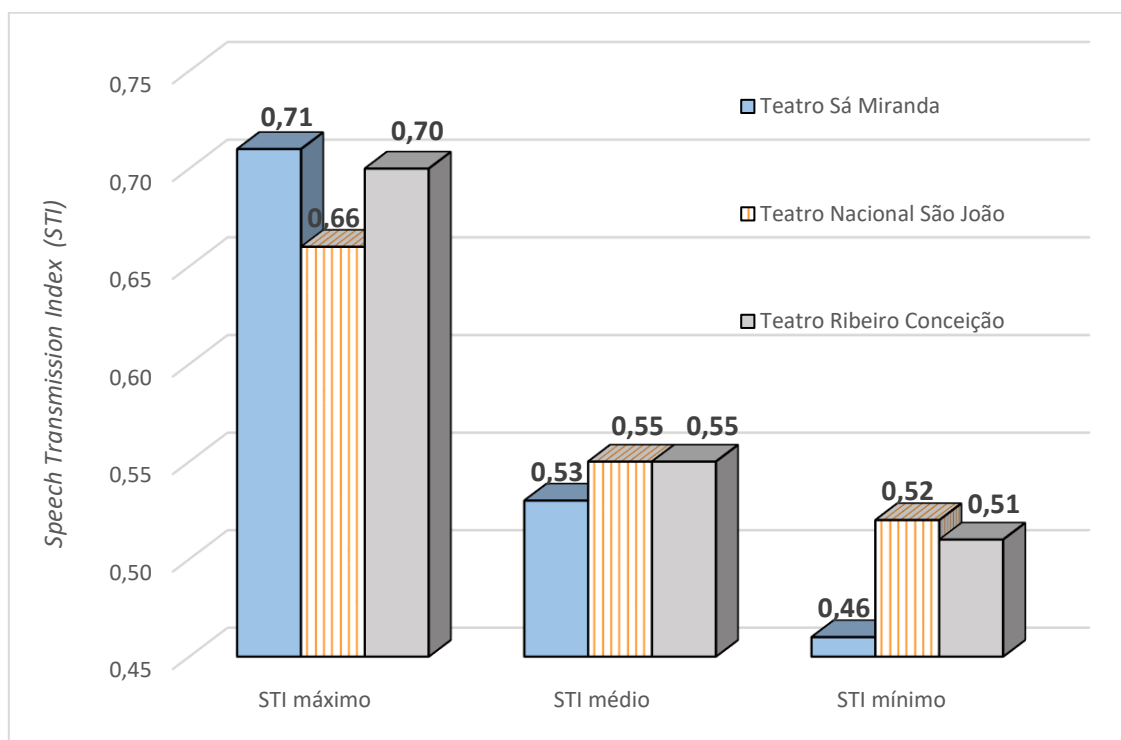


Figura 7.8 - Valores do *Speech Transmission Index* (STI) máximo, médio e mínimo do Teatro Sá Miranda, Teatro Nacional do São João e o do Teatro Ribeiro Conceição [16] [36].

7.4. SALAS NACIONAIS DE DIFERENTES DISPOSIÇÕES

7.4.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

No quadro 7.8, encontram-se as doze salas selecionadas com os seus respetivos valores do volume, número de lugares e Tempo de reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]) sem o funcionamento do AVAC. Nas figuras 7.9 e 7.10, recorreu-se a uma análise gráfica utilizando os valores do quadro 7.8.

Numa análise genérica, o Teatro Ribeiro Conceição evidencia-se por ser um teatro com um volume considerável (4184 m³) estando entre as cinco salas com o maior volume. Enquanto que em relação ao número de assentos é a sexta sala com maior capacidade de ocupação. Entretanto no Tempo de reverberação médio, encontra-se em quinto lugar com o valor de 1,05 segundos, um pouco abaixo da média geral.

De acordo com a figura 7.9, o Tempo de reverberação médio em função do volume forma uma linha de tendência logarítmica com um R^2 de 0,25, sendo este um valor bastante afastado de 1,0, permitindo-se concluir que apenas 25% da variação no Tempo de reverberação pode ser explicada pela variação do volume da sala utilizando a linha de tendência logarítmica. Os outros 75% da variação são causados por outros fatores não capturados por essa linha de tendência.

Quadro 7.8 - Valores do Volume, Número de lugares e TR médio (500, 1.000 Hz) sem AVAC, das doze salas nacionais compreendendo o Teatro Ribeiro Conceição (+, - : maior e menor valor em cada coluna).

Salas	Volume (m³)	Nº de lugares	TR [500, 1k Hz] (s)
Auditório da FEUP [37]	3317	500	1,50 (+)
Auditório Municipal de V. N. de Gaia [17]	3219	330	0,80
Casa da Cultura de Ílhavo [38]	3779	491	1,00
Centro de Artes de Águeda [44]	5066	398	0,80
Cineteatro de Amarante [39]	2700	386	1,20
Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares) [40]	2111	386	1,00
Grande Auditório do Altice Fórum Braga [41]	9150	998	1,00
Grande Auditório do Convento S. Francisco (Coimbra) [42]	12000 (+)	1093 (+)	1,50 (+)
Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga [41]	1320 (-)	254 (-)	0,50 (-)
Teatro Municipal da Covilhã [43]	4258	600	1,40
Teatro Municipal de Ourém [20]	3915	441	1,00
Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)	4184	417	1,05
Média	4585	525	1,06

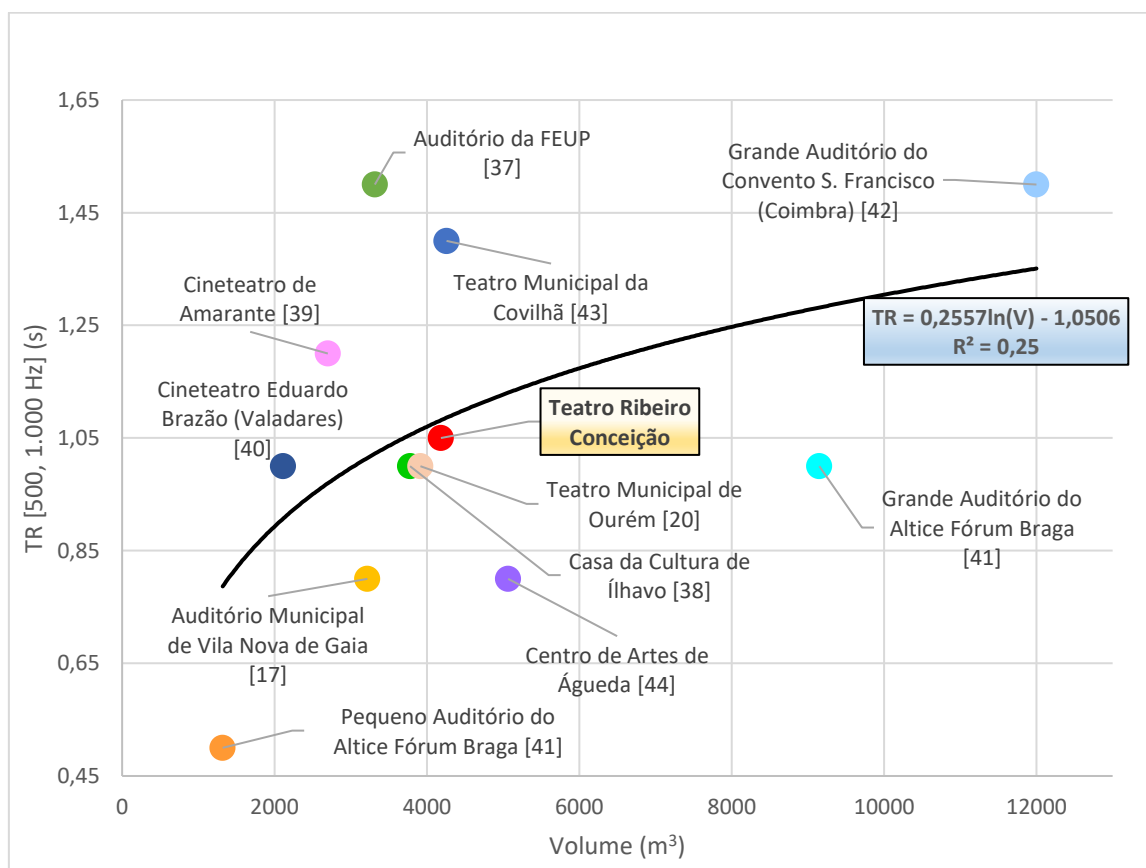


Figura 7.9 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] em função do Volume das onze salas nacionais e do Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (logarítmica).

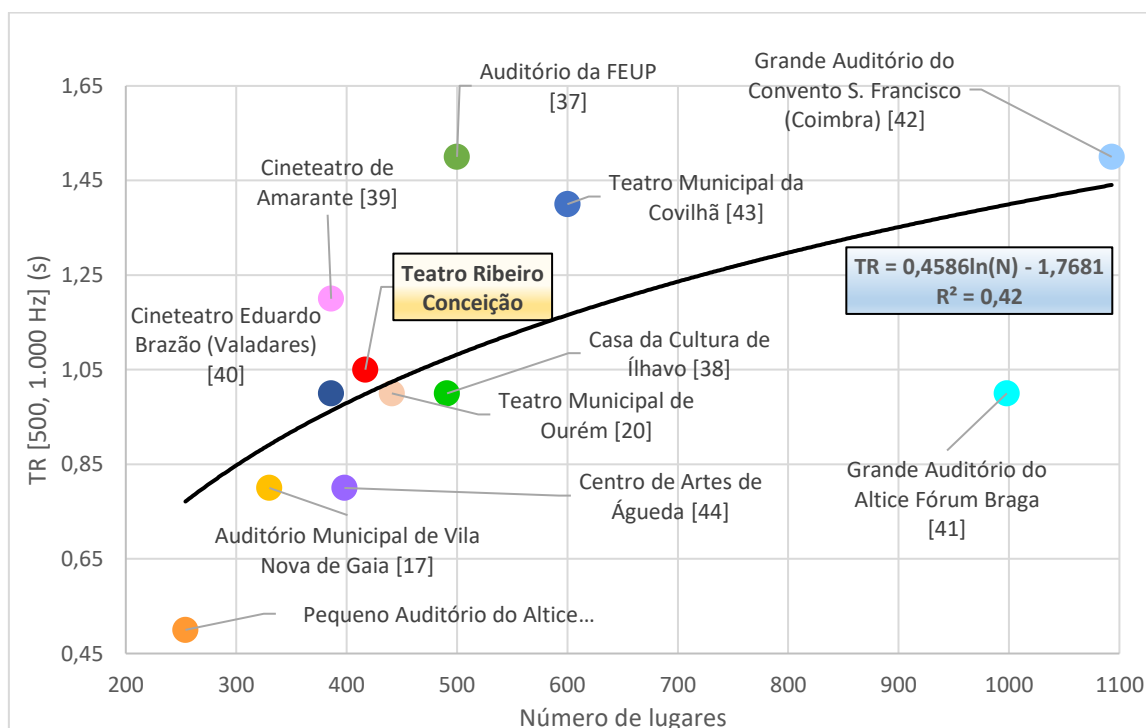


Figura 7.10 - Valores do parâmetro TR [500, 1.000 Hz] em função do número de lugares das onze salas nacionais e do Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (logarítmica).

Conforme analisado na figura 7.9 existem salas que mesmo tendo volumes consideravelmente grandes, apresentam Tempo de reverberação baixos, como por exemplo o Grande Auditório do Altice Fórum Braga (com 9150 m³), deduzindo-se assim que o valor de Tempo de reverberação (1,0 segundos) ser tão baixo deve-se ao facto de existir alto valor de absorção sonora que se encontra implantadas na sala de espetáculos. Contudo na análise da figura 7.9, as salas que se encontram mais afastadas da linha de regressão apresentam maiores valores de absorção sonora, permitindo concluir-se que possivelmente existiu alguma intervenção acústica. Em contrapartida, as salas mais próximas da linha de regressão obtiveram uma menor absorção.

Na figura 7.10, o Tempo de reverberação encontra-se em função do número de lugares das salas, em que expõe uma regressão logarítmica com um R² de 0,42. O valor indica uma fraca relação do Tempo de reverberação com o número de lugares com apenas uma dependência de 42%. Este gráfico segue a mesma lógica do anterior (Fig. 7.9) em que quanto maior é o número de lugares (maior o volume do espaço), consequentemente o Tempo de reverberação aumenta, obtendo-se uma linha de regressão crescente em que o aumento do número de lugares influencia diretamente no aumento do Tempo de reverberação, mesmo sendo esta uma dependência de 42% (valor baixo).

No quadro 7.9, encontra-se outra forma de comparação entre as salas, no qual se encontram intervalos ideais para cada função. Para as funções como ópera wagneriana, música de órgão e música sinfónica romântica e clássica, não se obteve nenhum intervalo de concordância ideal do Tempo de reverberação médio. Porém para funções como ópera (não wagneriana), música sinfónica (Barroco) e música de câmara, obtiveram-se três salas que se adequaram bem a esse intervalo, sendo elas, o Auditório da FEUP, Grande Auditório do Convento S. Francisco e o Teatro Municipal da Covilhã

Para funções como Auditório (palavra), apenas o Auditório Municipal de Vila Nova de Gaia, o Centro de Artes de Águeda e o Grande Auditório do Altice Fórum Braga obtiveram valores dentro deste intervalo. Em contrapartida para funções como Teatro e Cinema, obtiveram-se seis salas que se encontram compreendidas nesse intervalo, sendo elas: Auditório Municipal de Vila Nova de Gaia, Casa da Cultura de Ílhavo (Ílhavo), Centro de Artes de Águeda (Águeda), Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares), Grande Auditório do Altice Fórum Braga, e Teatro Municipal de Ourém (Ourém). De acordo com análises anteriores, o Teatro Ribeiro Conceição não se encontra compreendido em nenhum desses intervalos considerados ideais, tal como o Cineteatro de Amarante e o Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga.

Com este estudo verifica-se que poucas das salas se encontram dentro dos valores totalmente ideais para as funções para as quais são mais utilizadas. Todavia um dos casos que mais se destaca negativamente é o auditório da FEUP, que supostamente tem como função primordial o uso da palavra, e consequentemente não se encontra no intervalo ideal (avaliação sem uso de reforço electracústico). Estando o auditório da FEUP compreendido no intervalo de música sinfónica, conclui-se que é um espaço bastante reverberante, o que afeta diretamente a inteligibilidade da palavra.

Quadro 7.9 - Verificação dos valores ideais do parâmetro Tempo de Reverberação médio [500, 1.000 Hz] de acordo com vários tipos de função de doze salas nacionais [37] [17] [38] [44] [39] [40] [41] [42] [43] [20] [1].

Função	TR [500, 1k Hz] (s)	Salas adequadas
Auditório (Palavra)	0,7 – 0,8	Auditório Municipal de V. N. de Gaia e Centro de Artes de Águeda.
Teatro	0,7 – 0,9	Auditório Municipal de V. N. de Gaia, Centro de Artes de Águeda.
Cinema	0,8 – 1,0	Auditório Municipal de V. N. de Gaia, Casa da Cultura de Ílhavo, Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares), Grande Auditório do Altice Fórum Braga, Teatro Municipal de Ourém e Teatro Ribeiro Conceição .
Ópera (não wagneriana)	1,3 – 1,7	Grande Auditório do Convento S. Francisco (Coimbra); Auditório da FEUP e Teatro Municipal da Covilhã.
Ópera (wagner)	1,8 – 1,9	-
Música sinfónica Barroca	1,4 – 1,6	Auditório da FEUP, Grande Auditório do Convento S. Francisco e Teatro Municipal da Covilhã.
Música sinfónica Clássica	1,6 – 1,8	-
Música sinfónica Romântica	1,9 – 2,2	-
Música sinfónica Moderna	1,4 – 1,9	Auditório da FEUP, Grande Auditório do Convento S. Francisco e Teatro Municipal da Covilhã.
Música popular	0,8 – 1,0	Auditório Municipal de V. N. de Gaia, Casa da Cultura de Ílhavo, Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares), Grande Auditório do Altice Fórum Braga, Teatro Municipal de Ourém e Teatro Ribeiro Conceição .
Música de órgão	2,5 – 3,5	-
Coros gregorianos	3 – 4	-

7.4.2. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

No quadro 7.10 encontram-se representados os valores do volume, número de lugares, STI (médio e mínimo) e o nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com e sem AVAC, de doze salas que serviram de base comparativa para as figuras 7.11, 7.12, 7.13, 7.14 e 7.15. Analisando o quadro 7.10, verifica-se que o Teatro Ribeiro Conceição obteve o menor valor de STI médio (0,55) e STI mínimo (0,51). No que resulta numa menor clareza na inteligibilidade da palavra. Este registou um nível sonoro do ruído de fundo sem AVAC de 25 dB(A) estando felizmente muito afastado do obtido no Cineteatro Eduardo Brazão com 32 dB(A).

Na generalidade ao analisar o indicador de inteligibilidade da palavra (STI), verificou-se que as doze salas não obtiveram valores “desadequados” de STI médio,

possibilitando, na prática, um efeito positivo para as funções que precisam da inteligibilidade da palavra. O Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga, foi aquele que obteve o maior STI médio, pois tendo um volume pequeno e um baixo Tempo de reverberação consegue oferecer um bom nível de inteligibilidade da palavra, visto que, predominam nesse ambiente as primeiras reflexões. Em contrapartida o que obteve menor valor de STI médio foi o Teatro Ribeiro Conceição, o que comparativamente com as outras salas já só oferece um *suficiente* nível de inteligibilidade da palavra.

Quadro 7.10 - Valores do Volume, Número de lugares, RASTI ou STI (médio e mínimo) e Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC para as doze salas nacionais incluindo o Teatro Ribeiro Conceição (+, -: maior e menor valor em cada coluna).

Salas	Volume (m ³)	Nº de lugares	STI médio	STI mínimo	L _{Aeq} (dB)	
					Sem AVAC	Com AVAC
Auditório da FEUP [37] #	3317	500	0,61	0,57	27	46
Auditório Municipal de Gaia [17] #	3219	330	0,68	0,63	24	47 (+)
Casa da Cultura de Ílhavo [38] #	3779	491	0,68	0,63	28	39
Centro de Artes de Águeda [44] #	5066	398	0,67	0,61	26	31 (-)
Cineteatro de Amarante [39] #	2700	386	0,62	0,56	23 (-)	34
Cineteatro Eduardo Brazão (Valadares) [40] #	2111	386	0,60	0,55	32 (+)	37
Grande Auditório do Altice Fórum Braga [41] #	9150	998	0,67	0,60	24	34
Grande Auditório do Convento S. Francisco (Coimbra) [42] #	12000 (+)	1093 (+)	0,61	0,56	27	30
Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga [41] #	1320 (-)	254 (-)	0,80 (+)	0,75 (+)	25	31
Teatro Municipal da Covilhã [43] #	4258	600	0,64	0,59	24	41
Teatro Municipal de Ourém [20] #	3915	441	0,69	0,62	24	35
Teatro Ribeiro Conceição (Lamego)	4184	417	0,55 (-)	0,51 (-)	25	31 (-)

- Sala na qual foi utilizado RASTI

Quando analisados os STI mínimos das doze salas, verifica-se que o Teatro Ribeiro Conceição continua a ser a sala com o menor valor (0,51), mas ainda oferecendo um nível de inteligibilidade da palavra *suficiente*. Em contrapartida o Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga obteve um valor máximo de 0,75, com um nível de inteligibilidade da palavra *excelente*. Concluiu-se que um menor Tempo de reverberação geralmente melhora o STI, visto que reduz as reflexões e mantém a fala clara, ideal para auditórios pequenos e locais de comunicação oral intensa.

Na figura 7.11, encontram-se representados os valores de RASTI ou STI médio em função do Tempo de reverberação médio, acompanhado por uma linha de regressão (em potência) para as doze salas nacionais. Nesta correspondência obteve-se um R^2 de 0,53. O que sugere que, 53% da variação no STI médio é explicada pelo Tempo de reverberação através da relação de potência, enquanto que os outros 47% da variação no STI são atribuídos a outros fatores, como:

- Ruído ambiente: pode interferir no STI, mesmo em ambientes com o mesmo Tempo de reverberação;
- Geometria do ambiente: diferenças na distribuição de reflexões sonoras;
- Frequências dominantes: o RASTI e STI são influenciados por diferentes bandas de frequência, enquanto o Tempo de reverberação é um parâmetro mais global, porque representa o comportamento acústico médio de um ambiente, não detalha a influência de cada banda de frequência na fala ou no som compreendido. Em contraste, o RASTI e STI são um índice mais específico e percetual, sensível às bandas de frequência que impactam a inteligibilidade da fala e como elas interagem com fatores como Ruído e Reverberação.

A conexão dos dois parâmetros considera-se moderada, visto que o Tempo de reverberação fornece um resumo amplo da reverberação em uma sala, sendo aplicável de maneira generalizada para caracterizar ambientes, mas não é focado exclusivamente em como a fala ou outros sinais específicos se comportam. Concluindo-se que Tempo de reverberação médio é um parâmetro importante, mas não suficiente para prever com alta precisão o STI em diferentes ambientes.

A figura 7.12, encontra-se representados os valores de STI mínimo em função do Tempo de reverberação médio, com a respetiva linha de regressão (em potência) para as doze salas nacionais. Nesta relação obteve-se um R^2 de 0,55, permitindo concluir-se que a correlação entre os STI mínimos e o Tempo de reverberação médio é significativamente melhor do que com a análise efetuada com os STI médios. Contudo a ligação destes dois parâmetros continua a ser pouco significativa, visto que o Tempo de reverberação é aplicável numa maneira mais abrangente para caraterizar ambientes e não a inteligibilidade da palavra. E nesta observação, verifica-se que 55% da variação do STI mínimo é esclarecido pelo Tempo de reverberação médio através da relação da potência e que os restantes 45% da variação do STI mínimos serão atribuídos a outros fatores anteriormente descritos.

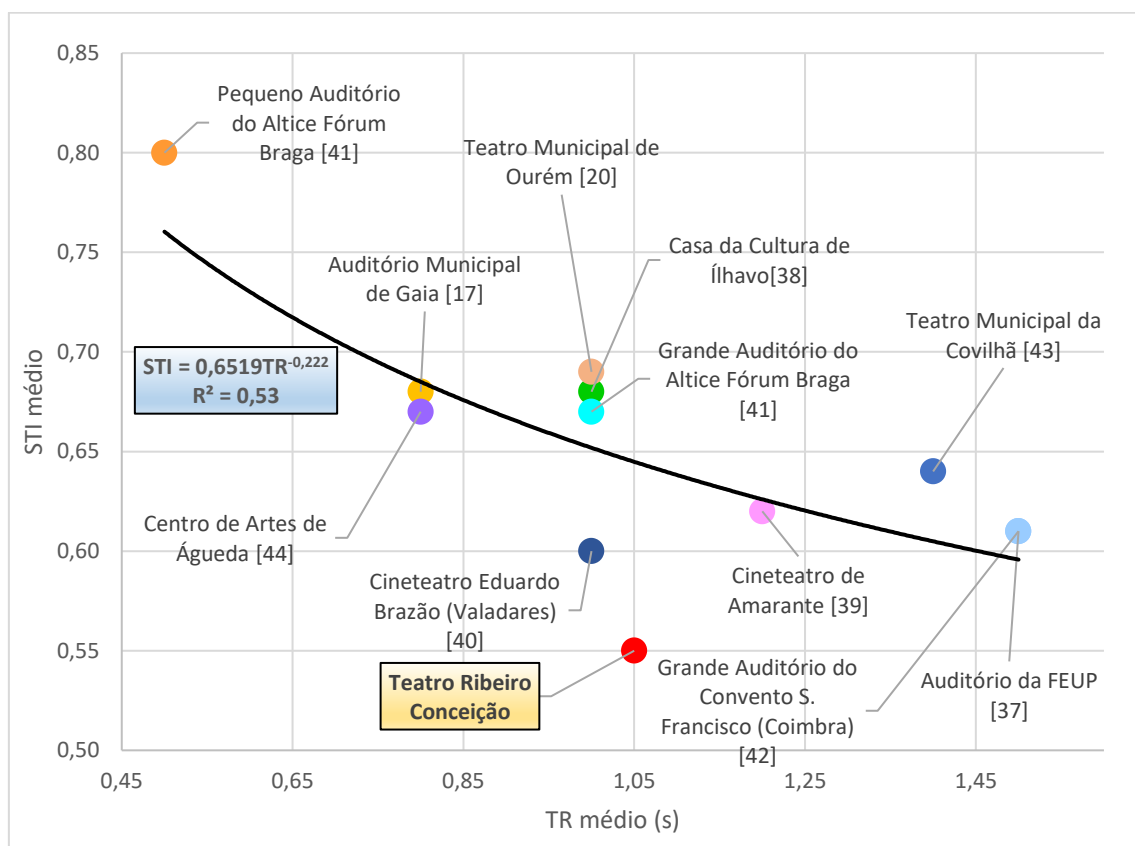


Figura 7.11 - Valores do parâmetro RASTI ou STI médio em função do Tempo de reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]) das doze salas nacionais incluindo, Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (potência).

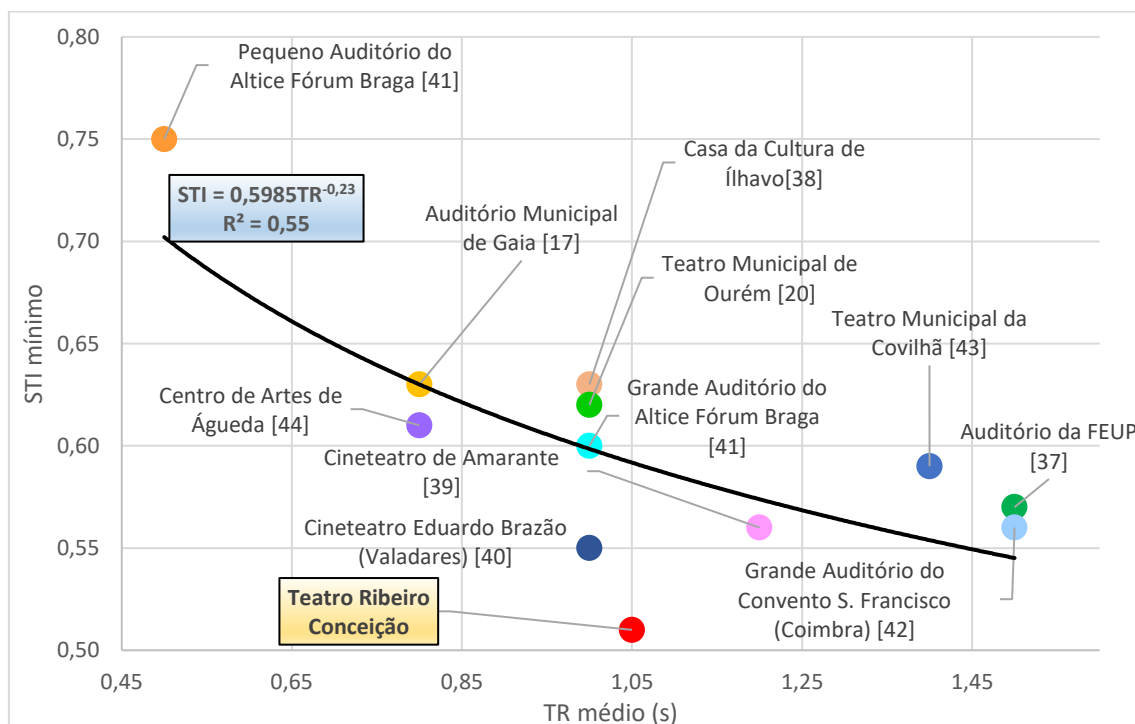


Figura 7.12 - Valores do parâmetro RASTI ou STI mínimo em função do Tempo de Reverberação médio (TR [500, 1.000 Hz]) das doze salas nacionais incluindo, Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (potência).

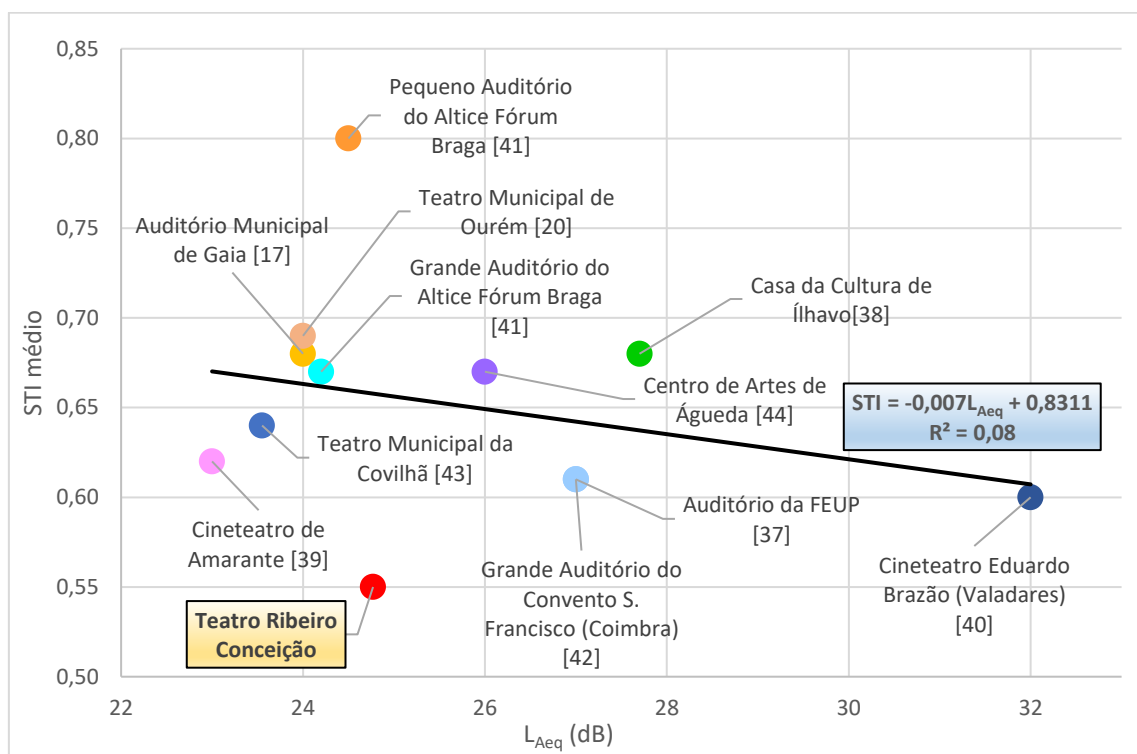


Figura 7.13 - Valores do parâmetro RASTI ou STI médio em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

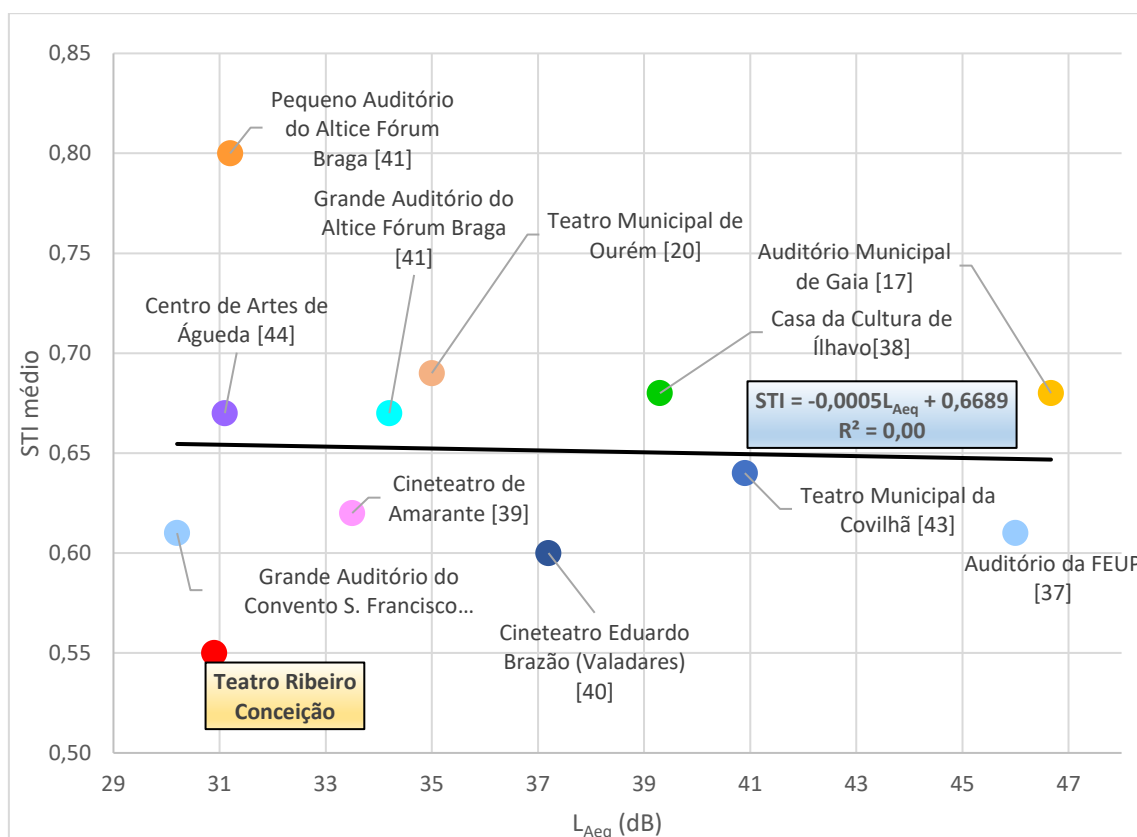


Figura 7.14 - Valores do parâmetro RASTI ou STI médio em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

Nas figuras 7.13 e 7.14, encontram-se representadas as comparações gráficas dos valores RASTI ou STI médio em função do L_{Aeq} (nível sonoro equivalente de ruído de fundo sem e com AVAC), com as respetivas linhas de regressão linear para as doze salas nacionais. Neste caso sucede que o nível sonoro equivalente do ruído de fundo interfere significativamente no STI médio, mas a força dessa interferência depende da relação ruído e de outras condições acústicas do ambiente. Com um R^2 de 0,08 sem AVAC e 0,00 com AVAC, conclui-se que o ruído de fundo não explica as variações no STI médio, e outros fatores além do ruído de fundo (como reverberação ou características da fonte sonora) desempenham papéis mais importantes, tais como:

- O nível sonoro equivalente de ruído de fundo quando elevado, reduz a inteligibilidade da palavra, dificultando a distinção entre os sons da fala e o ruído. Isso diminui o STI;
- Frequência do Ruído, acontece quando ruídos coincidem com as frequências da fala (geralmente entre 500 e 4 k Hz) têm um impacto mais significativo no STI.
- Reverberação e Combinação com Ruído, ocorre quando o ruído de fundo é combinado com alta reverberação, o impacto no STI é ainda maior, pois o som refletido soma-se ao ruído, tornando a fala mais difícil de compreender.

Ou seja, neste caso o nível sonoro equivalente de ruído de fundo não parece ser um fator relevante do índice de transmissão da palavra, sendo esta influenciada por outros fatores.

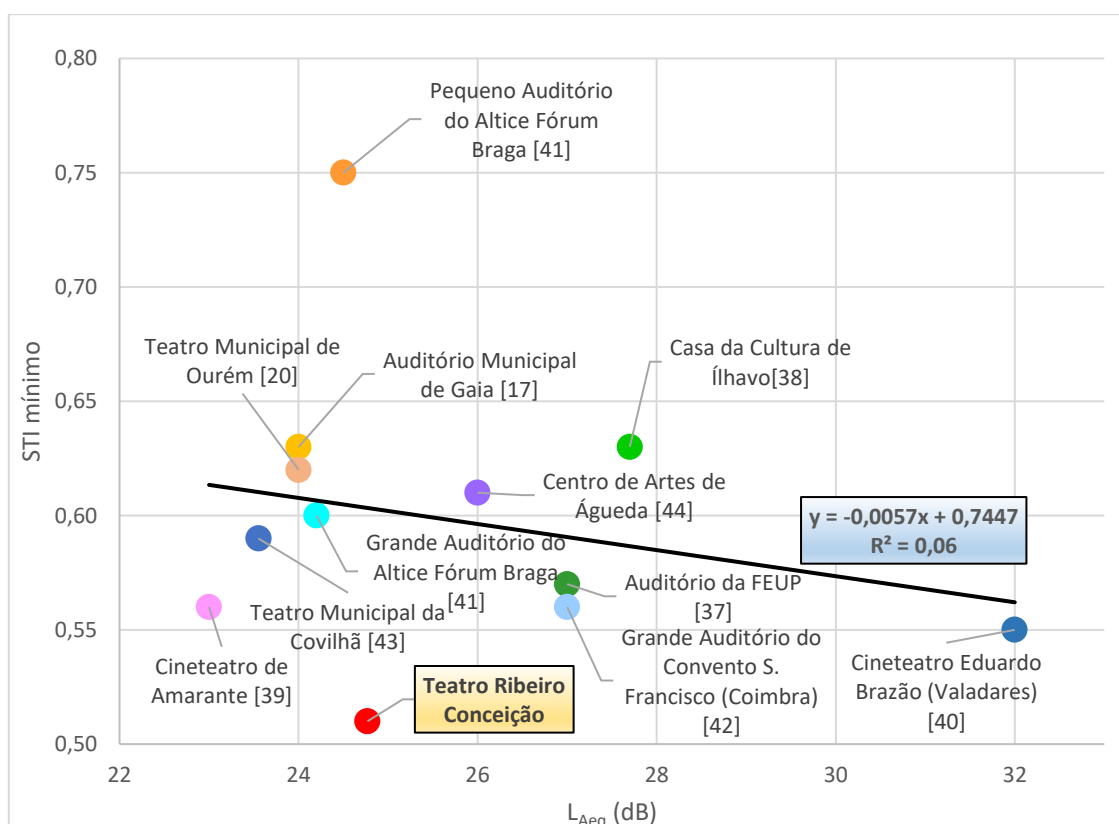


Figura 7.15 - Valores do parâmetro RASTI ou STI mínimo em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

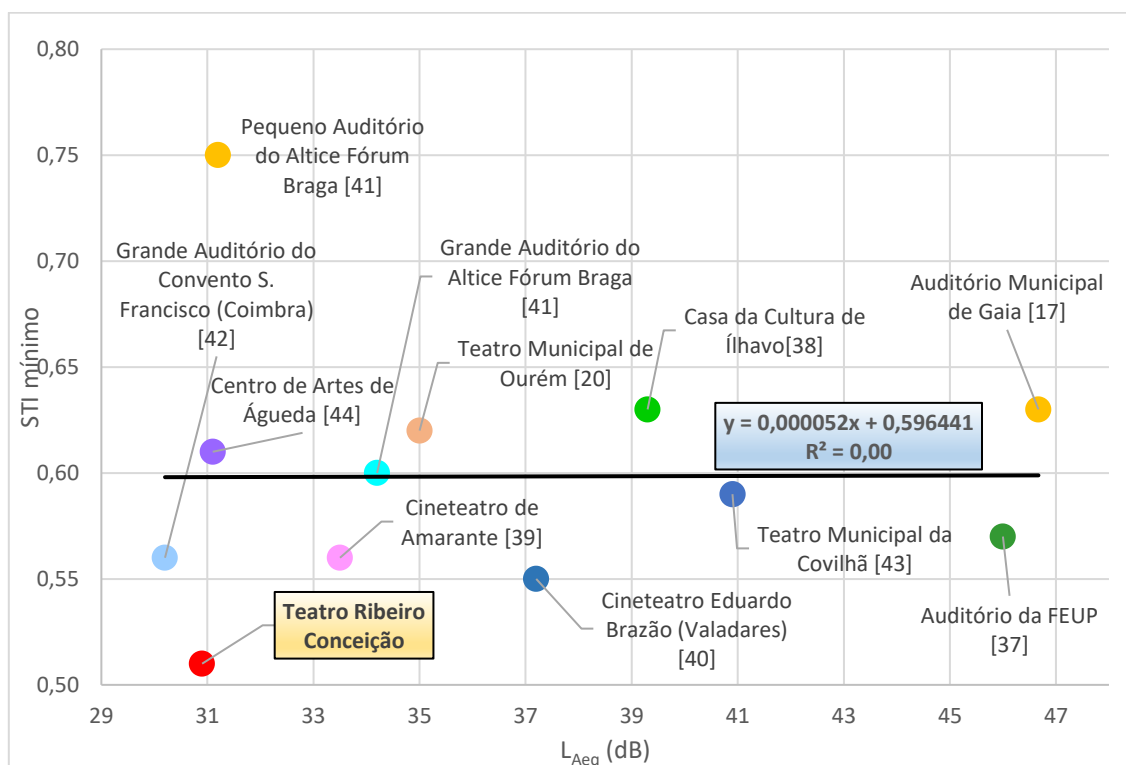


Figura 7.16 - Valores do parâmetro RASTI ou STI mínimo em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC de doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

Nas figuras 7.15 e 7.16, estão apresentados os valores do STI mínimo em função do L_{Aeq} (nível sonoro equivalente de ruído de fundo sem e com AVAC), com as respetivas linhas de regressão linear para as doze salas nacionais. Com um R^2 de 0,06 sem AVAC e 0,00 com AVAC, sugerindo que em valores médios apenas 6% e 0% da variação no STI pode ser explicada pelo nível sonoro equivalente do ruído de fundo. Significando que a relação entre estas variáveis é em média nula, e que dependem de fatores além do nível sonoro equivalente do ruído de fundo, como anteriormente descritos na análise das figuras 7.13 e 7.14.

Nas figuras 7.17 e 7.18, encontra-se representada a comparação gráfica dos valores Tempo de reverberação médio em função do L_{Aeq} (nível sonoro equivalente de ruído de fundo sem e com AVAC), com uma linha de regressão linear para as doze salas nacionais. Nesta análise gráfica verifica-se que a relação entre o L_{Aeq} (nível sonoro equivalente de ruído de fundo) em função do Tempo de reverberação é inexistente, visto que, se obteve um R^2 de 0,01 (sem AVAC) e de 0,05 (com AVAC), sugerindo que praticamente não há relação linear significativa entre essas variáveis. Isso faz sentido, já que o Tempo de reverberação é determinado principalmente pelas propriedades físicas e acústicas do ambiente (materiais, volume, absorção sonora, etc.), enquanto que o nível sonoro equivalente de ruído de fundo é geralmente influenciado por fontes externas ou atividades no local. Se o ruído de fundo for predominante externo ou não relacionado à acústica do espaço interno, a relação com o Tempo de reverberação será nula ou muito fraca, com tudo em um ambiente com alta reverberação, o nível sonoro equivalente pode ser controlado por outras medidas (por exemplo, isolamento sonoro), o que dissocia os dois parâmetros.

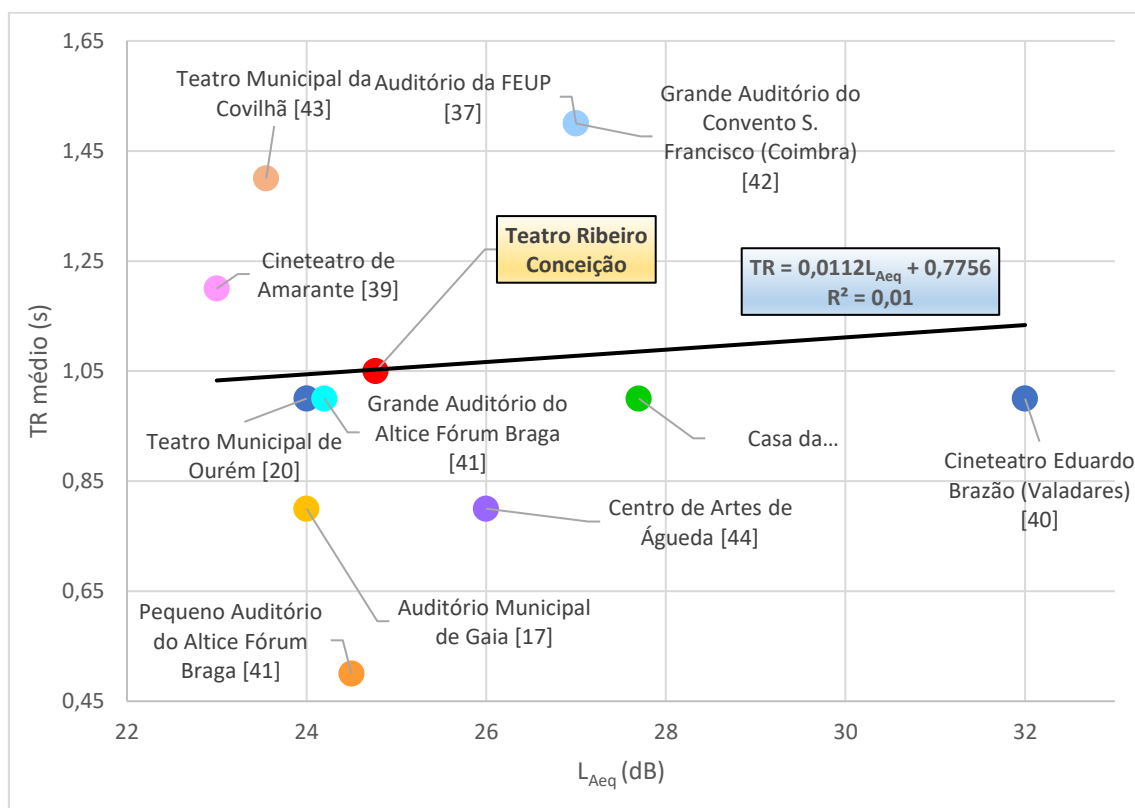


Figura 7.17 - Valores do parâmetro tempo de reverberação em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) sem AVAC das doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

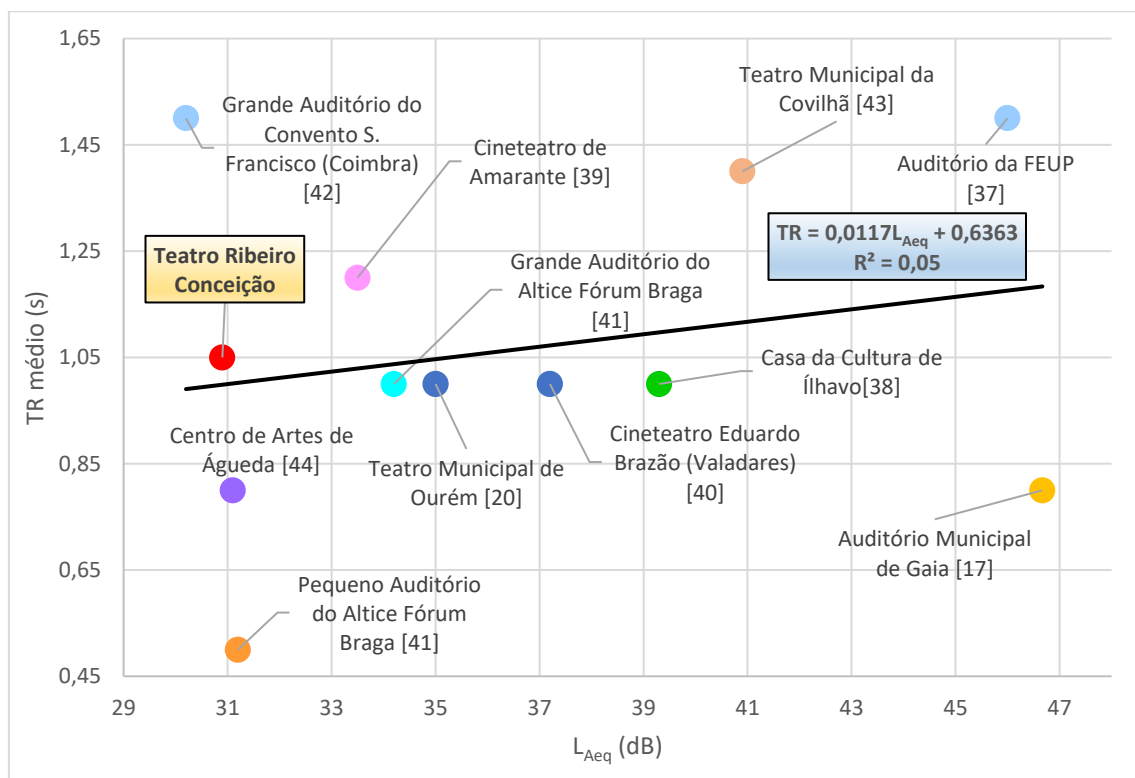


Figura 7.18 - Valores do parâmetro tempo de reverberação em função do Nível sonoro equivalente do ruído de fundo (L_{Aeq}) com AVAC das doze salas nacionais incluindo, o Teatro Ribeiro Conceição com linha de tendência (linear).

Concluiu-se assim, que estes dois parâmetros são, em grande parte, independentes e determinados por fatores distintos. Essa análise reforça que o comportamento acústico (reverberação) e o ruído ambiental precisam ser avaliados separadamente para caracterizar as condições acústicas de um espaço.

Numa conclusão final, o estudo evidenciou como o Tempo de reverberação, o *Speech Transmission Index* (STI) e o Nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) interagem para influenciar a funcionalidade e a qualidade acústica das salas:

- Salas com alto Tempo de reverberação (1,5 s) como o Auditório da FEUP e Grande Auditório do Altice Fórum Braga, encontram-se adequadas para atividades musicais, mas precisam de intervenções para serem usadas em atividades de palavra devido aos baixos valores de STI e níveis sonoros geralmente elevados.
- Salas com baixo Tempo de Reverberação (por exemplo 0,50 s) como o Pequeno Auditório do Altice Fórum Braga e com baixos níveis sonoros equivalentes, oferecem condições ideais para a inteligibilidade da palavra e conforto acústico.
- A redução do ruído de fundo e controlar o Tempo de reverberação são estratégias fundamentais para otimizar o desempenho acústico, especialmente em ambientes multifuncionais. Tal acontece no Teatro Ribeiro Conceição, no qual se obteve um nível sonoro equivalente de 31 dB(A). Contudo este usufrui de um Tempo de reverberação baixo (1,1 s) prejudicando o seu desempenho acústico para alguns tipos de espetáculos.

8

CONCLUSÃO

8.1. CONCLUSÕES

Com a procura incessante das pessoas por cultura e entretenimento, o desenvolvimento da acústica em salas de espetáculos evoluiu significativamente, incluindo avanços tecnológicos, materiais inovadores e novas metodologias de *design* para criar ambientes sonoros que atendam às exigências de diferentes tipos de espetáculos. A colaboração entre arquitetos, engenheiros acústicos e outros projetistas tem sido fundamental para a criação de salas de espetáculos que proporcionem experiências auditivas excepcionais e ao mesmo tempo que preserve o conforto e a estética do ambiente. A preocupação com uma boa acústica numa sala de espetáculos é essencial para garantir que a experiência auditiva do público e dos artistas seja a melhor possível.

A acústica de uma sala afeta diretamente a clareza e a qualidade do som, que são diretamente influenciados pelos sons projetados, refletidos e absorvidos dentro do espaço. A distribuição e a qualidade do som deve ser uniforme em toda a sala, garantindo que os espectadores em diferentes áreas possam ouvir o espetáculo de forma clara e sem distorções. Além disso, a acústica deve ser cuidadosamente planeada para acomodar o tipo específico de evento realizado na sala, seja uma apresentação musical, teatral ou de dança. Diferentes tipos de espetáculos exigem diferentes ambientes acústicos para otimizar a transmissão do som, evitando efeitos como ruídos excessivos, reverberação indesejada ou abafamento de algumas frequências.

Com objetivo de uma análise detalhada de vários parâmetros, procedeu-se à caracterização acústica do Teatro Ribeiro Conceição por meios de ensaios *in situ*, com o intuito de aprofundar o conhecimento do cenário acústico das salas de espetáculo em Portugal. Foi ainda efetuada uma comparação com duas salas de espetáculo portuguesas com geometria e função semelhantes (Teatro Sá de Miranda em Viana do Castelo e o Teatro Nacional do São João no Porto), com cinco salas internacionais também em “ferradura” (Theatre Royal, The Arts Theatre, Wyndham’s Theatre, Usher Hall e Royal Shakespeare Theatre) e com onze salas portuguesas de formas diversas. As análises efetuadas no Teatro Ribeiro Conceição permitiram verificar os limites estabelecidos pela legislação nacional (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, RRAE), bem como outros limites ideais. Os valores obtidos, encontram-se resumidos no quadro 8.1.

Quadro 8.1 - Resumo dos parâmetros acústicos medidos no Teatro Ribeiro Conceição com as respetivas verificações regulamentares e avaliação funcional.

Parâmetros	Condição AVAC	Simbologia	Valor Obtido	Valor com Incerteza	Valores máximos RRAE	Avaliação		
						Teatro	Ópera	Música Popular
Ruído de Fundo	Com	L_{Aeq} (dB)	31	28	30	A	A	A
	Sem	L_{Aeq} (dB)	25	22				
Curvas de incomodidade	Com	NC	22	-	[20 a 30]	A	A	A
		NR	24	-		A	A	A
	Sem	NC	19	-		T	T	T
		NR	22	-		A	A	A
Tempo de Reverberação (s)	Com/Sem	TR [500, 1k Hz] desocupado	1,1	0,73	0,94 (oratória)	T	D	A
	Com/Sem	TR [500, 1k Hz] 100% de ocupação *	1,0	0,67		T	D	A
Speech transmission Index	Com	STI máximo	0,60	-	-	Razoável		
		STI médio	0,52	-	-	Razoável		
		STI mínimo	0,44	-	-	Insuficiente		
	Sem	STI máximo	0,70	-	-	Bom		
		STI médio	0,55	-	-	Razoável		
		STI mínimo	0,51	-	-	Razoável		
Claridade (C_{80}) (dB)	Com/Sem	C_{80} [500, 1.000 Hz]	5,6	-	-	T	D	T
Definição (D_{50})	Com/Sem	D_{50} [500, 1.000 Hz]	0,65	-	-	Razoável		
Tempo Central (ms)	Com/Sem	TS [500, 1.000 Hz]	59	-	-	A	D	
Rácio de Baixos	Com/Sem	BR	1,04	-	-	A	D	

A - Adequado, D – Desadequado, T – Tolerável, * Previsão

Analisando o Quadro 8.1 pode-se concluir que o Teatro Ribeiro Conceição, com o sistema de ventilação ligado (AVAC) apresenta um ruído de fundo adequado (31 dBA), como o limite máximo definido regulamentar é de 30 dB(A), apenas “cumpre” esse requisito quando aplicado o fator de incerteza de 3 dB(A) previsto no regulamento. As curvas de incomodidade acústica NC (*Noise Criterion*) e NR (*Noise Rating*) utilizadas para avaliar níveis de ruído fundo com o funcionamento do AVAC, encontram-se dentro dos valores “recomendados”, permitindo classificar o ambiente como adequado.

Para o Tempo de reverberação obteve-se um valor médio para as frequências de 500 e 1.000 Hz de 1,1 segundos com a sala desocupada e com a sala com 100% de ocupação, foi previsto um valor de 1,0 segundos. Em todas as situações expostas verifica-se que os valores obtidos se encontram dentro dos valores “ideais” para música popular e cinema, tolerável para teatro e palavra, e ligeiramente afastados dos valores considerados “ideais” para ópera e música sinfônica (essencialmente para a do período Romântico). Como abordado no capítulo 2.4, este parâmetro encontra-se condicionado pelo material absorvente, geometria da sala e o volume da mesma. De acordo com os critérios funcionais exigidos para determinados espetáculos musicais do tipo sinfônica o Teatro Ribeiro Conceição necessitaria de um Tempo de reverberação um pouco superior aquele que foi obtido.

No Teatro Ribeiro Conceição foram utilizados parâmetros que avaliam a qualidade da palavra, entre os quais o parâmetro *Speech Transmission Index (STI)*, que demonstrou ser “razoável” para a inteligibilidade da palavra, com um valor médio de 0,52 com AVAC e de 0,55 sem AVAC. Contudo o valor obtido de 0,44 nalguns locais da sala demonstrou ser “insuficiente” para a inteligibilidade da palavra, podendo estar em causa a distância do mesmo ou interferências causadas pelo ruído de fundo proveniente da *régie*. No que diz respeito ao parâmetro Claridade média (C_{80}) [500, 1.000 Hz] o Teatro Ribeiro Conceição obteve um valor de 5,6 dB, valor este que se encontra próximo do limite recomendado para palavra, teatro e música popular (> 6 dB), estando adequado para Cinema (> 5 dB) e um pouco desadequado para ópera (1 a 4 dB). Este parâmetro é fundamental para distinguir sons diretos em relação aos sons refletidos. Em teatros e auditórios é essencial garantir a compreensão do discurso, enquanto que na música se garante que os detalhes do som dos instrumentos sejam perceptíveis, sem que exista excesso de reverberação que prejudique a harmonia.

Da mesma forma, o parâmetro Definição média (D_{50}) [500, 1.000 Hz], mede a proporção da energia sonora útil (som direto e os primeiros reflexos) em relação à energia total recebida em um ponto específico dentro de uma sala. No Teatro Ribeiro Conceição obteve-se um valor de 0,65, classificando-se como valor “razoável”, garantindo à compreensão do discurso com alguma precisão. Por fim, o parâmetro Tempo Central médio (TS) [500, 1.000 Hz], que descreve a distribuição temporal da energia sonora em uma sala, indicando o instante em que a energia sonora acumulada atinge o seu ponto médio após a chegada do som direto. No Teatro Ribeiro Conceição obteve-se 59 ms demonstrando-se adequado para a função teatral (< 80 ms) e um pouco desadequado para alguns tipos de música e ópera (> 80 ms).

Numa análise comparativa entre os pontos ensaiados na sala, é possível asseverar que os lugares que se encontram na zona da plateia usufruem de um som mais claro devido a procedência de maior energia do som direto (e das primeiras reflexões). Nas zonas dos balcões e camarotes o som que predomina é o reverberante, devido aos valores mais baixos de Claridade e mais altos do Tempo Central. Na inteligibilidade da palavra, as zonas que obtiveram os maiores valores do STI e do D_{50} foram as zonas da plateia, enquanto que nos balcões e camarotes registaram os menores valores, devido ao afastamento da fonte sonora (menor energia procedente da fonte sonora, maior a intensidade da cauda reverberante).

Conclui-se que o Teatro Ribeiro Conceição, quanto aos valores médios obtidos de STI e do D_{50} é uma sala de espetáculos “razoável” para o uso da palavra (sem o uso de reforço eletroacústico). De uma forma geral e conforme os intervalos dos valores “ideais”, conclui-se que o Teatro Ribeiro Conceição obtém valores de energia maiores nas primeiras reflexões (proporcionando um som mais claro e inteligível), em vez do som reverberante. Permite-se concluir que de uma forma genérica a sala é mais adequada para atividades que incidam na utilização da palavra (teatro, conferências, etc.) em vez de alguns tipos de atividades musicais (música sinfónica, etc.). Tendo em conta que não se recorreu à utilização de reforço eletroacústico, não foi possível saber-se se este permitiria melhorar o som do espaço para a palavra, de forma a garantir uma melhor qualidade audível e compreensível para todas as pessoas presentes.

8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo da caracterização acústica do Teatro Ribeiro Conceição permitiu uma análise detalhada dos parâmetros fundamentais que influenciam a qualidade sonora do espaço, proporcionando uma base viável para estudos e comparações futuras. No entanto, a realização de ensaios adicionais complementaria e permitiria uma maior abrangência no qual proporcionaria novas oportunidades para perscrutar determinados temas para investigação futuras sobre o espaço em análise, sendo essas:

- Realização de ensaios com o a utilização do reforço eletroacústico de forma a se poder comparar os valores obtidos e verificar a uniformidade da cobertura sonora do espaço;
- Efetuar inquéritos de qualidade sonora aos espetadores da sala, de forma a avaliar os parâmetros acústicos subjetivos, com a intenção de criar conexões entre os parâmetros subjetivos e objetivos;
- Realização de modelagem computacional de forma a otimizar os parâmetros acústicos, como Tempo de reverberação, índices de clareza (C_{80} e D_{50}) e inteligibilidade (STI). Além disso, proporcionar através de simulações em tempo real um ajuste das configurações acústicas durante os eventos, proporcionando uma melhor experiência conforme o tipo de apresentação;
- Realização de uma nova medição do Tempo de reverberação com a sala completamente ocupada de forma a confirmar-se os valores previstos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Carvalho, A.P. Oliveira. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Edição 8.19, FEUP, 2022.
- [2] – Lazzarini, Victor E.P. *Elementos de acústica*. Maynooth: Music Department of National University of Ireland, 1998.
- [3] – Sistema auditivo no estudo da ciência acústica; <https://comunicareaparelhosauditivos.com/entenda-como-acontece-o-processo-auditivo/>, acedido a 30/09/2024.
- [4] – O funcionamento do tímpano; <https://www.essencialaparelhosauditivos.com/entendendo-o-papel-do-timpano-no-sistema-auditivo/>, acedido a 2/10/2024.
- [5] – Sistema auditivo; <https://www.binaural.com.br/blog/perda-auditiva/sistema-auditivo-entenda-como-funciona/>, acedido a 2/10/2024.
- [6] – Sistema auditivo; <https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-do-ouvido-nariz-e-garganta/biologia-dos-ouvidos-nariz-e-garganta/ouvidos>, acedido a 2/10/2024.
- [7] - Propagação do som; <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm>, acedido a 2/10/2024.
- [8] – Níveis de pressão sonora; <https://www.apopartner.pt/ruido-laboral-parametros-de-descricao-do-som/>, acedido a 3/10/2024.
- [9] – Frequência sonora; <https://www.apopartner.pt/ruido-laboral-parametros-de-descricao-do-som/>, acedido a 3/10/2024.
- [10] - Almeida, Manuel; Silva, Sandra; Ferreira, Tiago; *Física das construções, Acústica Ambiental e de Edifícios*. Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2006.
- [11] – ISO 226; *Normal Equal-Loudness-Level Contours*, 2023; https://www.researchgate.net/publication/374956941_Revision_of_ISO_226_Normal_Equal-Loudness-Level_Contours_from_2003_to_2023_edition_the_background_and_results, acedido 5/10/2024.
- [12] - Early Decay Time; <https://www.ocgasdetector.com/what-is-early-decay-time-edt/>, acedido a 10/10/2024.
- [13] - Long, M. – *Architectural Acoustics*, Elsevier Academic Press, Oxford, 2006.
- [14] - Beranek, L. L. – *Music, Acoustics and Architecture*, John Wiley & Sons, Inc, EUA, 1962.
- [15] - Beranek, L. L. – *Concert and Opera Halls: How They Sound*, Woodbury, Acoustical Society of America, Nova Iorque, 1996.
- [16] - Forte, André. *Caracterização acústica do Teatro Sá de Miranda (Viana do Castelo)*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2024.
- [17] – Hirayama, André, *Caracterização acústica do Auditório Municipal de Vila Nova de Gaia*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [18] – Curvas de incomodidade; <https://www.engineeringtoolbox.com>, acedido a 10/10/2024.
- [19] – Barron, Michael. – *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, 2º ed., Londres e Nova Iorque, 2010.

- [20] – Vieira, Filipe. *Caracterização Acústica do Teatro Municipal de Ourém*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [21] – Estudo acústico dos teatros Gregos; <https://lazuliarquitetura.com.br/estudo-acustico-dos-teatros-gregos/>, acedido a 22/10/2024.
- [22] – Origem e evolução da arte cênica, <https://biblioforadacaixa.com.br/2023/02/22/teatro-origem-e-evolucao-da-arte-cenica/>, acedido a 22/10/2024.
- [23] - Teatro Elisabetano, <https://images.app.goo.gl/XWCdoFmhyH2camqw6>, acedido a 22/10/2024.
- [24] – Maio, Ana. *Arquitectura e música: Acústica de salas de concerto*. Dissertação de Mestrado em Arquitectura, Universidade do Porto, 2011.
- [25] - Sabine, W. - *Collected Papers on Acoustics*, Dover Publications. Nova Iorque, 1922.
- [26] - RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de junho, Diário da República, 2008.
- [27] – Teatro Ribeiro Conceição;
https://pt.wikipedia.org/wiki/Teatro_Ribeiro_Conceição, acedido a 1/11/2024.
- [28] – Teatro Ribeiro Conceição; <https://www.minube.pt/sitio-preferido/ribeiro-conceicao-theatre-a150744>, acedido a 1/11/2024.
- [29] – Teatro Ribeiro Conceição – Ficha Técnica, Lamego, 2019
- [30] – Cadeiras almofadadas, tempo de reverberação;
<https://www.concepcaoacustica.com/post/materiais-comuns-diminuir-tempo-de-reverberacao>, acedido a 12/11/2024.
- [31] - Type 4720 Echo Speech Source; <https://www.bksv.com/en/transducers/acoustic/sound-sources/echo-speech-source-type-4720>, acedido a 12/11/2024.
- [32] – 2260 Brüel & Kjær, modelo; <https://www.leasametric.com/en/product/bruel-kjaer-2260-investigator-evaluator/>, acedido a 12/11/2024.
- [33] - Tipo 4231 Calibrador de Nível Sonoro;
<https://www.bksv.com/pt/transducers/acoustic/calibrators/sound-calibrator-4231>, acedido a 12/11/2024.
- [34] – Tipo UA0049 Tripé portátil Brüel & Kjaer;
<https://www.bksv.com/pt/transducers/acoustic/microphones/microphone-cartridges/4189>, acedido a 12/11/2024.
- [35] - Marshall, L. Gerald. “An acoustic measurement program for evaluating auditoriums and related spaces based on the early/late sound energy ratio. The Journal of the Acoustical Society of America, 92 (4), pp. 2469–2469, 1992.
- [36] - Mocarzel, Hannah. *Caracterização acústica do Teatro Nacional São João (Porto)*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2024.
- [37] – Barbosa, Sofia. *Caracterização Acústica de Grandes Auditórios. O caso do auditório da FEUP*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2012.
- [38] – Ribas, Manuel. *Caraterização acústica da Casa da Cultura de Ílhavo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2023.

- [39] – Prada, Paulo. *Caracterização acústica do Renovado Cineteatro de Amarante*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [40] – Silva, Diogo. *Caracterização acústica do CineTeatro Eduardo Brazão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [41] – Rocha, Gil. *Caraterização acústica do centro de congressos do Altice Fórum Braga*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2022.
- [42] – Miranda, Tiago. *Caracterização Acústica do Grande Auditório do Convento de S. Francisco (Coimbra)*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2023.
- [43] - Tavares, Pedro. *Caracterização acústica do Teatro Municipal da Covilhã*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [44] – Abelha, Helena. *Caracterização Acústica do Centro de Artes de Águeda*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, FEUP, 2022.
- [45] – *Norma Portuguesa NP 3225: 1986 – Acústica, Vocabulário, Definições Gerais*.
- [46] – EN ISO 10534-1: 1996 - *Acoustics: Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes, Part 1*, 1ª ed.
- [47] – NP EN ISO 354: 2007 – Acústica, medição da absorção sonora em câmara reverberante.