

A ACÚSTICA DE MUSEUS MODERNOS. ESTUDO DE CASO O MUSEU DE SERRALVES (PORTO)

HÉLDER JOSÉ SILVEIRA GONÇALVES

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

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@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 autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A todos os que contribuíram para o meu sonho

Adoro aprender sobre tudo, como nunca ninguém sabe de tudo, serei estudante até morrer

Irina Monteiro

AGRADECIMENTOS

No momento de conclusão deste trabalho não posso deixar de demonstrar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que contribuíram para a sua realização, muito em especial:

Ao Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho por todo o apoio prestado ao longo deste trabalho, o interesse e a inteira disponibilidade que sempre mostrou, bem como o espírito crítico e a boa disposição contagiante com que sempre me atendeu.

Ao Eng.º. Eduardo Costa pelo apoio na realização das medições, mas também pela simpatia que demonstrou e pelas sugestões que me deu e, que permitiram melhorar este trabalho.

À Fundação de Serralves por permitir a realização deste trabalho e em especial ao Eng.º. Pedro Viegas pela simpatia e disponibilidade que sempre demonstrou.

Aos diversos consultores acústicos que me forneceram dados e transmitiram conhecimentos da sua experiência, mas em especial a Marshall Long, Higini Arau, Daniel Commins, John Miller, Gregory Miller e Octávio Inácio, o meu sincero agradecimento.

Ao meu irmão Sérgio, que me perguntou várias vezes como estava a decorrer o trabalho.

À Patrícia, que esteve sempre ao meu lado, por toda a paciência, compreensão e ajuda ao longo de todo o trabalho.

Ao Énio Abreu pela grande ajuda na recolha de questionários em Serralves.

Ao Miguel Oliveira pela ajuda na recolha de preços e sugestões técnicas.

Aos meus colegas e amigos que de certa forma contribuíram para que fosse possível chegar a esta fase do meu percurso académico, muito em especial à Cíntia, mas também ao Luís, ao Pedro e ao João pelo apoio e espírito ao longo destes anos.

RESUMO

O interesse crescente na melhoria da qualidade dos edifícios leva a que a Acústica seja cada vez mais uma prioridade, especialmente em espaços públicos.

Com o presente trabalho, que se insere na área de estudos em Acústica de Edifícios, pretende-se caracterizar o desempenho acústico dos Museus “Modernos” e estudar o caso concreto do Museu de Serralves, no Porto.

Para a definição das necessidades acústicas dos museus inicia-se o tema com uma reflexão sobre a função e papel do museu na sociedade, e a caracterização arquitectónica deste tipo de edifícios. Permitindo com isso prever as necessidades específicas de um baixa reverberação, baixos níveis de ruído de fundo e de boas condições de inteligibilidade da palavra. Mediante isto, apresentam-se algumas recomendações de valores para estes parâmetros.

No que respeita ao Museu de Serralves, é um Museu de Arte Contemporânea, pertencente à Fundação de Serralves, classificada como “Imóvel de Interesse Público”, e foi projetado pelo arquiteto Álvaro Siza Vieira tendo sido inaugurado em 1999. O edifício apresenta as características de uma arquitetura contemporânea, entre outros, com superfícies muito lisas e refletoras, pé-direito elevado e volumes muito expressivos.

A avaliação da qualidade acústica do Museu de Serralves foi realizada com base em parâmetros objetivos e subjetivos, através de medições de TR, L_{Aeq} , RASTI e de inquéritos aos visitantes.

Relativamente às medições, estas foram efetuadas em três salas de exposição representativas (salas 11, 12 e 14). Nestas, obtiveram-se valores de TR[500, 1k, 2k] entre 3,8 s e 4,1 s. Os valores de L_{Aeq} medidos estão compreendidos entre 27 dB e 41 dB, com variação de -9 dB a -1 dB para a situação em que o AVAC está desligado e de +25 dB a +36 dB para a situação em que existem visitantes. Os valores de RASTI médios obtidos foram de 0,40 a 0,45.

Quando comparados os valores medidos com os aconselhados por diversos autores e pelos recomendados neste trabalho (TR[500, 1k, 2k] entre 1,0 e 1,4 s, L_{Aeq} máximo de 40 dB e RASTI $\geq 0,60$), conclui-se que o Museu de Serralves apresenta um ambiente sonoro de inferior qualidade face aquele que seria desejável. Vem-se ainda comprovar a partir da análise subjetiva, pela opinião dos visitantes, que a situação acústica atual do museu não é a ideal.

De forma a possibilitar o enquadramento da qualidade acústica do Museu de Serralves no ambiente museológico realizou-se a comparação com outros museus, de onde se percebe que também aqui os resultados deste museu superam, de forma negativa, a média dos restantes.

As conclusões retiradas possibilitaram, assim, a apresentação de algumas sugestões de possível correção acústica, as quais permitiram enquadrar a qualidade acústica do Museu de Serralves nos valores recomendados neste trabalho, apresentando um custo total previsível entre 59.000 € e 173.000€.

Apresentam-se por fim, algumas sugestões para desenvolvimentos futuros deste tema que por algum motivo não foram neste trabalho aprofundados.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Museus, Reverberação, Ruído de Fundo, RASTI, Porto.

ABSTRACT

The growing interest in improving the quality of buildings means that acoustics is increasingly a priority, especially in public spaces.

With this work, which falls within the study area of Building Acoustics is intended to characterize the acoustic performance of "Moderns" Museums and case of study of the Serralves Museum in Porto.

To define the acoustic needs of a museum this work begins with a reflection on the museum's function and role in society, and the characterization of this type of buildings. Allowing it to predict the specific needs of a low reverberation, low levels of background noise and good conditions for speech intelligibility. Through this, some recommendations are presented for values of these parameters.

The Serralves Museum is an Museum of Contemporary Art, owned by The Serralves Foundation, classified as "Property of Public Interest" and was designed by architect Alvaro Siza Vieira, and was inaugurated in 1999. The building presents the characteristics of a contemporary architecture, among others, with very smooth and reflective surfaces, high ceilings and very expressive volumes.

The evaluation of acoustic quality of the Serralves Museum was based on objective and subjective parameters through measurements of RT, LAeq, RASTI and inquiries to visitors.

The measurements were made in three representative exhibition halls (rooms 11, 12 and 14). Accordingly, we obtained values of RT [500, 1k, 2k] for 3.8 s to 4.1 s. The LAeq were measured 27 dB to 41 dB with a variation there of -9 dB to -1 dB for the situation where the HVAC is off and +25 dB to + 36 dB for the situation where there are visitors. RASTI average values obtained were 0.40 to 0.45.

When comparing the measured values with those recommended by several authors and recommended in this thesis (RT [500, 1k, 2k] between 1.0 and 1.4 s, maximum LAeq below 40 dB and RASTI $\geq$ 0.60), concludes that the Serralves Museum presents a poor acoustic behavior. It is further evidence comes from the subjective analysis, the opinions of visitors, the museum's current acoustic situation is not ideal.

A comparison with other museums was done where one realizes that here too the acoustic results outweigh this museum, in a negative way, the average of the others.

Some suggestions for acoustic corrections to improve the acoustics of the Serralves Museum into the values recommended in this work are presented, with a total predicted cost between 59.000 € and 173.000 €.

Finally some suggestions for future developments of this issue are presented.

KEYWORDS: Acoustics, Museums, Reverberation, Background Noise, RASTI, Porto.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xv
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xvii

1. INTRODUÇÃO

1

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE	2

2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

5

2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. BASES	5
2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM	5
2.2.2. CELERIDADE	5
2.2.3. PRESSÃO SONORA	6
2.2.4. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA	6
2.2.5. NÍVEIS	7
2.2.6. BANDAS DE FREQUÊNCIAS	9
2.2.7. CURVAS DE PONDERAÇÃO	11
2.3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS	12
2.3.1. ABSORÇÃO SONORA	12
2.3.2. REVERBERAÇÃO	14
2.3.3. CAMPO SONORO	15
2.3.4. RUÍDO DE FUNDO E CURVAS DE INCOMODIDADE	16
2.3.5. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA	18
2.3.6. ISOLAMENTO SONORO E CORREÇÃO ACÚSTICA	20
2.4. PARÂMETROS ACÚSTICOS	21
2.4.1. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS	21
2.4.1.1. Tempo de Reverberação (Tr)	21

2.4.1.2. RASTI (<i>RApid Speech Transmission Index</i>)	21
2.4.1.3. AI (<i>Articulation Index</i>).....	22
2.4.2. PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS	22
2.4.2.1. Ruído de Fundo	22
2.4.2.2. Intensidade do Som.....	22
2.4.2.3. Reverberância	22

3. OS MUSEUS E A ACÚSTICA..... 23

3.1. O QUE É UM MUSEU 23

3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO..... 24

3.3. TIPOS DE MUSEUS 27

3.3.1. INTRODUÇÃO 27

3.3.2. MUSEUS TRADICIONAIS 28

3.3.3. MUSEUS MODERNOS..... 28

3.3.4. CASAS-MUSEU 29

3.3.5. MUSEUS AO AR LIVRE 30

3.4. MUSEUS NO MUNDO 30

3.5. MUSEUS EM PORTUGAL 33

3.6. A ARQUITETURA E A ACÚSTICA DE MUSEUS..... 34

3.7. ACÚSTICA NOS MUSEUS..... 36

3.7.1. INTRODUÇÃO 36

3.7.2. ESTADO DE DESENVOLVIMENTO DA ARTE..... 37

3.7.3. NECESSIDADES ACÚSTICAS EM MUSEUS 40

3.7.3.1. Introdução..... 40

3.7.3.2. Tempo de Reverberação..... 40

3.7.3.3. RASTI (*RApid Speech Transmission Index*) 42

3.7.3.4. Privacidade da Palavra..... 43

3.7.3.5. Ruído de Fundo..... 43

3.7.4. VALORES RECOMENDADOS 44

4. CASO DE ESTUDO: O MUSEU DE SERRALVES..... 47

4.1. A FUNDAÇÃO SERRALVES 47

4.2. O MUSEU E A SUA HISTÓRIA..... 49

4.3. O ARQUITETO	50
4.4. INFORMAÇÕES DO PROJETO ACÚSTICO	53
4.5. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	54
 5. MEDIÇÕES	 57
5.1. INTRODUÇÃO	57
5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	58
5.2.1. METODOLOGIA.....	58
5.2.1.1. Aparelhos de medição.....	58
5.2.1.2. Procedimentos	58
5.2.2. PONTOS DE MEDIÇÃO	59
5.2.3. RESULTADOS	60
5.3. RUÍDO DE FUNDO.....	62
5.3.1. METODOLOGIA.....	62
5.3.1.1. Aparelhos de medição.....	62
5.3.1.2. Procedimentos	62
5.3.2. PONTOS DE MEDIÇÃO	63
5.3.3. RESULTADOS	64
5.3.3.1. Ruído de Fundo sem visitantes.....	64
5.3.3.2. Ruído de Fundo com visitantes.....	67
5.3.3.3. Curvas de Incomodidade	68
5.3.3.4. AI (<i>Articulation Index</i>)	69
5.4. RASTI (<i>RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX</i>)	69
5.4.1. METODOLOGIA.....	69
5.4.1.1. Aparelhos de medição.....	69
5.4.1.2. Procedimentos	70
5.4.2. PONTOS DE MEDIÇÃO	70
5.4.3. RESULTADOS	72
5.5. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS	74
 6. ANÁLISE ACÚSTICA SUBJETIVA	 77
6.1. INTRODUÇÃO	77
6.2. METODOLOGIA	77

6.3. RESULTADOS DOS INQUÉRITOS	79
6.4. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS	84
 7. ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS MUSEUS	 87
7.1. INTRODUÇÃO	87
7.2. COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS	88
7.2.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	88
7.2.2. RUÍDO DE FUNDO	90
7.2.3. RASTI (<i>RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX</i>)	91
7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
 8. SUGESTÕES DE CORREÇÃO ACÚSTICA.....	 93
8.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	93
8.2. CORREÇÃO ACÚSTICA.....	94
8.2.1. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO	94
8.2.2. PREVISÃO DE MELHORIA ACÚSTICA.....	98
8.2.2.1. Sala 11.....	98
8.2.2.2. Sala 12.....	100
8.2.2.3. Sala 14.....	102
8.2.3. OUTRAS SUGESTÕES.....	104
8.2.4. ANÁLISE ECONÓMICA DAS SOLUÇÕES	105
8.3. ANÁLISE GLOBAL DAS PROPOSTAS.....	107
 9. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	 109
9.1. CONCLUSÕES.....	109
9.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	111
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) [1]..	6
Fig. 2.2 – Pressão sonora (p) e níveis de pressão sonora (L_p) [10].	8
Fig. 2.3 – Gama de frequências (humanas) [11].	10
Fig. 2.4 – Espectro sonoro de um ruído representado em 1/1 oitava e em 1/3 de oitava [1].	10
Fig. 2.5 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (em fone) [9].	11
Fig. 2.6 – Curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [2].	12
Fig. 2.7 – Interação das ondas sonoras com as superfícies [9].	13
Fig. 2.8 – Som direto e refletido e a sua evolução no tempo [14].	14
Fig. 2.9 – Curva NC (<i>Noise Criterion</i>) [2].	17
Fig. 2.10 – Curva NR (<i>Noise Rating</i>) [2].	17
Fig. 2.11 – Níveis de pressão sonora e gama de frequências audíveis [12].	19
Fig. 2.12 – Contornos da emissão da palavra no plano horizontal [2].	19
Fig. 2.13 – Comportamento em frequência dos três grupos de materiais e sistemas absorventes [1].	20
Fig. 3.1 – Antiga biblioteca de Alexandria [23].	25
Fig. 3.2 – Gabinetes de Curiosidades de Ole Worm, Copenhaga [26].	25
Fig. 3.3 – Vista do corredor da <i>Galleria degli Uffizi</i> , Florença [27].	26
Fig. 3.4 – Museu do Louvre, Paris [28].	26
Fig. 3.5 – Projeto de um Museu de Étienne-Louis Boullée, 1783 [29].	27
Fig. 3.6 e 3.7 – Museu Nacional Soares dos Reis (Porto) pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [30, 31].	28
Fig. 3.8 e 3.9 – Museu de Arte Moderna de Nova Iorque pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [32, 33].	29
Fig. 3.10 e 3.11 – Casa-museu Amália Rodrigues (Lisboa) pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [34, 35].	29
Fig. 3.12 – The Old Town, museu ao ar livre, Aarhus (Dinamarca) [36].	30
Fig. 3.13 – Evolução do número de visitantes dos principais museus britânicos (adaptado de [39]).	31
Fig. 3.14 e 3.15 – Museu do Louvre, exterior (esquerda) e átrio interior (direita) [40, 41].	32
Fig. 3.16 e 3.17 – British Museum, exterior (esquerda) e interior (direita) [fotos do autor].	32
Fig. 3.18 e 3.19 – Museu Guggenheim de Nova Iorque, exterior e interior [42, 43].	33
Fig. 3.20 e 3.21 – Museu Guggenheim de Bilbao, exterior e interior [44].	33
Fig. 3.22 – Evolução do número de visitantes dos museus portugueses que integram o IMC [45].	33
Fig. 3.23 e 3.24 – Museu do Chiado – Museu Nacional de Arte Contemporânea, Lisboa [46, 47].	34

Fig. 3.25 e 3.26 – Museu da Arte e da Arqueologia do Vale do Côa, Vila Nova de Foz Côa [48].....	34
Fig. 3.27 – Gráfico com a relação entre o volume e o Tempos de reverberação aconselhado para diversos tipos de edifícios, criado por John Miller [55].....	41
Fig. 4.1 – Localização da Fundação de Serralves [67].	47
Fig. 4.2 – Mapa da Fundação de Serralves [68].	48
Fig. 4.3, 4.4 e 4.5 – Casa de Serralves (em cima à esquerda), Parque (em cima à direita) e Museu de Arte Contemporânea de Serralves (em baixo) [68]	48
Fig. 4.6 – Vista aérea do Museu de Serralves [67]	49
Fig. 4.7 – Evolução do número de visitantes do Museu de Serralves entre 2006 e 2010 [68].....	50
Fig. 4.8 – Álvaro Siza Vieira [71].	51
Fig. 4.9 e 4.10 – Centro Galego de Arte Contemporânea em Santiago de Compostela, exterior e interior [71].....	52
Fig. 4.11 e 4.12 – <i>Serpentine Gallery Pavilion</i> em Londres, exterior e interior [71].....	52
Fig. 4.13 e 4.14 – Nova Sede da Fundação Iberê Camargo em Porto Alegre (Brasil), exterior e interior [71].....	52
Fig. 4.15 – Coeficiente de absorção sonora do material <i>Wilhelmi Álvaro</i> por frequência [75, 76].....	53
Fig. 4.16 – Piso 1 do Museu de Serralves, Porto [68].....	54
Fig. 4.17 – Piso 2 do Museu de Serralves, Porto [68].....	54
Fig. 4.18 – Piso 3 do Museu de Serralves, Porto [68].....	55
Fig. 4.19 – Piso 4 do Museu de Serralves, Porto [68].....	55
Fig. 4.20 e 4.21 – Interior do Museu de Serralves em fase de construção (à esquerda a sala 1 e à direita a sala 11) [68].	56
Fig. 4.22, 4.23 e 4.24 – Salas de exposição do Museu de Serralves, Porto [Fotos do autor].	56
Fig. 5.1 - Fonte sonora <i>Brüel & Kjaer</i> - modelo 4224 [Foto do autor]	58
Fig. 5.2 - Sonómetro <i>Brüel & Kjaer</i> - modelo 2260 [Foto do autor].....	58
Fig. 5.3 e 5.4 – Medição do tempo de reverberação na sala 12 do Museu de Serralves [Fotos do autor].....	59
Fig. 5.5 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).	59
Fig. 5.6 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).	60
Fig. 5.7 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).	60
Fig. 5.8 – Tempo de Reverberação por banda de 1/1 oitava entre 125 Hz e 4 kHz nas salas 11, 12 e 14.....	61
Fig. 5.9 e 5.10 – Medição do ruído de fundo, sem pessoas (esquerda) e com pessoas (direita) [Fotos do autor].....	63

Fig. 5.11 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).	63
Fig. 5.12 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).	64
Fig. 5.13 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).	64
Fig. 5.14 – Nível de pressão sonora de ruído de fundo nas salas de exposição, com e sem sistema de AVAC.	65
Fig. 5.15 – Variação do nível de pressão sonora de ruído de fundo com a introdução do sistema de AVAC.	66
Fig. 5.16 – Nível sonoro de ruído de fundo nas salas de exposição, com e sem sistema de AVAC.	67
Fig. 5.17 e 5.18 – Curvas NC (esquerda) e NR (direita) para as salas 11, 12 e 14.	68
Fig. 5.19 – Medidor do RASTI <i>Brüel & Kjaer</i> – modelo 3361, emissor (modelo 4225) [Foto do autor].	70
Fig. 5.20 - Analisador de RASTI <i>Brüel & Kjaer</i> -modelo 3361, receptor (modelo 4419) [Foto do autor].	70
Fig. 5.21 e 5.22 – Medição do RASTI nas salas 12 (esquerda) e 14 (direita) [Fotos do autor].	70
Fig. 5.23 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).	71
Fig. 5.24 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).	71
Fig. 5.25 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).	72
Fig. 5.26 – Valores de RASTI nos seis pontos de medição das salas de exposição.	73
Fig. 5.27 – Valores de RASTI nas três zonas de medição das salas de exposição (I, II, III).	73
Fig. 6.1 – Distribuição do número de inquiridos pelo dia da visita.	80
Fig. 6.2 – Distribuição dos inquiridos pelo género	80
Fig. 6.3 – Distribuição dos inquiridos pela faixa etária.	80
Fig. 6.4 – Resposta à pergunta 1 “Aprecio o silêncio nos museus”	81
Fig. 6.5 – Resposta à pergunta 2 “Sinto muito ruído nas salas deste museu”	81
Fig. 6.6 e 6.7 – Resposta à pergunta 3 por portugueses (esquerda) e por estrangeiros (direita).	82
Fig. 6.8 – Resposta à pergunta 3 “O ruído das máquinas fotográficas é incómodo”	82
Fig. 6.9 – Resposta à pergunta 4 “O ruído dos visitantes incomoda-me”	82
Fig. 6.10 – Resposta à pergunta 5 “Percebo claramente o guia”	83
Fig. 6.11 e 6.12 – Resposta à pergunta 6 por portugueses (esquerda) e por estrangeiros (direita).	83
Fig. 6.13 – Resposta à pergunta 6 “Consigo perceber a conversa dos outros visitantes”	83

Fig. 6.14 – Resposta à pergunta 7 “Oíço ecos nas salas de exposição”	84
Fig. 6.15 – Resposta à pergunta 8 “O ruído dos passos das pessoas é intenso”	84
Fig. 6.16 – Resposta à pergunta 9 “Indique o que mais lhe agrada neste museu”	84
Fig. 7.1 – Valores dos Tempos de Reverberação médios [500, 1k, 2k] dos vários museus	89
Fig. 7.2 – Valores dos níveis sonoros do Ruído de Fundo no Museu Nacional da Islândia, Museu Nacional Soares dos Reis e Museu de Serralves (sem pessoas e com sistemas AVAC ligados).....	91
Fig. 7.3 – Valores médios do RASTI de várias salas do Museu Nacional Soares dos Reis e do Museu de Serralves.....	92
Fig. 8.1 – Restaurante do Museu de Serralves [83].....	95
Fig. 8.2 – Novo Museu Benaki em Atenas [88].	96
Fig. 8.3 – Coeficientes de absorção sonora de diferentes revestimentos	97
Fig. 8.4 – Corte da intervenção na sala 11 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J))	98
Fig. 8.5 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 11 para as várias propostas de correção acústica.	99
Fig. 8.6 – Corte da intervenção na sala 12 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J))	100
Fig. 8.7 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 12 para as várias propostas de correção acústica.	101
Fig. 8.8 – Corte da intervenção na sala 14 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J)).	102
Fig. 8.9 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 14 para as várias propostas de correção acústica.	103
Fig. 8.10 – Tecido para cortinas <i>Acoustic Curtain Whisper</i> da <i>Annette Douglas Textiles AG</i> [89]...	104

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Bandas de Frequência utilizadas na Acústica de Edifícios [adaptado de [1]]	10
Quadro 2.2 – Valores numéricos de ponderação da curva A para bandas de frequência de 1/1 oitava e 1/3 de oitava na gama audível [1]	12
Quadro 2.3 – Valores máximos recomendados para as curvas NC e o nível sonoro equivalente para ruído de fundo (adaptado de [12]).....	18
Quadro 2.4 – Valores máximos recomendados para as curvas NR (adaptado de [12])	18
Quadro 2.5 – Percepção subjetiva de privacidade e inteligibilidade da palavra em função do valor de AI [1]	22
Quadro 3.1 – Ordenação dos 30 museus de arte mais visitados no mundo no ano 2010 (adaptado de [37])	31
Quadro 3.2 – Lista de Museus alvo de estudos acústicos, bem como os seus autores	39
Quadro 3.3 – Correspondência entre a inteligibilidade da palavra e os valores de RASTI (adaptado de [62])	42
Quadro 3.4 – Correspondência entre o nível sonoro contínuo equivalente (LAeq), o Noise Rating (NR) e a distância máxima ao orador para que haja inteligibilidade [51].	43
Quadro 3.5 – Valores de parâmetros acústicos objetivos recomendados para museus.....	44
Quadro 3.6 – Valores propostos para Tempo de Reverberação ideais em museus “modernos”.	45
Quadro 4.1 – Projetos mais relevantes de Álvaro Siza para museus (adaptado de [71, 72]).....	52
Quadro 4.2 – Dimensões dos compartimentos do Museu de Serralves [68]	55
Quadro 5.1 – Dimensões das salas 11, 12 e 14.....	57
Quadro 5.2 - Valores do Tempo de Reverberação medido nas salas 11, 12 e 14.....	61
Quadro 5.3 – Comparação entre Tempos de Reverberação máximos propostos e os valores medidos	62
Quadro 5.4 - Tempo de Reverberação estimado para ocupação da sala com 20 e com 30 pessoas..	62
Quadro 5.5 – Nível de pressão sonora de ruído de fundo, com e sem sistema de AVAC.....	65
Quadro 5.6 – Nível sonoro de ruído de fundo, com e sem sistema de AVAC.....	66
Quadro 5.7 – Nível sonoro de ruído de fundo com visitantes	67
Quadro 5.8 – Valores das curvas NC e NR para as salas 11, 12 e 14.....	68
Quadro 5.9 – Comparação dos valores máximos propostos para NC com os valores verificados.....	68
Quadro 5.10 – Comparação dos valores máximos propostos para NR com os valores verificados.....	69
Quadro 5.11 – Cálculo do parâmetro AI (<i>Articulation Index</i>)	69
Quadro 5.12 - Valores do RASTI medidos.....	72
Quadro 6.1 - Quadro resumo das respostas das perguntas 1 a 8.....	81

Quadro 6.2 - Resumo das respostas das perguntas 1 a 8.....	81
Quadro 7.1 – Lista de museus a comparar	88
Quadro 7.2 – Características dos museus a comparar.....	89
Quadro 7.3 – Níveis de pressão sonora filtrados A, do ruído de fundo dos vários museus (sem pessoas e com sistemas de AVAC ligados).....	90
Quadro 7.4 – Valores médios do RASTI de várias salas do Museu Nacional Soares dos Reis e do Museu de Serralves.....	91
Quadro 8.1 – Características geométricas das salas 11, 12 e 14 do Museu de Serralves	93
Quadro 8.2 – Tempos de reverberação e áreas de absorção das salas 11, 12 e 14 – valores medidos vs aconselhados	94
Quadro 8.3 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais existentes e propostos (adaptado de [1, 75, 83-87, 89, 90]).	97
Quadro 8.4 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 11 nas várias sugestões de correção acústica.....	98
Quadro 8.5 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 11 para as várias sugestões de correção acústica....	99
Quadro 8.6 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 12 pelas várias sugestões de correção acústica.....	100
Quadro 8.7 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 12 para as várias sugestões de correção acústica....	101
Quadro 8.8 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 14 pelas várias sugestões de correção acústica.....	102
Quadro 8.9 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 14 para as várias sugestões de correção acústica....	103
Quadro 8.10 – Previsão da melhoria acústica pela aplicação das cortinas <i>Acoustic Curtain Whisper</i>	104
Quadro 8.11 – Previsão da melhoria acústica pela colocação de carpetes pesadas.....	105
Quadro 8.12 – Estimativa orçamental para as propostas de correção acústica das salas 11, 12 e 14...106	
Quadro 8.13 – Estimativa orçamental para a aplicação das cortinas <i>Acoustic Curtain Whisper</i> na sala 11 e 12.....	106
Quadro 9.1 – Valores medidos no Museu de Serralves e recomendados para os vários parâmetros acústicos.....	110

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α	Coeficiente de absorção sonora
A	Absorção sonora equivalente [m^2]
AI	<i>Articulation Index</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
c	Celeridade do som [m/s]
f_0	Frequência central de banda [Hz]
f_1	Frequência de limite inferior de banda [Hz]
f_2	Frequência de limite superior de banda [Hz]
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
G	Fator intensidade sonora
I	Intensidade sonora [W]
I_0	Intensidade sonora de referência [W/m^2]
L_A	Nível de pressão sonora [dB]
L_{Aeq}	Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A [dB]
L_I	Nível de intensidade sonora [dB]
L_P	Nível de pressão sonora [dB]
L_W	Nível de potência sonora [dB]
m	Absorção sonora do ar (m^{-1})
NC	<i>Noise Cítéria</i>
NR	<i>Noise Rating</i>
NRC	<i>Noise Reduction Coefficient</i>
p	Pressão sonora [Pa]
p_0	Pressão sonora de referência [Pa]
$RASTI$	<i>RApid Speech Transmission Index</i>
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
S	Superfície [m^2]
SIL	<i>Speech Interference Level</i>
STI	<i>Speech Transmission Index</i>
T	Temperatura [K]
TR	Tempo de reverberação [s]

$TR_{[500, 1k]}$ Tempo de reverberação médio nas frequências 500 Hz e 1000 Hz

$TR_{[500, 1k, 2k]}$ Tempo de reverberação médio nas frequências dos 500 Hz aos 2000 Hz

V Volume [m^3]

W Potência sonora [W]

W_0 Potência sonora de referência [W]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

A Acústica, tal como é conhecida hoje, tem sofrido uma grande evolução ao longo da História. Embora já no século I a.C., o arquiteto romano Vitruvius a tenha referido nos seus livros, é a partir do início do século XX por influência do físico americano Wallace Clement Sabine que esta ciência começa a ganhar importância, estando, desde então, em constante desenvolvimento [1].

O interesse crescente na melhoria da qualidade dos edifícios leva a que o conforto acústico seja cada vez mais uma prioridade, especialmente em espaços públicos, nos quais a atividade aí decorrente é da conveniência de toda a sociedade e que, por isso, deve dispor de condições de conforto adequadas. É importante referir que a Acústica de um espaço não deve ser descuidada, podendo por vezes condicionar as funcionalidades para as quais o edifício foi concebido.

Em Portugal, a Acústica de Edifícios tem focado com especial atenção, no geral, em grandes espaços como salas de espetáculos, cinemas e auditórios, existindo, portanto, já vários estudos de alguns autores a cerca das características e comportamentos desses espaços. Na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto têm-se realizado vários estudos de caracterização acústica de espaços, inseridos no estudo de Acústica de Edifícios, como é o caso dos diversos estudos em igrejas de A. P. Oliveira de Carvalho [3] e bibliotecas de Costa [4], entre outros.

No que respeita a estudos científicos sobre a acústica em Museus, estes são ainda inexistentes em Portugal e muito escassos ao nível internacional, embora tenham já sido levados a cabo muitos estudos acústicos não científicos em museus (mais ao nível internacional) por consultores, dos quais poucos foram aqueles que se viram publicados. Neste sentido, a bibliografia específica e acessível sobre este tema é quase inexistente.

Deste facto, associado ao motivo que impulsionou a realização deste estudo surge a razão de ser do presente trabalho, pretendendo estudar as particularidades da acústica de museus. A outra causa está relacionada com a importância crescente da Acústica e o desenvolvimento do conhecimento no âmbito da acústica arquitectónica, fundamentalmente em espaços públicos. À semelhança dos estudos anteriores realizados na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, este trabalho pretende efetuar a caracterização acústica deste tipo de espaços.

Numa primeira abordagem ao tema, importa entender que os museus são fundamentalmente edifícios em que estão guardados “tesouros” ao alcance de todos. Para além de terem um papel importantíssimo na evolução da sociedade, têm-no também ao nível da educação, da preservação, da pesquisa e da divulgação.

Durand (1760-1834), professor e arquiteto francês, define já em 1819 os museus a partir da comparação às bibliotecas, como sendo estes:

“por um lado, como um tesouro público encerrando o depósito mais precioso, o do conhecimento humano; de outro, como um templo consagrado ao estudo. Tal edifício deve então ser disposto de maneira que reine nele a maior segurança e a maior calma” [5].

A “calma” a que Durand se refere na sua definição de museu é o ponto-chave deste estudo, a necessidade de existência de uma «calma acústica», que nos remete, obviamente, para o núcleo central do edifício, as salas de exposição.

Para estudar os museus, importa considerar o tipo de museu em causa (tradicional, moderno, casa-museu ou museu ao ar livre), uma vez que as características arquitetónicas diferem muito de edifício para edifício, e, consequentemente, as suas características construtivas e acústicas. Com este trabalho, pretende-se estudar, particularmente, a Acústica em Museus Modernos, com o caso de estudo referente ao Museu de Serralves, no Porto.

O interesse por este museu é expresso por Barranha (2003) quando refere que, ao contrário dos outros países, em Portugal a arquitetura dos museus não é, geralmente, explorada numa perspetiva mediática, notando-se, nesse campo, um desinteresse tanto do público como das instituições pela componente arquitetónica do museu. A autora chega mesmo a afirmar que existe apenas um caso em que se verifica, de facto, uma valorização do museu enquanto obra arquitetónica, que é o caso do Museu de Serralves. [6]

Este trabalho tem como objetivos estudar/entender os Museus enquanto definição/conceito de forma a perceber as necessidades acústicas que devem ser exigidas a este tipo de espaços, permitindo depois compreender e enquadrar o caso específico da acústica do museu alvo de estudo. Para avaliar a qualidade acústica das salas de exposição, pretende-se então realizar medições para quantificar os parâmetros acústicos objetivos e ainda analisar os parâmetros acústicos subjetivos através de inquéritos aos visitantes. Com a recolha desses dados poder-se-á, então, avaliar a qualidade acústica do Museu de Serralves no âmbito museológico através da comparação com resultados de outros museus nacionais e internacionais.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

Por forma a garantir uma estrutura sustentada nos objetivos propostos esta tese foi organizada em nove capítulos.

O capítulo 1 pretende servir como introdução e, por isso, enquadrar os objetivos propostos para o presente trabalho, bem como a motivação para o mesmo.

No capítulo 2 é realizado um repositório de conceitos e definições de base da ciência Acústica, passando pela particularidade da Acústica de Edifícios que pretende expor ao leitor os conceitos e as definições que apoiaram a realização deste trabalho.

Seguidamente no capítulo 3 é iniciado o estudo dos Museus, com o objetivo de perceber-se as especificidades deste tipo de edifícios públicos, a sua função e importância, mas também apresentar referências museológicas nacionais e internacionais. Pretende-se também neste capítulo abordar a Acústica de Museus, apresentando a importância da acústica neste tipo de espaços e a sua relação com a arquitetura, apresentar o estado de desenvolvimento da arte e, por fim, caracterizar as necessidades acústicas destes edifícios.

O capítulo 4 é dedicado ao estudo particular do Museu de Serralves, pretendendo expor a sua história e importância no âmbito em que se enquadra, desde a Fundação que o sustenta, ao arquiteto que o concebeu e mostrando as suas características enquanto edifício contemporâneo de prestígio.

Já o capítulo 5 refere-se às medições realizadas no Museu e expõe os procedimentos, os aparelhos de medição, os pontos de ensaio, a apresentação e a discussão dos resultados, terminando com uma análise global destes.

Com o capítulo 6 pretende-se realizar a análise acústica subjetiva da qualidade acústica do Museu de Serralves, e com isso perceber também a sensibilidade dos visitantes para as questões acústicas em museus.

O capítulo 7 permite o enquadramento da acústica do Museu de Serralves no âmbito funcional em que se enquadra, pois apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos com os de outros museus, permitindo assim comparar, também, a sua qualidade acústica.

No capítulo 8 são apresentadas algumas sugestões de correção acústicas das salas de exposição, expondo as características da intervenção, previsão de melhoria acústica e análise económica das mesmas.

No capítulo 9 apresentam-se, de forma sucinta, as conclusões retiradas deste trabalho, bem como algumas propostas para os desenvolvimentos futuros.

Por fim, apresenta-se de forma numerada e organizada a listagem de referências bibliográficas utilizadas em todo este estudo.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. INTRODUÇÃO

O Som é a base fundamental de todo este trabalho e a Acústica é o ramo da física que se ocupa do seu estudo e análise. Porém, o Som pode ser investigado enquanto fenómeno físico (objetivo) ou psicofísico (subjetivo). Importa também salientar que a Acústica subdivide-se (e só no que interessa a este trabalho) em duas grandes áreas: a Acústica Ambiental e a Acústica Arquitectónica, sendo que esta última “engloba a acústica de salas e a acústica de edifícios” e “estuda a geração, propagação e transmissão do som em espaços fechados, habitações e outros edifícios” [7].

A compreensão técnica deste trabalho só será possível com o conhecimento da ciência que tem por base. Para isso, apresenta-se o presente capítulo que servirá de uma pequena introdução à Acústica, apresentando os conceitos e definições fundamentais que sustentam este estudo.

2.2. BASES

2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM

O Som é uma sensação criada pelo cérebro em resposta à captação pelo sistema auditivo da alteração de pressão que propaga no ar sob a forma de ondas de compressão seguidas de dilatação ou rarefação. Estas ondas têm forma esférica e concêntrica com a fonte sonora ao centro, sendo esse ponto, o ponto onde se altera a pressão. Este fenómeno só é possível em meios elásticos tal como o ar, a água, materiais sólidos, etc. e consiste na vibração do meio que, quando estimulado, transmite esse mesmo estímulo às moléculas ou partículas adjacentes gerando as ondas sonoras. Quando essa vibração, transmitida ao cérebro, for agradável ou representar algum significado, então, tem-se o Som; se, pelo contrário, não representar algum significado ou for desagradável então tem-se o Ruído. A sensação de estar perante Som ou Ruído é variável de pessoa para pessoa e depende da definição que cada um atribui a um determinado estímulo baseando-se em conceitos subjetivos, podendo o mesmo estímulo ser considerado Som para uma determinada pessoa e para outra ser considerado Ruído. [1, 8]

Para a caracterização de um determinado som é indispensável analisá-lo sob três domínios: Pressão, Frequência e Tempo que, embora distintos se complementam.

2.2.2. CELERIDADE

Celeridade ou velocidade de propagação das ondas sonoras é a distância percorrida por uma frente de onda, por unidade de tempo e num determinado meio. Esta velocidade depende das características

desse meio, mas, quando analisada apenas para o ar, a velocidade de propagação das ondas sonoras é função da temperatura, representada pela expressão (2.1):

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

Em que T é a temperatura em kelvin (K), podendo ser convertida para graus Celsius (°C) através da expressão (2.2):

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15 \quad (2.2)$$

A temperatura do ar tem ainda um efeito significativo na velocidade de propagação do som, sendo esta de 331,6 m/s para 0 °C e de 344 m/s para 20 °C, o que representa um incremento de 6 m/s a cada 10 °C de temperatura. [8]

2.2.3. PRESSÃO SONORA

Como já foi referido, a propagação do som é devida à vibração do meio causada pela variação da pressão no ar. Desta forma, a variação de pressão é o elemento mais importante a ser medido, devendo tomar-se como referência a pressão atmosférica normal (P_{at}) que, no nosso planeta, é aproximadamente 101.400 Pa ($\approx 10^5$ Pa). Será uma muito pequena escala de variação de pressão em torno da P_{at} que o ouvido humano conseguirá captar, mesmo num ruído muito intenso, como será o caso de um avião, esta variação não passará de 10 Pa. [1]

2.2.4. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora (I) de uma onda sonora define-se como sendo a quantidade média de energia que atravessa uma unidade de área (1 m^2), perpendicular à direção da onda, e por unidade de tempo (segundo). Esta grandeza quantifica-se em W/m^2 . [8, 9]

A potência sonora (W) é uma característica da fonte e é definida como a quantidade de energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte. Quantifica-se em W. [8, 9]

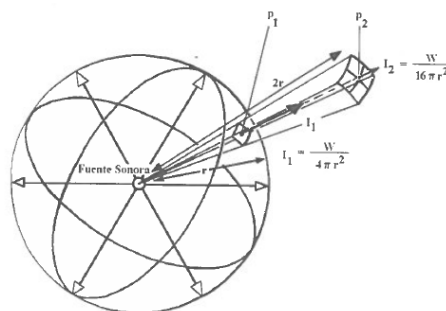


Fig. 2.1 – Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) [1].

Uma fonte sonora emite uma potência em watt (W) e, considerando uma esfera imaginária rodeando a fonte e com raio r , a área da esfera será $4\pi r^2$ (Fig. 2.1). Assim, a intensidade sonora I na direção radial será:

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

Em que:

I – intensidade sonora (W/m²);

W – potência sonora (W);

r – distância (m);

p – pressão sonora (Pa);

ρ – massa volúmica do meio (ar) (kg/m³);

c – celeridade (m/s);

$\rho \cdot c \approx 400$ rayl (N.s/m³).

Verifica-se pela expressão 2.3 que, para uma fonte pontual num campo livre, a intensidade na direção radial varia inversamente com o quadrado da distância à fonte. Note-se que, ainda que o ouvido humano esteja sensível à pressão sonora, o conceito de intensidade torna-se muito útil por permitir relacioná-la com a potência sonora. [8]

2.2.5. NÍVEIS

Sendo a gama de audibilidade humana muito grande, variando entre os 10⁻⁵ Pa correspondentes ao *limiar da audição* e os 100 Pa correspondentes ao *limiar da dor*, é comum expressar os valores da pressão, intensidade e potência em níveis. Um nível é basicamente uma fração, indicada como 10 vezes o logaritmo da razão entre dois números. Também o ouvido humano responde não de forma linear aos estímulos, mas sim mais aproximadamente de uma escala logarítmica (Fig. 2.2). [1, 8]

A unidade a que se referem os níveis é o decibel (dB), um décimo do bel (B), pois expressa a relação entre um nível a um valor de referência. A conversão da escala linear em Pa para a escala logarítmica em dB conduz os níveis já referidos acima em 0 dB para o *limiar da audição* e, aproximadamente 130 dB para o *limiar da dor*. [1, 8]

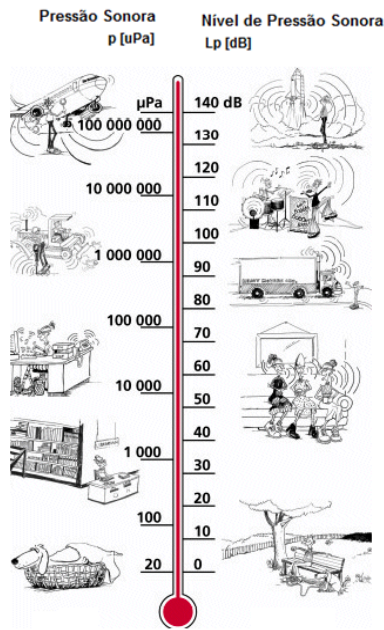


Fig. 2.2 – Pressão sonora (p) e níveis de pressão sonora (L_p) [10].

O nível de pressão sonora (L_p), expresso em dB, pode ser obtido pela expressão (2.4):

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

Em que:

P – pressão sonora (Pa);

p_0 – pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pa).

O nível de intensidade sonora (L_I), expresso em dB, é dado pela expressão (2.5):

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

Onde:

I – intensidade sonora (W/m^2);

I_0 – intensidade sonora de referência ($10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$).

O nível de potência sonora (L_W), expresso em dB, representa-se pela expressão (2.6):

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.6)$$

Onde:

W – potência sonora (W)

W_0 – potência sonora de referência (10^{-12} W)

A soma de n níveis de pressão, intensidade ou potência sonora expressos em *decibel* faz-se de forma não algébrica a partir da expressão (2.7):

$$L_{soma} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.7)$$

Pelo facto de existirem ruídos com durações muito distintas, torna-se necessário utilizar parâmetros descritores que permitam avaliar o ruído do ponto de vista temporal. Assim, surge o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}), que se define como sendo o nível que se atuasse num dado intervalo de tempo produziria a mesma energia que o som que se pretende avaliar. [1]

O nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}), expresso em dB, é calculado a partir da equação (2.8):

$$L_{eq} = 10 \times \log \left[\frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^N \left(t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right] \quad (2.8)$$

Em que:

T – tempo total (min.);

t_i – períodos de ocorrência (min.);

L_i – nível de pressão sonora (dB).

2.2.6. BANDAS DE FREQUÊNCIA

A Frequência de um som tem uma grande importância quando se pretende descrever o sinal sonoro, servindo, por vezes, para diferenciar fontes sonoras a emitir em simultâneo. Esta é expressa em unidades de ciclos por segundo, ou *hertz* (Hz), em homenagem ao físico Heinrich Hertz (1857-1894). [9]

Quando jovem e com audição normal, o ouvido humano é sensível a frequências entre os 20 Hz e os 20 kHz, reduzindo-se com a idade. Os sons de frequências inferiores a 20 Hz são denominados *infra-sons*, enquanto que os sons de frequências superiores a 20 kHz denominam-se *ultra-sons* (Fig. 2.3). [8]

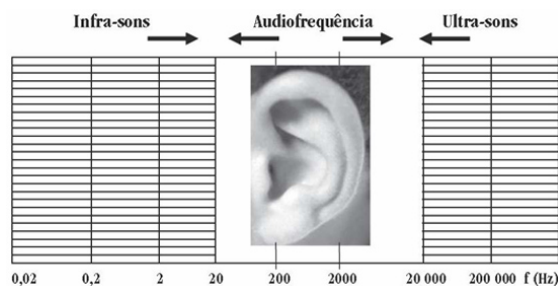


Fig. 2.3 – Gama de frequências (humanas) [11].

Em Acústica de Edifícios as gamas de frequências audíveis dividem-se em três categorias:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1 410 Hz;
- Frequências agudas: 1 410 a 20 000 Hz.

As bandas de frequência não são mais de que um agrupamento de frequências compreendido entre um limite inferior (f_1) e um limite superior (f_2), com um valor médio (f_0) denominado por frequência central:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.9)$$

A largura das bandas (B) representa a diferença entre os limites superior e inferior:

$$B = f_2 - f_1 \quad (2.10)$$

Existem bandas de frequência de várias larguras, mas na Acústica de Edifícios são utilizadas apenas as bandas de 1/1 oitava e de 1/3 oitava, compreendidas entre os 125 Hz e os 4000 Hz (Quadro 2.1 e Fig. 2.4).

Quadro 2.1 – Bandas de frequência utilizadas na Acústica de Edifícios (adaptado de [1]).

Bandas de Frequências [Hz]																
	Graves						Médias						Agudas			
1/1 oitava	125		250		500		1 000		2 000		4 000					
1/3 oitava	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150

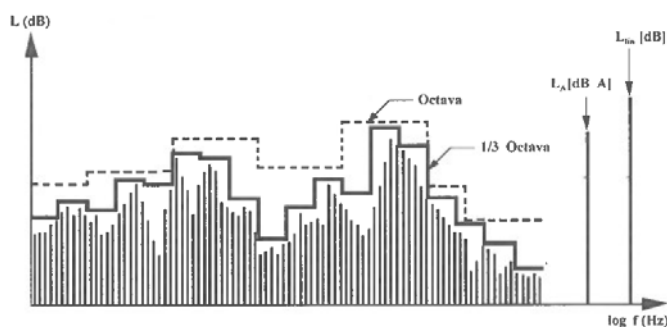


Fig. 2.4 – Espectro sonoro de um ruído representado em 1/1 oitava e em 1/3 de oitava [1].

2.2.7. CURVAS DE PONDERAÇÃO

Ao contrário dos equipamentos de medição sonora, a audição humana responde com diferente fidelidade às diferentes frequências, atribuindo maior ou menor importância a cada uma. O ouvido humano apresenta maior sensibilidade para as frequências na zona dos 2300 aos 2800 Hz, sendo muito pouco sensível às baixas frequências (inferiores a 125 Hz). Esta sensibilidade, porém, depende da intensidade sonora do próprio som. [1]

Atendendo a esta diferença de sensibilidade, Fletcher e Munson deduziram, experimentalmente, a relação existente entre o nível de pressão sonora, o nível sonoro e a frequência recorrendo a um grande número de jovens com audição normal. As linhas isofônicas ou curvas de igual percepção subjetiva da intensidade sonora (Fig. 2.5) e que representam os níveis sonoros que deveriam alcançar um som sinusoidal de uma frequência (f) para produzir a mesma sensação auditiva que um som sinusoidal de frequência 1000 Hz para uma determinada intensidade. Na figura 2.5, escalonada numericamente com a unidade denominada por *fone*, pode então verificar-se a perda gradual, mas acentuada de sensibilidade na audição de sons de baixa frequência representado no gráfico pelo elevado encurvamento das curvas de igual sensibilidade. [8]

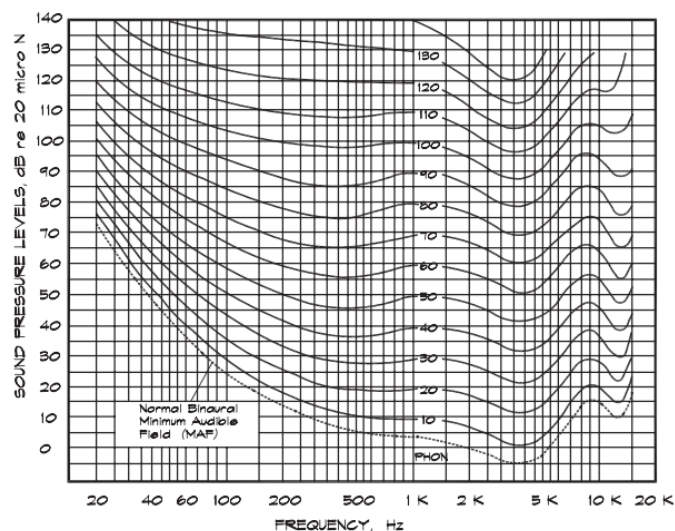


Fig. 2.5 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (em fone) [9].

Visto que os equipamentos medem a variação das pressões sonoras e sem sensibilidade em função da frequência, deve-se, portanto, ajustar a resposta dos equipamentos à audição humana procedendo a correções de sensibilidade. Nesse sentido, foram criados filtros eletrónicos para os aparelhos de medição que corrigem os valores rastreados em tempo real. As correções efetuadas por frequência seguem as designadas curvas de ponderação (Fig. 2.6), sendo a mais usual a curva (ou filtro) A, que é, sensivelmente o inverso da curva dos 40 fone. [1]

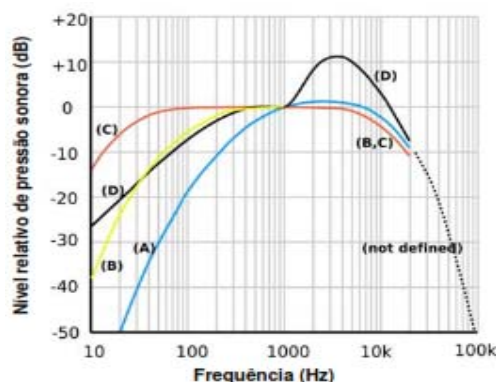


Fig. 2.6 – Curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [2].

O nível sonoro em dB(A) representa, através de um único valor, a energia acústica de um ruído filtrado por uma curva de ponderação A. Assim, a determinação de um nível sonoro passa pela soma algébrica dos valores corretivos do filtro A (Quadro 2.2) com os valores captados dos níveis de pressão sonora em dB, resultando na globalidade das bandas de frequência, no nível sonoro em dB(A). [1]

Quadro 2.2 – Valores numéricos de ponderação da curva A para bandas de frequência de 1/1 oitava e 1/3 de oitava na gama audível [1].

Bandas de Frequências (Hz)	Ponderação A para 1/3 Oitava	Ponderação A para 1/1 Oitava	Bandas de Frequências (Hz)	Ponderação A para 1/3 Oitava	Ponderação A para 1/1 Oitava
25	-44,7	-40	800	-0,8	0
31	-39,4		1 000	0	
40	-34,6		1 250	+0,6	
50	-30,2	-26	1 600	+1,0	+1
63	-26,2		2 000	+1,2	
80	-22,5		2 500	+1,3	
100	-19,1	-15,5	3 150	+1,2	+1
125	-16,1		4 000	+1,0	
160	-13,4		5 000	+0,5	
200	-10,9	-8,5	6 300	-0,1	-1
250	-8,6		8 000	-1,1	
315	-6,6		10 000	-2,5	
400	-4,8	-3	12 500	-4,3	-7
500	-3,2		16 000	-6,6	
630	-1,9		20 000	-9,3	

2.3. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

2.3.1. ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora é a propriedade que certos materiais possuem de poderem transformar parte da energia sonora que incide sobre eles em outro tipo de energia, normalmente a energia térmica. A absorção sonora é função não só das propriedades físicas do material, mas também das inúmeras condicionantes e detalhes construtivos, que variam significativamente de caso para caso. [1, 12]

Quando uma onda sonora intersecta determinada superfície, uma parte da sua energia é refletida, outra atravessa o material e a restante é absorvida (Fig. 2.7). Assim, quanto mais significativa for a absorção sonora, maior será a redução da energia refletida, tendo este fenómeno um grande impacto na diminuição da reverberação do espaço interior subjacente. [9]

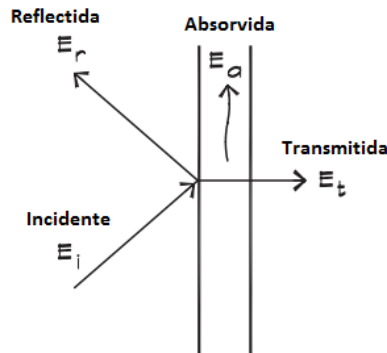


Fig. 2.7 – Interação das ondas sonoras com as superfícies [9].

A absorção sonora é expressa pelo coeficiente de absorção sonora α (alfa), definido pela razão entre a quantidade de energia sonora que é absorvida por determinado material e a energia que sobre ele incide. Apenas se poderão considerar como “absorventes” aqueles que apresentam um coeficiente de absorção (α) superior a 0,5, o que significa que absorvem pelo menos 50% da energia sonora incidente. Este coeficiente varia pois entre 0 e 1, em que 0 representa um material sem absorção e 1 representa a absorção total. Importa ainda salientar que o coeficiente de absorção sonora depende do ângulo de incidência das ondas sonoras, portanto para que aquele possa ser apresentado apenas num único valor por frequência, admite-se que todas as incidências ocorrem com probabilidade igual, pressupondo a distribuição aleatória das ondas sonoras e um elevado número de incidências nos elementos de contorno. [1, 13]

A determinação do coeficiente de absorção sonora pode ser realizada por dois métodos: método do tubo de ondas estacionárias e método da câmara reverberante, sendo este último apesar de mais trabalhoso e demorado, o mais preciso devido à criação de um campo difuso. [9]

O coeficiente de absorção sonora varia em frequência e, por isso, surge a necessidade de caracterizar os materiais sob um único valor. Nesse sentido, podem utilizar-se dois parâmetros: o *NRC* (*noise reduction coefficient*), ou o α_w . O primeiro, e mais usual, especialmente nos EUA e Canadá, é calculado pela expressão a seguir (2.11), arredondada para o múltiplo de 0,05 mais próximo:

$$NRC = \frac{1}{4}(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) \quad (2.11)$$

O segundo, e mais usual na Europa, é obtido conforme a norma EN ISO 11654 pelo ajuste ponderado de uma curva de referência usando as bandas de oitava dos 250 aos 4000Hz [1].

Note-se que a absorção sonora é uma propriedade com grande importância na acústica de edifícios e a sua gestão adequada poderá permitir a otimização sonora de muitos espaços que, por falta de absorção, se refletem de patologias acústicas.

2.3.2. REVERBERAÇÃO

Uma fonte sonora num espaço fechado emite ondas sonoras que alcançam o recetor, algumas com origem direta e outras com origem refletida. As ondas de origem direta são aquelas que partem da fonte e alcançam o recetor através de um percurso rectilíneo. As restantes ondas são de origem refletida (ou reverberada), pois só atingem o recetor depois de sofrerem uma ou mais reflexões em superfícies. [1]

As ondas diretas são sempre seguidas de um conjunto de ondas refletidas (Fig. 2.8). Estas chegam ao recetor com menor intensidade de que aquela com que partiram, pois, para além das consecutivas absorções em cada reflexão em superfícies da envolvente e móveis, também o efeito de absorção do ar tem o seu contributo, especialmente em espaços maiores.

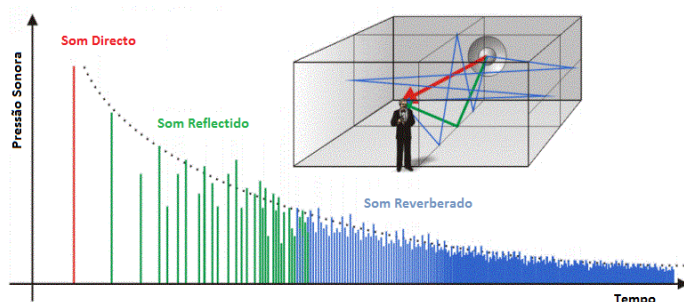


Fig. 2.8 – Som direto e refletido e a sua evolução no tempo [14].

A existência de superfícies muito refletoras leva, em muitos casos, a efeitos danosos na acústica dos compartimentos, proporcionando elevada reverberação e ecos. O efeito mais importante de uma elevada reverberação é a perda de inteligibilidade da palavra que, devido à diferente intensidade e duração a que são emitidas as consoantes das vogais, acaba por se perder o sentido das palavras. Já os ecos são reflexões que chegam suficientemente atrasadas em relação ao som direto, mas ainda suficientemente fortes para serem claramente distinguidas pelo ouvido humano criando um desconforto substancial aos utilizadores do espaço. [1]

A quantificação da reverberação é muito importante para se poder aferir a qualidade acústica dos espaços e poder também compará-la com outros locais semelhantes. O parâmetro que permite quantificar a reverberação é o *tempo de reverberação* (T_R) e corresponde ao intervalo de tempo (em segundos) que um qualquer som demora a extinguir-se por completo desde o momento em que a fonte pára de emitir, ou seja, o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB, desde que a fonte sonora cessa de emitir. [1]

Esta ideia de que existe um tempo para extinção do som num espaço fechado relacionável com as características do espaço é originária de Wallace Clement Sabine e foi colocada em prática pelo próprio quando lhe propuseram corrigir o problema de inteligibilidade na sala Fogg Art Museum da Universidade de Harvard. Depois de muitas tentativas o físico americano determinou a relação entre a absorção sonora, o volume e o tempo de reverberação, representada por aquela que agora é conhecida pela Fórmula de Sabine (1898):

$$T = \frac{0,16.V}{A} \quad (2.12)$$

Na qual:

T – Tempo de reverberação (s);

V – Volume do compartimento (m³);

A – Absorção sonora equivalente (m²).

Se se pretender abordar o tempo de reverberação de uma forma mais genérica poderá então usar-se a fórmula de Sabine escrita de forma mais detalhada, representando uma parcela que respeita a absorções sonoras localizadas (móveis, pessoas, etc.) e outra respeitante à absorção sonora do ar, pelo que se obtém a seguinte fórmula (2.13):

$$T = \frac{0,16.V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i.S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m.V} \quad (2.13)$$

Em que:

α – coeficiente de absorção sonora do material (sem unidades);

S – superfície real do material (m²);

A_j – absorções sonoras localizadas (m²);

m – absorção sonora (m⁻¹) em função da humidade relativa do ar (m²);

V – volume do compartimento (m³).

2.3.3. CAMPO SONORO

O campo sonoro criado num recinto fechado é composto pelo campo sonoro originado pelas ondas diretas (campo direto) e pelo campo sonoro originado pelas ondas refletidas (campo reverberado). Estes dois campos sobrepõem-se mas tendem a ter preponderância em zonas diferentes do recinto, pois o som direto chega em primeiro lugar ao recetor e o campo direto é, assim, criado mais próximo da fonte sonora, enquanto que o som refletido chega com algum atraso em relação ao primeiro devido ao maior percurso percorrido, tornando mais afastado da fonte o campo reverberado. O campo direto enfraquece com a distância, enquanto que o campo reverberado é função da absorção sonora do espaço. [1, 15]

A intensidade sonora perceptível num espaço (L_I) resulta da soma do nível de potência sonora da fonte (L_W) com a parcela referente ao campo direto e campo reverberado. O campo direto depende da direccionalidade da fonte (Q) e da distância dessa mesma fonte ao recetor (r). O campo reverberado depende unicamente da relação do espaço com as condições de absorção locais, representadas pela redução sonora (R). [1]

O nível de intensidade sonora perceptível (L_I), medido em dB, é representada pela expressão (2.14):

$$L_I = L_W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi.r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.14)$$

Onde:

$$R = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{médio}}} \quad (2.15)$$

O conhecimento dos conceitos relativos ao campo sonoro são fundamentais quando se pretende corrigir a acústica de espaços fechados, permitindo que se estude o melhor modo de atuação e que poderá ser tanto referente ao campo direto como ao campo reverberado. No campo direto a gestão da direccionalidade Q ou a colocação de ecrãs poderão ser algumas alternativas, enquanto no campo reverberado, se assim se entender, poderá aumentar-se a absorção sonora A que se reflete no aumento de R . [1]

2.3.4. RUÍDO DE FUNDO E CURVAS DE INCOMODIDADE

O ruído de fundo, na Acústica de Edifícios, é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade acústica de um espaço. Aquele pode ser definido como sendo o ruído resultante de todas as atividades externas ao uso do espaço pelo utente. O ruído de fundo pode ter uma infinidade de causas, como atividades exteriores aos edifícios, circulação de veículos e/ou pessoas, ruído de equipamentos diversos, como AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), etc.

O ruído de fundo, tal como qualquer outro ruído, tem consequências ao nível físico, mental e emocional das pessoas, podendo originar dificuldades de comunicação, desconforto, nervos, fadiga, perda de concentração, etc.

Mark Andrews, professor na Seton Hill University in Greensburg (EUA), acerca do efeito do ruído de fundo na concentração das pessoas, refere que *“de acordo com o Instituto Nacional de Saúde e Segurança no Trabalho (dos EUA), o ruído ambiente afecta a saúde das pessoas, aumentando os níveis de stress e agrava as condições relacionadas com hipertensão arterial, doenças coronárias, úlceras pépticas e enxaquecas.”* [16]

Este autor refere ainda que algumas provas recentes indicam que, sob ruído constante, a região do cérebro responsável pelo armazenamento das memórias a curto prazo poderá ser afetada e comprometer a capacidade das pessoas pensarem claramente e reterem informações.

Em suma: *“O stress resultante do ruído de fundo pode diminuir a mais alta função do cérebro, prejudicando a aprendizagem e a memória.”* [16]

Para avaliar objetivamente o grau de incomodidade que o ruído provoca nas pessoas, deve recorrer-se a métodos que relacionam os níveis de pressão sonora com um conjunto de curvas de referência criadas para o efeito. Existem várias curvas que permitem fazê-lo, como são exemplos as curvas NC (*Noise Criterion*), NR (*Noise Rating*), RC (*Room Criterion*) e a NCB (*Balanced Boise Criterion*). De todas, as curvas mais usuais são a *Noise Criterion* (NC) e a *Noise Rating* (NR), mais no contexto europeu. [1, 12]

As curvas *Noise Criterion* (NC) foram propostas por Leo Beranek, em 1957, e permitem comparar a incomodidade causada por determinado ruído com os valores recomendados de incomodidade estabelecidos para os diferentes tipos de edifícios e usos (Fig. 2.9 e Quadro 2.3). [1]

Dizer que um recinto cumpre uma determinada especificação NC (por exemplo NC-51) significa que o menor valor da curva NC, que não é excedido por nenhum nível de pressão sonora (em banda de oitava) é o correspondente à designação (neste exemplo a curva 51). [1]

As curvas *Noise Rating* (NR) foram propostas por Kosten e Van Os em 1962 e são muito semelhantes às curvas NC, determinando-se, da mesma forma, através do método da tangente, embora estas utilizem as bandas de oitava entre os 32 Hz e os 8000 Hz (Fig. 2.10 e Quadro 2.4). [1]

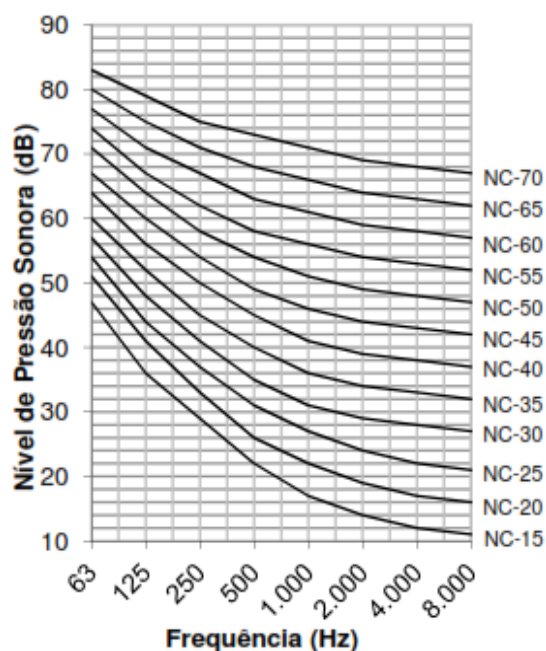


Fig. 2.9 – Curva NC (*Noise Criterion*) [2].

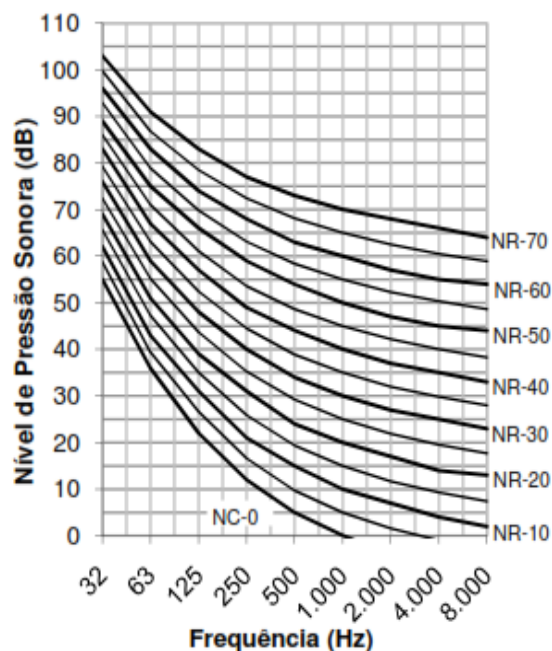


Fig. 2.10 – Curva NR (*Noise Rating*) [2].

Tanto as curvas NC como as curvas NR têm aproximadamente o mesmo andamento das curvas de sensibilidade do ouvido humano por frequência, o que significa que para uma determinada curva NC/NR os níveis de pressão sonora permitidos são diferentes em função da frequência. Nas frequências mais baixas, como a sensibilidade do ouvido é menor, o ruído pode então atuar com maior nível de pressão sonora; já para as altas frequências, a redução do nível de pressão sonora admitida é bastante acentuada para a mesma curva. [12]

Pelo facto de o ruído de fundo ser medido através do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), e para o seu cálculo ser necessário o recurso a sonómetros com filtro de medição frequencial, quando não se dispõe dos mesmos, poderá ser bastante vantajoso a utilização de uma tabela de equivalência que de forma indireta e aproximada permite relacionar este parâmetro com as curvas NC (Quadro 2.3). [12]

Quadro 2.3 – Valores máximos recomendados para as curvas NC e o nível sonoro equivalente para ruído de fundo (adaptado de [12]).

Tipo de local	NC	Equivalência em dB(A)
Estúdios de gravação	15	28
Salas de concerto e teatros	15-25	28-38
Hotéis (zonas privadas)	20-30	33-42
Salas de conferências / Aulas	20-30	33-42
Bibliotecas	30-35	42-46
Hotéis (zonas públicas)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de informática	35-45	46-55
Cafetarias	40-45	50-55
Ginásios e polidesportivos	40-50	50-60
Oficinas de máquinas leves	45-55	55-65
Oficinas de máquinas pesadas	50-65	60-75

Quadro 2.4 – Valores máximos recomendados para as curvas NR (adaptado de [12]).

Tipo de local	NR
Estúdios de rádio e gravação	≤15
Teatros, salas de espectáculos	15-20
Salas de aula, salas de música, quartos de dormir	20-25
Salas de conferências, cinemas, hospitais, igrejas, tribunais, bibliotecas	25-30
Átrios, corredores, restaurantes, escritórios, lojas	35-40
Supermercados, cantinas	40-45
Ginásios, escritórios com equipamento comercial, locais e dactilografia	45-50
Oficinas, locais de trabalhos leves de engenharia	50-60
Fundições, locais de trabalhos pesados de engenharia	60-70

2.3.5. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra é um fator fulcral na acústica de edifícios em que a transmissão de mensagens através da palavra seja importante, como é o caso de salas de conferências, salas de aulas, locais de oração, teatros, cinemas, etc.

Segundo Marshall Long: “A inteligibilidade da palavra é uma medida direta da fração de palavras ou frases compreendidas pelo ouvinte.” [9]

A inteligibilidade da palavra num lugar não depende unicamente das características físicas desse lugar, mas também das características da própria voz do orador, que deve ser analisada segundo a frequência, intensidade, duração e direccionalidade. [1]

As palavras apresentam no domínio da frequência uma gama muito vasta (Fig. 2.11), variando também em função da língua em que são proferidas. As vogais utilizam as baixas frequências, enquanto as consoantes usam altas frequências, tenha-se como exemplo as palavras que usam a vogal *u* que compreendem as frequências entre 150 Hz e 300 Hz, e as palavras que usam a consoante *s* que compreendem frequências entre os 3500 Hz e os 7000 Hz. A variabilidade entre as vogais e

consoantes também se verifica no nível de pressão sonora característico de cada uma, sendo que as vogais apresentam-no superior entre 21 e 28 dB. [1]

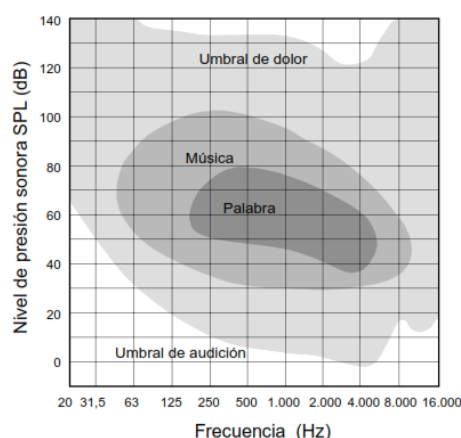


Fig. 2.11 – Níveis de pressão sonora e gama de frequências audíveis [12].

A duração com que são emitidas as vogais é em média 90 ms enquanto que a duração de emissão das consoantes é de 20 ms. Este facto poderá levar a que num espaço com tempo de reverberação elevado a fruição da palavra se torne demasiado custosa ou mesmo imperceptível. [1]

Naquilo que concerne à direccionalidade, a voz não emite com a mesma força em todas as direcções, emitindo preferencialmente para a frente do orador mas com variabilidade direccional em função da frequência. Este facto deve-se principalmente à direcção da boca estar voltada para a frente e a cabeça e torso criarem uma sombra sonora que provoca uma redução na amplitude sonora (Fig. 2.12). Verifica-se que também esta variabilidade é mais notória nas altas que nas baixas frequências. [1]

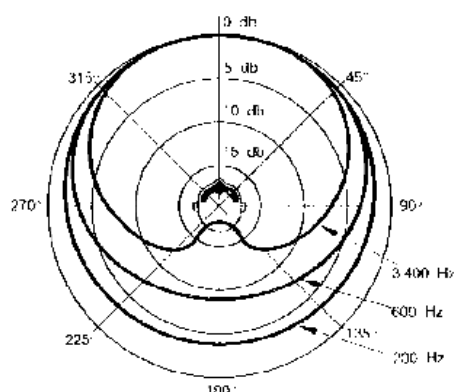


Fig. 2.12 – Contornos da emissão da palavra no plano horizontal [2].

A inteligibilidade da palavra pode ser avaliada de forma objetiva ou subjetiva por diversos métodos. Os métodos subjetivos de avaliação consistem em realizar a leitura de frases, palavras de uma sílaba e sílabas sem sentido, com nível crescente de dificuldade de percepção na presença de ruído, para um conjunto de indivíduos convidados, que devem identificar corretamente aquilo que ouvem. Já a avaliação objetiva da inteligibilidade da palavra é obtida através de parâmetros que não necessitam da intervenção subjetiva humana e podem ser o AI (*Articulation Index*), o SIL (*Speech Interference Level*), o AC (*Articulation Class*) e STI ou RASTI (*RApid Speech Transmission Index*). [1]

2.3.6. ISOLAMENTO SONORO E CORREÇÃO ACÚSTICA

Na Acústica de Edifícios os conceitos de isolamento sonoro e de correção acústica devem ser distinguidos sob duas prespetivas. O isolamento sonoro refere-se ao tratamento acústico de um compartimento com vista a controlar as emissões de sons emitidos entre locais contíguos; já a correção acústica tem uma perspetiva muito diferente, pois tem como objetivo apenas corrigir um compartimento para o som que aí vai ser emitido. [1]

Numa correção acústica deve-se atuar essencialmente nas diversas superfícies (interiores) de uma sala com as quais o som irá interagir, criando condições de absorção sonora ou de difusão acústica, conforme o objetivo a atingir. Assim, é fundamental colocar os materiais adequados nos locais corretos, sendo para isso necessário perceber qual o material a usar em cada situação.

Os materiais ou sistemas absorventes sonoros dividem-se em três grupos (em função das suas características):

- Porosos e fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

Estes grupos de materiais distinguem-se fundamentalmente pelas frequências em que são mais eficazes. Os materiais porosos e fibrosos apresentam melhor desempenho nas altas frequências, ao passo que os ressonadores são melhores nas médias e as membranas nas baixas frequências (Fig. 2.13). [1]

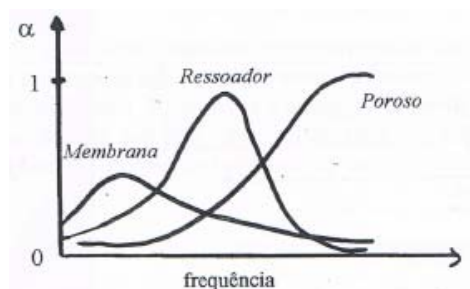


Fig. 2.13 – Comportamento em frequência dos três grupos de materiais e sistemas absorventes [1].

Os materiais porosos e fibrosos apresentam um mecanismo de absorção sonora baseada na existência de poros e interstícios, daí serem muitas vezes texturados, e a sua eficácia depende essencialmente da densidade e espessura. Muito embora, materiais com fibras muito soltas e afastadas ou muito concentradas não são habitualmente eficazes. Deve ter-se em consideração que a eficiência destes materiais está dependente da sua capacidade de dissipar energia através dos seus pequenos poros, portanto se estes forem por alguma razão preenchidos com outros materiais a sua eficiência pode ficar fortemente comprometida. Exemplo disso é a pintura inadequada ao tipo de material. [1]

Dentro do grupo dos materiais porosos e fibrosos estes agrupam-se ainda em diversos tipos, função das suas características físicas, podem ser:

- Tecidos e alcatifas;
- Massas porosas;

- Aglomerados de fibras de madeira;
- Fibras minerais;
- Materiais plásticos;
- Aglomerados de cortiça.

Os ressoadores são sistemas formados por uma cavidade (com paredes rígidas) e uma única abertura (estreita), podendo estes serem isolados (ou de Helmholtz) ou agrupados. Para que se perceba a forma de um ressoador de Helmholtz ele assemelha-se a uma garrafa vazia, enquanto que os ressoadores agrupados podem ser materializados por painéis perfurados. Embora estes sistemas sejam mais eficazes nas médias frequências, a associação de materiais absorventes sonoros pode conceder-lhes um alargamento da faixa de frequências em que atuam. [1]

As membranas são porém sistemas que permitem a absorção sonora a partir da vibração de toda a sua estrutura, geralmente constituída por grandes áreas com painéis de pequena espessura, conseguindo a absorção através de perdas de calor por fricção nas suas fibras na situação em que o material entra em flexão. [1]

2.4. PARÂMETROS ACÚSTICOS

2.4.1. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS

2.4.1.1. Tempo de Reverberação (T_R)

A caracterização da reverberação de um espaço é realizada através da medição do tempo de reverberação (já mencionado neste capítulo) através do decaimento do nível de pressão sonora de 60 dB. Contudo é muito difícil encontrar as condições práticas para que isto aconteça, pois o ruído de fundo acaba muitas das vezes por se sobrepor antes da “extinção” do som emitido pela fonte sonora. Por este motivo, recorre-se habitualmente ao enfraquecimento do sinal em 30 dB ou 20 dB e procede-se à extrapolação do decaimento obtido para se determinar o tempo de reverberação, designado então por T_{30} ou T_{20} , respetivamente. [1]

2.4.1.2. RASTI (*RApid Speech Transmission Index*)

Quando uma fonte sonora transmite a *palavra* num determinado local ela não é recebida pelos ouvintes com a mesma exatidão do som originalmente emitido, pois o som é distorcido e mascarado pelo ruído de fundo que poderá existir (por várias causas) e pelas múltiplas reflexões nas superfícies do local. Como consequência destas distorções tem-se uma redução da inteligibilidade do discurso emitido. [4]

Para a avaliação da inteligibilidade da palavra num local por parâmetros acústicos objetivos realiza-se a medição do STI (*Speech Transmission Index*) ou, do processo mais rápido e prático, RASTI (*RApid Speech Transmission Index*) que apenas mede em duas bandas de frequência (500 Hz e 2 kHz).[4]

O processo de medição do RASTI consiste na emissão de um sinal que produz uma excitação semelhante à provocada pelas palavras e que correlaciona as reduções de profundidade da modulação com a perda de inteligibilidade. Os resultados obtidos são expressos numa escala de 0 a 1, em que 0 corresponde a uma inteligibilidade nula (correspondente a um grau de privacidade confidencial) e, 1 a uma ótima inteligibilidade (equivalente a uma privacidade muito baixa ou nula). [4]

2.4.1.3. AI (*Articulation Index*)

O método do *Articulation Index* pretende determinar o grau de privacidade e de inteligibilidade da palavra através da diferença entre o nível de conversação de referência (nc) e o ruído de fundo existente no local (rf), pesada através da importância relativa de cada frequência na *emissão da palavra* (p). [1]

Quadro 2.5 – Percepção subjetiva de privacidade e inteligibilidade da palavra em função do valor de AI [1] .

AI	Grau de Privacidade	Grau de inteligibilidade
< 0,05	Confidencial	Nula
[0,05 - 0,20[	Normal privacidade	Muito fraca
[0,20 - 0,35[	Marginal	Fraca
[0,35 - 0,40[	Pobre	Sofrível
[0,40 - 0,65[	Em geral, sem privacidade	Boa
≥ 0,65	Privacidade totalmente inexistente	Excelente comunicação

2.4.2. PARÂMETROS ACÚSTICOS SUBJETIVOS

2.4.2.1. Ruído de Fundo

A avaliação subjetiva do ruído de fundo é dependente da opinião dos auditores, e tem como objetivo a definição/identificação por estes dos sons escutados no local que não correspondem às fontes sonoras específicas desse local nem dos próprios auditores, como podem ser o ruído de tráfego, sistemas de ventilação e outros tipos de ruído que perturbem a audição e a comunicação dos visitantes. [1]

2.4.2.2. Intensidade do Som

A intensidade do som corresponde à intensidade geral ou volume do som que é sentido no local, e está diretamente relacionada com a mistura das intensidades do som direto e do som reverberante. [1]

2.4.2.3. Reverberância

A reverberância ou “vivacidade” define a permanência do som num espaço, dando a ideia aproximada do tempo que este permanece no local após cessar a fonte sonora. Este parâmetro subjetivo está relacionado com o tempo de reverberação (TR) do espaço e representa o tempo necessário para um som intenso decair até um nível não audível. Um local reverberante é considerado como “vivo”; já um local que apresente reverberação reduzida é denominado “morto” ou “seco”. Esta sensação de vivacidade está dependente fundamentalmente do tempo de reverberação nas médias frequências, embora em alguns espaços possa estar mais dependentes do tempo de decaimento curto (EDT). Uma região que apresente um EDT consideravelmente inferior ao tempo de reverberação traduzir-se-á numa zona menos “viva”. [17]

3

OS MUSEUS E A ACÚSTICA

3.1. O QUE É UM MUSEU

A definição de Museu tem evoluído ao longo da história, acompanhando os desenvolvimentos da sociedade. O *International Council of Museums* (ICOM) criou em 1946 a sua primeira definição, que é atualizada em conformidade com as realidades da comunidade global representada pelos museus. A definição de referência da comunidade internacional é de acordo com esta instituição (2007):

“O museu é uma instituição sem fins lucrativos, permanente e ao serviço da sociedade e seu desenvolvimento, aberta ao público, que adquire, conserva, pesquisa, comunica e exhibe o património tangível e intangível da humanidade e seu meio ambiente para fins de educação, estudo e diversão.” [18]

Outros autores apresentam algumas variantes mais poéticas da definição de museu, como a que se apresenta a seguir, proposta pelo Instituto Brasileiro de Museus:

“Os museus são casas que guardam e apresentam sonhos, sentimentos, pensamentos e intuições que ganham corpo através de imagens, cores, sons e formas. Os museus são pontes, portas e janelas que ligam e desligam mundos, tempos, culturas e pessoas diferentes. Os museus são conceitos e práticas em metamorfose. Aqui você pode observar esse processo de mudanças através de uma pequena coleção de definições.” [19]

O estudo dos museus diz respeito à museologia, ciência que trata das teorias e princípios de conservação e apresentação das obras de arte. A museografia por sinal, diz respeito ao planeamento arquitetónico, aspetos administrativos e gestão dos espaços museísticos, sendo neste conceito que o presente trabalho se insere. [20]

A necessidade da existência de museus parte do verdadeiro sentido humano, que para se perpetuar culturalmente tenta conservar parte da sua memória coletiva e ao mesmo tempo transmitir às novas gerações os valores fundamentais do seu património cultural. Essa mesma necessidade é proferida implicitamente no século XVIII num discurso do Marquês do Pombal, que refere:

“E porque muitas pessoas particulares por gosto, e curiosidade tem ajuntado muitas Collecções deste género, que fechadas nos seus Gabinetes privados não produzem utilidade alguma na Instrução pública; e ficam pela maior parte na mão de herdeiros destituídos do mesmo gosto; os quaes não sómente as não sabem conservar; mas também as dissipam, e destroem; e poderão os ditos primeiros possuidores deixar as referidas Collecções ao Gabinete da Universidade, que deve ser o Thesouro público da História Natural, para a Instrucção da Mocidade, que de todas as partes dos meus Reinos, e Senhorios a ella concorrem.” (Estatutos da Universidade de Coimbra, 1772) [21]

Os museus cumprem também uma função social imprescindível, que é a de interpretar os modos de vida locais, num mundo cada vez mais multicultural. [20]

Revière (1989) refere que *“o museu tem por objeto ser espelho das comunidades para ajudá-las a descobrir quem são, de onde vêm e para onde vão. Do mesmo modo o museu tem por objetivo ser janela ou vidro”* [20]. Macdonald (1992) acrescenta que *“é vital que os museus respondam às questões que vão sendo colocadas pelo seu ambiente social de modo a manter a sua relevância no contexto de necessidades e objetivos sociais em mudança”* [22].

No campo museológico existe uma grande variedade de género de museus: museus de arte, arqueologia, história, ciências naturais, tecnologia, etnografia, etnologia e antropologia; museus locais, regionais, nacionais, mundiais; museus públicos e museus privados. Para todos, os principais objetivos são conservar, investigar e difundir o património natural e cultural, associando a estes objetivos os de educar e fazer usufruir. Os museus pretendem, contudo, promover o estímulo social à participação da comunidade nas suas programações e divulgações da cultura nos diversos segmentos da população, que se realiza através da contemplação das obras de arte expostas. [20, 22]

As necessidades educacionais e culturais da sociedade contemporânea levam, cada vez com maior frequência aos museus, os cidadãos, estudiosos e viajantes estrangeiros, que a eles acorrem para satisfazer seus anseios intelectuais. Esta necessidade é efetivada por parte dos museus, por meio das suas coleções, tudo o que concerne à história natural, à arqueologia, à etnologia, à antropologia, à arte, apresentando os indícios de sociedades primitivas, os patrimônios permanentes naturais, as novas invenções e descobertas, revelando-os para os visitantes como um legado para a preservação da história, da biologia, da moral, da religião, da cultura e da estética. [22]

Para atender à função educativa muitos museus garantem ainda programas sistemáticos de visitas guiadas, usualmente para estudantes ou cursos para professores e educadores, que lhes possibilitem desenvolver técnicas de ensino que utilizam o estudo de coleções museológicas, criando situações lúdicas e reflexivas frente às obras, procurando questioná-las e compreendê-las, de modo que sejam assimiladas e relacionadas com o quotidiano. [22]

3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A palavra *museu* deriva do latim *museum* e tem na sua origem as palavras gregas *mousa* (templo das nove musas, ligadas a diferentes ramos das artes e das ciências, filhas de Zeus e de Mnemosine, divindade da memória) e *mouseion*, que designava a parte do palácio de Ptolomeu I, em Alexandria no Egito (Fig. 3.1), onde sábios e filósofos se reuniam para estudar as ciências, as letras e as artes. Este local, constituído de biblioteca, salão de leitura, jardim botânico, zoológico, observatório, entre outros, é considerado como o primeiro museu. [22]



Fig. 3.1 – Antiga biblioteca de Alexandria [23].

Pode admitir-se que os museus são tão antigos quanto a própria história da humanidade. Os museus existem desde que o ser humano começou a guardar e colecionar, para si, ou para os seus deuses, objetos de valor em locais construídos particularmente para esse efeito. Desde a Idade Média, a aristocracia e a Igreja são as grandes responsáveis pela organização de coleções, que estão na origem dos museus. [24]

Com a criação de novos grupos sociais, na segunda metade do século XIV, determinados pelo monopólio de conhecimentos e capacidades específicas, sendo estes, os humanistas, os antiquários, os artistas e os cientistas, aparecem também novos locais em que se formam coleções como é o caso das bibliotecas e gabinetes. No século XV os gabinetes de curiosidades (ou câmaras de maravilhas), como lhes chamavam, pertencentes a príncipes e sábios, acumulavam objetos variados resultantes da expansão das viagens ultramarinas (Fig. 3.2). [24, 25]



Fig. 3.2 – Gabinetes de Curiosidades de Ole Worm, Copenhaga [26].

Até ao século XVIII as coleções particulares não estavam acessíveis à maior parte da população, com exceção dos acervos da Igreja, vindo esta regra a ser alterada mais tarde com a criação de fundos públicos, materializados primeiro em bibliotecas e depois os museus, onde a população poderia ter-lhes acesso.

Os museus, ao contrário das coleções privadas, passam a ter carácter público e permanente, gerados a partir de doações, compra de coleções particulares pelo Estado, nacionalização de antigas propriedades reais, nobiliárias e eclesiásticas. [25]

O primeiro espaço dedicado exclusivamente às artes, desvinculado do objetivo decorativo, surge em Florença no final do século XVI quando François I decide aproveitar o último andar do seu edifício,

com um grande corredor que serviria de passagem entre os diferentes palácios, para reunir toda a sua grande coleção de obras de arte, que antes tinha dispersa. Esse espaço adotou o nome de *galerie*, vindo com o passar do tempo a tornar-se sinónimo de sala reservada a coleções de arte. A *Galleria degli Uffizi* (Fig. 3.3) tornou-se uma referência no imaginário burguês de prestígio e importância. [24]

O primeiro museu privado da Europa é portanto o Palácio Médici em Florença (Itália) e é repleto de uma grande quantidade de objetos e ornamentações ostensivas como prova da nobreza de outrora.



Fig. 3.3 – Vista do corredor da *Galleria degli Uffizi*, Florença [27].

Apesar da existência dos museus públicos há já alguns séculos, havia até ao século XX uma série de limitações e dificuldades que restringiam o acesso aos museus a grande parte da população, coisa que deixa de existir nessa data, e os museus tornam-se um fenómeno de massas. [24]

Os museus nasceram e cresceram em todo o mundo pela necessidade de uma burguesia em ascensão e localizaram-se em palácios, alguns deles antigas sedes das monarquias, como é o caso do Museu do Louvre (Fig. 3.4), em Paris, que ocupou parte do palácio do governo em 1793. Em Inglaterra, sob aprovação do parlamento, foi criado o British Museum em 1753 hospedado numa residência particular em Montagu House com intenção de albergar a coleção de objetos e obras de arte de um médico colecionador, *Sir* Hans Sloane, que a venderia com intenção de que fosse conservada e que servisse de ensinamento. [24]

Os primeiros projetos de museus representavam apenas intenções teóricas sem qualquer vínculo, em que se destaca o projeto do arquiteto e visionário francês Étienne-Louis Boullée em 1783 (Fig. 3.5), com uma escala gigantesca e desenhado com quatro eixos de simetria, não estando o projeto enraizado a nenhum tipo de obra de arte. Estes projetos demoraram ainda a serem viabilizados fisicamente. Em 1823 *Sir* Robert Smirke ultrapassa essa barreira e consegue que o seu projeto seja aprovado para a construção da nova sede do British Museum (Fig. 3.16 e 3.17). [24]



Fig. 3.4 – Museu do Louvre, Paris [28].

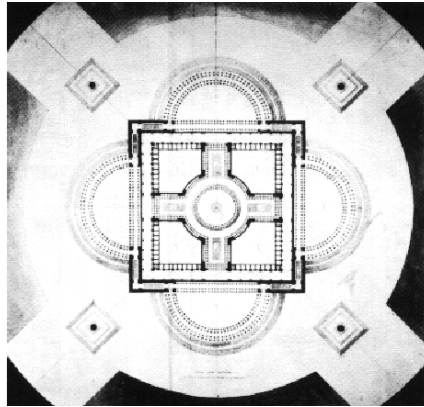


Fig. 3.5 – Projeto de um Museu de Étienne-Louis Boullée, 1783 [29].

Os estilos arquitetónicos dos museus foram definidos ao longo dos séculos em função do país e da época de construção, exemplo disso é a diferença existente entre os museus de França, Bélgica, Espanha, Áustria, Berlim, Inglaterra, Índia, entre outros, acompanhando o estilo neoclássico, depois o neogótico ou ao vitoriano.

Após um período superior a um século desde a construção dos primeiros museus, começam no século XX a surgir na arquitetura de museus as ideias modernistas quando Le Corbousier projeta para os arredores de Paris em 1931 o Musée de la Connaissance, nunca construído. Em 1959 é concluído o projeto do museu Guggenheim em Nova Iorque, autoria do arquiteto Frank Loyd Wright, em forma de espiral e com um grande vazio no interior banhado pela luz natural (Fig. 3.18 e 3.19). [24]

O movimento modernista na arquitetura transformou não só a forma do museu, mas também toda a conceptualização por trás desses projetos, passando os museus a serem projetados com o intuito de se tornarem locais agradáveis de permanecer independentemente do motivo e não só pelas exposições. Os museus modernos passaram a abarcar novos serviços como restaurantes, lojas, parques, jardins e outras facilidades. Outra mudança radical foi, em contraposição aos museus antigos, a criação de espaços com muita luz natural que ilumina amplas zonas de circulação e grandes espaços de exposição muito mais integrados e fluidos. Toda esta mudança no estilo arquitetónico só foi possível com o uso do betão armado que possibilita soluções estruturais invulgares. [24]

Tal como a arte se modificou, também a arquitetura modernista nos últimos anos sofreu um processo de revisão, pelo que se passaram a designar os arquitetos de hoje em pós-modernos e que são responsáveis pela onda renovadora de museus que existiu partir da década de 1980, onde os museus deixaram de vez de ser simples galerias de exposição (mal iluminadas nos museus antigos e exageradamente iluminadas no período modernista). [24]

3.3. TIPOS DE MUSEUS

3.3.1. INTRODUÇÃO

De um modo geral, a partir do século XX passaram a existir museus de várias tipologias construtivas derivado da evolução da arquitetura e da redefinição do conceito de museu. Por essa razão, os museus tal como os conhecemos hoje, podem ser classificados de forma simplista em: Museus Tradicionais, Museus Modernos, Casas-Museu e Museus ao Ar Livre.

3.3.2. MUSEUS TRADICIONAIS

Consideram-se como sendo Museus Tradicionais aqueles que se instalaram em antigos palácios, palacetes, casas senhoriais, ou outros monumentos de interesse histórico, sendo que os edifícios não foram construídos propositadamente para acolher museus. É o caso do Museu do Louvre em Paris (na zona não intervencionada na década de 1980), o British Museum (Londres) ou o Museu Nacional Soares dos Reis (Porto) (Fig. 3.6 e 3.7), entre outros.



Fig. 3.6 e 3.7 – Museu Nacional Soares dos Reis (Porto) pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [30, 31].

Este tipo de museus pode apresentar características construtivas muito variadas, entre museus, devido ao longo período de tempo a que respeitam (compreendido entre o século XVI até meados do século XX). Mesmo assim, as suas características construtivas são alusivas às gerações anteriores ao betão armado, onde estão presentes as paredes de pedra, grande número de vãos que permitem a entrada da luz natural, pé-direito elevado, corredores altos e estreitos e, grande número de salas de exposição com dimensões variadas (em geral não muito elevadas). Os pavimentos são, geralmente, em madeira, os rebocos das paredes são em argamassas à base de cal, e por isso muito porosos, tal como as tintas que os revestem; os tetos são, geralmente, estucados ou em madeira. As superfícies das paredes e dos tetos são ainda, geralmente, muito ornamentadas e possuem pormenores meticulosos típicos do requinte da construção na época.

3.3.3. MUSEUS MODERNOS

Os Museus ditos Modernos, na terminologia deste estudo, são caracterizados por uma tipologia construtiva posterior a meados do século XX, considerados edifícios da geração do betão armado, enquadrados nos estilos arquitetónicos *moderno* e *pós-moderno*. Geralmente estes museus estão instalados em edifícios construídos especificamente para aí instalar um determinado museu, com as suas particularidades. Estes apresentam, normalmente, um número considerável de serviços, tal como restaurante, bar e lojas de lembranças; vindo o conceito a ser adotado também pelos museus tradicionais, e que hoje é vulgar.

Comparativamente com os museus tradicionais, este tipo de museus possuem salas de exposição de maior dimensão, mas também maiores envidraçados, que permitem a entrada abundante de luz natural, e corredores amplos. Na sua maioria, os museus modernos possuem os tetos em “teto-falso” de gesso cartonado ou, por vezes, em apainelados metálicos ou de madeira. Quanto às paredes, são muitas das vezes em betão armado com espessura reduzida, revestidas a argamassas pouco porosas, tal como a tinta que as cobre. As lajes de piso são em betão armado e os pavimentos podem ser em madeira, lajetas de pedra ou em cerâmica. As superfícies das paredes e pavimentos nos museus modernos

tendem a ser lisas, com forma regular, na maioria das vezes retas, embora por vezes existam paredes curvas.

Pode tomar-se como exemplos de museus modernos o Museum of Modern Art (Nova Iorque) (Fig. 3.8 e 3.9), o Museu Guggenheim Bilbao (Fig. 3.20 e 3.21), ou em Portugal, o Museu de Serralves (Porto), o Museu da Vila Velha (Vila Real), ou o Museu de Arte e Arqueologia de Vila Nova de Foz Côa.



Fig. 3.8 e 3.9 – Museu de Arte Moderna de Nova Iorque pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [32, 33].

3.3.4. CASAS-MUSEU

As casas-museu como o próprio nome indica, são casas não apenas históricas, mas que refletem a vivência de determinada pessoa que, de alguma forma se distinguiu dos seus contemporâneos ou na qual decorreu algum acontecimento de relevância nacional, regional ou local, que justificou a criação da unidade museológica. Este tipo de museu tornou-se frequente a partir do século XIX, apresentando-se preservadas de forma fiel à sua forma original, preservando também o ambiente e os objetos. Este tipo de unidade museológica apresenta as características construtivas de uma casa, que poderão ser mais ou menos nobres, em função do poder económico dos antigos proprietários. É característico destas casas apresentarem compartimentos de pequena dimensão e apetrechados de mobiliário pré-existente.

São alguns exemplos de casas-museu em Portugal, a Casa-Museu Egas Moniz (Avanca, Estarreja), a Casa-Museu Camilo Castelo Branco (S. Miguel de Ceide, Vila Nova de Famalicão), Casa-Museu Teixeira Lopes (Vila Nova de Gaia), a Casas-Museu Amália Rodrigues (Lisboa) (Fig. 3.10 e 3.11) e a Casa-Museu Eng.º António de Almeida.



Fig. 3.10 e 3.11 – Casa-museu Amália Rodrigues (Lisboa) pelo exterior (esquerda) e interior (direita) [34, 35].

3.3.5. MUSEUS AO AR LIVRE

Outro tipo de museu bastante distinto dos anteriores é o caso dos Museus ao ar livre, que surgiram na Escandinávia no final do século XIX e têm como particularidade exibir as suas coleções no exterior. Como exemplos deste tipo de museu apresentam-se o Aarhus (Dinamarca) (Fig. 3.12), Tallinn (Estónia), e em Portugal, o Portugal dos Pequeninhos (Coimbra). Este tipo de museus pretende demonstrar os estilos de vida de outros tempos para as audiências mais jovens e pode ser representado por exposição de objetos que criam cenários em determinados locais ou mesmo através de representação por intérpretes. A maior parte dos museus ao ar livre existentes são especializados em recolha e reconstrução de prédios antigos de forma a recriar as paisagens do passado.



Fig. 3.12 – The Old Town, museu ao ar livre, Aarhus (Dinamarca). [36]

3.4. MUSEUS NO MUNDO

Desde a criação daquele que é considerado o primeiro museu, a *Galleria degli Uffizi* em Florença no século XVI, surgiram muitos outros por todo o mundo e, tal como a arte se tem modificado, também estes se têm adaptado à sociedade. Os museus ao longo das últimas décadas viram uma expansão sem precedentes, que vem contrariar a opinião dos futuristas do início do século XX, que defendiam que as instituições museológicas iriam no futuro ter um carácter obsoleto face ao progresso cultural e tecnológico. O crescimento verificado é justificado por uma incontornável componente cultural e fatores de ordem socioeconómica, nomeadamente, crescimento das indústrias do lazer e turismo cultural. [6]

Embora por todo o mundo existam museus, há determinados países que investiram mais na preservação da cultura, e isso reflete-se na própria cultura desses países e no tipo de turismo em que se especializaram. Num artigo divulgado pela revista *The Art Journal*, em abril de 2011 [37], que apresenta o top 100 dos museus de arte mais visitados no mundo em 2010, pode observar-se que o Reino Unido é o país com maior número de visitantes de museus e os Estados Unidos o país que apresenta na lista maior número de museus (Quadro 3.1).

É importante perceber como tem evoluído o número de visitantes de museus, pois é um indicador da importância destes espaços. Segundo dados recolhidos pelo *Department for Culture, Media and Sport* do Reino Unido acerca do número de visitas anuais dos museus britânicos é possível confirmar que estes números têm vindo a aumentar ao longo dos últimos anos (Fig. 3.13), o que revela um crescente interesse das sociedades pelos museus.

Quadro 3.1 – Ordenação dos 30 museus de arte mais visitados no mundo no ano 2010 (adaptado de [37]).

Lugar	Museu	Cidade	País	Número Visitantes
1º	Museu do Louvre	Paris	França	8,500,000
2º	British Museum	Londres	Reino Unido	5,842,138
3º	Metropolitan Museum of Art	Nova Iorque	Estados Unidos	5,216,988
4º	Tate Modern	Londres	Reino Unido	5,061,172
5º	National Gallery	Londres	Reino Unido	4,954,914
6º	National Gallery of Art	Washington	Estados Unidos	4,775,114
7º	Museum of Modern Art	Nova Iorque	Estados Unidos	3,131,238
8º	Centre Pompidou	Paris	França	3,130,000
9º	National Museum of Korea	Seoul	Coreia do Sul	3,067,909
10º	Musée d'Orsay	Paris	França	2,985,510
11º	Museo del Prado	Madrid	Espanha	2,732,000
12º	Victoria and Albert Museum	Londres	Reino Unido	2,629,065
13º	State Hermitage Museum	São Petersburgo	Rússia	2,490,387
14º	Centro Cultural Banco do Brasil	Rio de Janeiro	Brasil	2,317,772
15º	Museu Rainha Sofia	Madrid	Espanha	2,313,532
16º	De Young Museum	São Francisco	Estados Unidos	2,043,854
17º	The National Art Center, Tokyo	Tóquio	Japão	2,027,980
18º	National Portrait Gallery	Londres	Reino Unido	1,819,442
19º	Tate Britain	Londres	Reino Unido	1,665,291
20º	Galleria degli Uffizi	Florença	Itália	1,651,210
21º	Art Institute of Chicago	Chicago	Estados Unidos	1,612,780
22º	Gyeongju National Museum	Gyeongju	Coreia do Sul	1,491,582
23º	Museu Van Gogh	Amsterdão	Holanda	1,429,854
24º	Museu Picasso	Barcelona	Espanha	1,369,187
25º	Museu da Acrópole	Atenas	Grécia	1,355,720
26º	Musée du Quai Branly	Paris	França	1,326,153
27º	Palácio Real	Milão	Itália	1,300,000
28º	State Tretyakov Gallery	Moscovo	Rússia	1,297,424
29º	Residenzschloss	Dresden	Alemanha	1,286,733
30º	Saatchi Gallery	Londres	Reino Unido	1,271,301

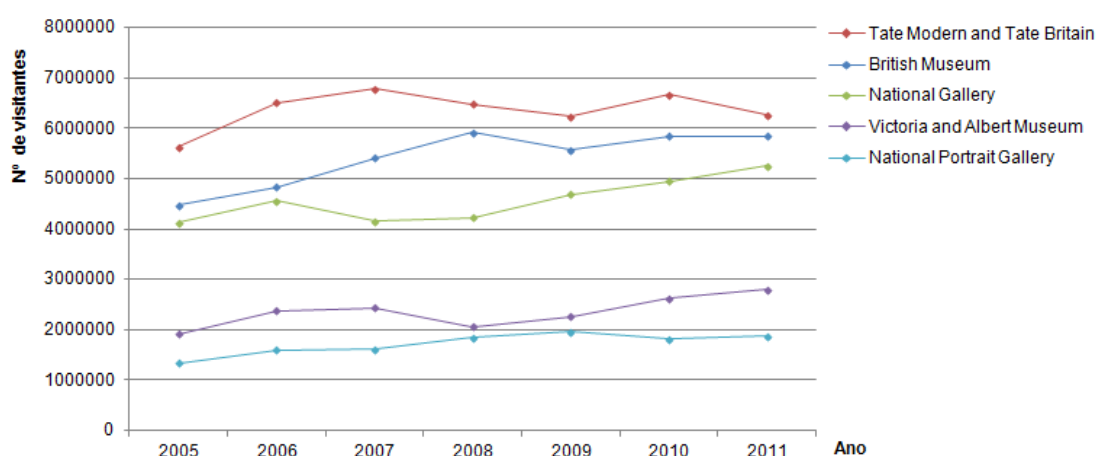


Fig. 3.13 – Evolução do número de visitantes dos principais museus britânicos (adaptado de [39]).

A tendência na valorização dos museus torna-os cada vez mais uma importante peça estratégica para a sociedade, reforçando a identidade cultural das cidades e contribuindo para a autoestima das populações. Os museus, à semelhança de outros edifícios paradigmáticos como Óperas, Salas de espetáculos ou Centros Culturais que integram os roteiros culturais, constituem uma peça muito importante para o desenvolvimento do turismo. Muitas vezes os museus atraem turistas por si só pelo edifício, que sendo uma referência arquitectónica facilmente se tornam um sucesso mesmo antes de constituírem uma colecção. Pode tomar-se como exemplos o Museu Guggenheim de Bilbao e o de Nova Iorque e, mesmo em Portugal, o Museu de Serralves.

No mundo existe um conjunto razoavelmente grande de “museus ícones”, alguns de tipologia tradicionais outros de tipologia moderna, embora a grande maioria respeite a museus tradicionais; até porque os outros estão associados a um período da história mais curto. Uma característica bastante vincada dos museus tradicionais é a natural propensão para cativarem a atenção das pessoas principalmente pelas exposições. Exemplo disso são o Museu do Louvre (Fig. 3.14 e 3.15) e o British Museum (Fig. 3.16 e 3.17), que sendo referências mundiais, para além da imponência referencial dos edifícios são recetáculos de conteúdos de valor incalculável.



Fig. 3.14 e 3.15 – Museu do Louvre, exterior (esquerda) e átrio interior (direita) [40, 41].



Fig. 3.16 e 3.17 – British Museum, exterior (esquerda) e interior (direita) [fotos do autor].

No que respeita aos museus modernos, geralmente o edifício é também uma das atrações, se não a mais apreciada pelos visitantes, ficando muitas das vezes as coleções que nele estão presentes para segundo plano. Os exemplos disso são variados, tendo todos eles em comum projetos de arquitetos de grande prestígio internacional, como o Museu Guggenheim de Nova Iorque de Frank Lloyd Wright (Fig. 3.18 e 3.19), ou o Museu Guggenheim de Bilbao de Frank Gehry (Fig. 3.20 e 3.21).



Fig. 3.18 e 3.19 – Museu Guggenheim de Nova Iorque, exterior e interior [42, 43].

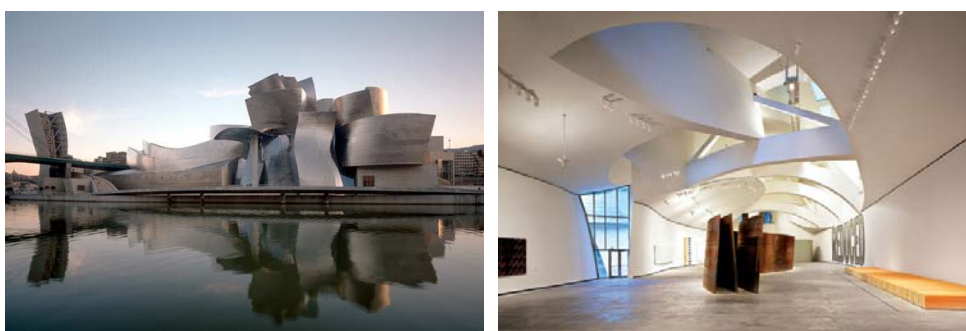


Fig. 3.20 e 3.21 – Museu Guggenheim de Bilbao, exterior e interior [44].

3.5. MUSEUS EM PORTUGAL

O aparecimento dos museus em Portugal remonta talvez ao Rei D. Afonso V (1377-1461) derivado da sua colecção de antiguidades, criando-se no século XVIII o museu da Ajuda e o museu da Universidade de Coimbra. Porém, o primeiro museu a institucionalizar-se em Portugal foi, em 1840, o “Museu Portuense” atualmente Museu Nacional Soares dos Reis. Desde então foram criados muitos outros museus em Portugal, com grande crescimento nas décadas de 1980 e 1990.[20]

Tal como acontece um pouco por todo o mundo, quase que também em Portugal, o número de visitantes de museus tem aumentado a um ritmo constante. Dados recolhidos pelo Instituto dos Museus e da Conservação (IMC) referentes ao ano 2010 mostram que nesse ano o número total de visitantes dos museus (que integram o IMC) foi de aproximadamente 1,3 milhões de pessoas, sendo os visitantes maioritariamente nacionais (57%), embora o público estrangeiro tenha um peso significativo (43%).

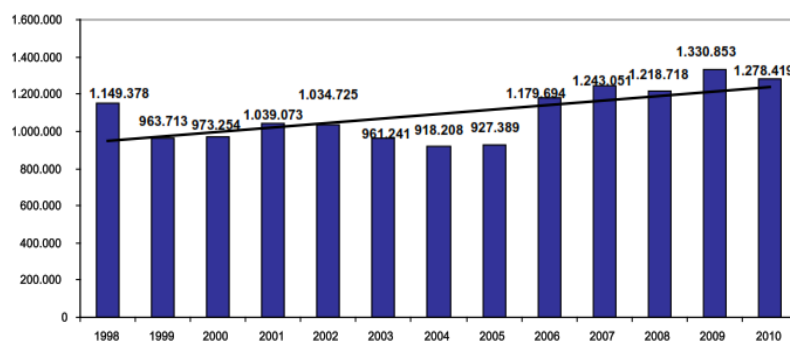


Fig. 3.22 – Evolução do número de visitantes dos museus portugueses que integram o IMC [45].

Portugal comparativamente a outros países europeus, como Espanha, revela um manifesto atraso na difusão da arte, especialmente arte contemporânea, mas também profundas assimetrias na distribuição geográfica dos museus, pois como referem dados do Instituto Português de Museus (IPM) a grande maioria dos museus estão localizados na zona de Lisboa e Vale do Tejo e seguidamente na região Norte. [6]

No que respeita à tipologia construtiva, os museus portugueses são predominantemente tradicionais, embora existam alguns museus modernos, como é o caso do Museu do Chiado – Museu Nacional de Arte Contemporânea (Lisboa), que foi totalmente reconstruído em 1994 (Fig. 3.23 e 2.24), o Centro de Arte José de Azeredo Perdigão (Lisboa), o Museu da Vila Velha (Vila Real), o Museu de Arte e Arqueologia do Vale do Côa (Vila Nova de Foz Côa) (Fig. 3.25 e 3.26) e o Museu de Arte Contemporânea de Serralves (Porto), que foram construídos de raiz para albergarem museus. [6]



Fig. 3.23 e 3.24 – Museu do Chiado – Museu Nacional de Arte Contemporânea, Lisboa [46, 47].



Fig. 3.25 e 3.26 – Museu da Arte e da Arqueologia do Vale do Côa, Vila Nova de Foz Côa [48].

3.6. A ARQUITETURA E A ACÚSTICA DE MUSEUS

“Os primeiros arquitetos construíam com o ouvido assim como com o olho” (Schafer, 1977).

A Arquitetura desde sempre esteve ligada à Acústica, mesmo que de forma empírica. Exemplo disso são os anfiteatros ao ar livre da Grécia Antiga, que foram desenhados por forma a terem um comportamento acústico adequado ao seu uso. Os gregos descobriram logo desde cedo que na construção dos anfiteatros deveriam ter em conta a direccionalidade da voz e a inteligibilidade, e para isso a melhor geometria de organização das bancadas, onde ficaria o público, era a forma semi-circular, de frente para o orador. [9]

Acerca da conceção de teatros, o arquiteto romano Vitruvius referiu no seu livro *De Architectura* (aproximadamente 27 a.C) alguns aspetos acústicos a ter em conta de forma a garantir uma boa inteligibilidade e acrescentou ainda a ideia de que deveriam ser instalados uma espécie de pequenos vasos voltados para o palco que permitiam melhorar a acústica, muito semelhante aos ressoadores utilizados atualmente. [9]

À medida que as construções se aproximaram da atualidade, a complexidade construtiva aumenta, e com isso aumenta também a complexidade e importância da acústica. A partir do século XIV as igrejas, que já eram recintos fechados, ao contrário dos anfiteatros da Grécia Antiga, começam a interessar-se pela acústica muito devido à importância da inteligibilidade da palavra, facto fundamental neste tipo de edifício e uso. Isto porém, será um dos fatores que obriga a acústica a sofrer sucessivas evoluções de forma a conseguir acompanhar a complexidade das construções de cada estilo arquitetónico que vai surgindo ao longo dos séculos.

Verifica-se portanto que a História da Acústica tem acompanhado a História da Arquitetura e que tanto a arquitetura dita a acústica, como a acústica dita a arquitetura.

Para entender as necessidades acústicas de um determinado edifício é fundamental perceber-lo e ter em conta a sua importância para a sociedade, normalmente evidenciada na sua arquitetura. Num artigo escrito por Barranha (2003) com o tema *Arquitetura de Museus de Arte Moderna e Contemporânea*, a autora afirma que a notoriedade do museu, enquanto obra arquitetónica, tem vindo a intensificar-se nas últimas décadas, em particular a partir dos anos de 1990. A autora refere ainda que, enquanto no século XIX a arquitetura de museus de arte se apoiava num conjunto restrito de referências tipológicas repetidas apenas com algumas variantes, como o museu-palácio, a galeria e uma estrutura mista com sequências de salas, galeria e rotunda; a partir do Movimento Moderno o leque de possibilidades ampliou-se progressivamente. A partir daqui, o edifício do museu passou a seguir a ideia de museu funcional, flexível e extensível. [6]

A acústica está ligada à arquitetura através da geometria e dos materiais, por esse motivo, as alterações arquitetónicas que os museus têm sofrido ao longo da História tiveram também grandes repercussões nas características acústicas deste tipo de espaços. Percebe-se pela comparação entre as características dos museus tradicionais e dos museus modernos, que este último tipo tem uma maior tendência para ter problemas acústicos diversos.

Nos museus tradicionais o facto de, geralmente estes possuírem revestimentos das paredes e teto algo porosos, permite-lhes ter alguma capacidade de absorção sonora. As paredes exteriores por sua vez são espessas e com enviaçados geralmente de pequena dimensão, o que constitui um fator fundamental para garantir um bom isolamento a ruídos de condução aérea entre o exterior e o interior (permitindo a redução da parte do nível de ruído de fundo que poderá ser originado pelo exterior). Contudo, os pavimentos em madeira poderão causar problemas pelo aumento do ruído de fundo gerado pelo ruído entre o contacto do calçado-pavimento ou ruídos de percussão entre pisos. Os detalhes decorativos com relevo que geralmente aparecem nas paredes e no teto, têm também um importante papel na acústica dos museus tradicionais pelo facto de aumentarem a área absorvente sonora das superfícies, podendo por vezes ainda ser significativa. Neste tipo de museus a conjugação da absorção sonora conseguida pelas superfícies envolventes das salas com o facto de a dimensão destas salas ser pequena ou média e o pé-direito não ser, normalmente, exageradamente elevado, permite que estes espaços possam ter a reverberação um pouco atenuada.

Naquilo que respeita aos museus modernos o panorama da acústica, normalmente, torna-se mais complexo. A acústica de museus modernos sofre de grandes fragilidades advindas das características da arquitetura da geração do betão armado, que na sua génese é constituída por superfícies lisas

rectilíneas ou curvilíneas, muito refletoras, com uso de tintas e vernizes muito pouco porosos, paredes de pequena espessura, grandes vãos e envidraçados, pé-direito elevados e uso de materiais pétreos e cerâmicos vitrificados. Os revestimentos das paredes são normalmente lisos e realizados com argamassas pouco porosas, cobertos posteriormente por tintas de emulsão aquosa (também pouco porosas), originando grandes superfícies refletoras. Os tetos são, usualmente, em tetos-falsos revestidos com gesso cartonado, apainelados metálicos ou de madeira, sem possuírem ressoadores ou qualquer material que permita a absorção sonora pelo interior, ficando, portanto, esta solução à quem do aumento da área de absorção que poderia ser conseguido. A espessura reduzida das paredes exteriores, muitas das vezes em betão, e as grandes áreas de envidraçados, muito comuns em museus modernos, levam a uma perda de eficácia do isolamento a ruídos de condução aéreos entre o exterior e o interior, face a paredes de maior espessura e menor área de envidraçados; podendo com isso causar problemas de aumento do nível de ruído de fundo por transmissão de ruído do exterior para o interior do museu. Os pavimentos dos museus modernos são na generalidade revestidos a lajetas de pedra, ladrilhos cerâmicos vitrificados ou a soalho (flutuante ou de madeira maciça) aplicados sobre lajes de betão armado de espessura considerável; o uso tanto das lajetas de pedra como dos ladrilhos cerâmicos apresenta o inconveniente de serem (ambos) materiais muito refletoras, enquanto o soalho, caso não seja devidamente protegidos contra o ruído de contacto do calçado-pavimento, poderá criar um aumento considerável do ruído de fundo nas salas. A existência de um conjunto elevado de superfícies refletoras e a agravante de as salas de exposição possuírem pé-direito elevado e grandes áreas em planta, levam a que facilmente estes espaços tenham problemas relacionados com elevada reverberação, tais como ausência de inteligibilidade, ecos, ou elevado ruído de fundo, motivados pelo campo sonoro originado pela componente direta e a componente reverberada (de elevada expressão).

Alguns projetos de museus modernos apresentam também superfícies curvas, que tanto podem ser em tetos, em paredes ou pavimentos, e que criam bastantes problemas acústicos de difícil correção. Por esse motivo, neste tipo de superfícies é necessário ter em conta que o som se propaga com facilidade em superfícies curvas e que cria ondas sonoras que viajam entre um primeiro ponto e um segundo ponto (à sua frente na curva), voltando ao ponto inicial através de nova reflexão na superfície anterior, concentrando o som na zona curva por via das reflexões e não permitindo a sua favorável expansão pela sala. Contrariamente em superfícies planas (tetos, paredes ou pavimentos) as ondas sonoras não se concentram nas superfícies, continuando o som a expandir-se pelo compartimento. [1]

3.7. ACÚSTICA NOS MUSEUS

3.7.1. INTRODUÇÃO

A necessidade crescente de melhoria da qualidade de vida das pessoas e o conhecimento dos efeitos danosos na saúde devidos à presença constante de ruído, bem como a perda de capacidade de concentração, são os fatores que têm levado a que se dê cada vez maior importância à Acústica, tornando-a uma das principais exigências funcionais dos edifícios. Em edifícios públicos as necessidades acústicas podem ser bastante mais exigentes que em propriedades privadas, pois o número de pessoas que poderá frequentar em simultâneo o mesmo local pode ser elevado.

Os museus são ainda casos muito específicos dentro dos edifícios públicos, tal como as bibliotecas, estes também estão pensados para serem locais bastante movimentados, mas em que deve reinar o silêncio, particularmente nas salas de exposição. É importante refletir na mudança de paradigmas dos museus ao longo da história, que levou a que os museus já não sejam apenas recetáculos de arte em exposição, tal como refere Neil Kotler (1999), museólogo, os visitantes já não querem apenas aprender, querem também satisfazer as suas necessidades sociais, sentir-se bem com eles e as suas

comunidades. Por isso, os museus devem ser pensados como lugares de relações sociais nos quais se enaltece a vida, desenvolvem-se habilidades sociais e desfruta-se com prazer de experiências sensoriais e humanas básicas como comer, comprar, relaxar, aprender e adquirir novos conhecimentos. Todo este conceito de museu atual, e em que se dá maior valor à experiência de permanecer num espaço de um museu reforça a necessidade de se cuidar das instalações, que são cada vez mais tanto importantes como complexas. [20]

Os edifícios dos museus, tal como outros imóveis públicos de carácter cultural (teatros, óperas, bibliotecas, etc.) são geralmente elementos marcantes de uma cidade, quer pelo ponto de vista funcional, quer simbólico, adotando frequentemente o estatuto de monumentos. Ao nível internacional a arquitetura dos museus, bem como toda a qualidade dos edifícios, é vulgarmente explorada numa perspetiva mediática, contribuindo para atrair multidões de visitantes, atuando como um fator de prestígio e promoção tanto para as instituições museológicas como para próprias cidades.[6]

Este conjunto de fatores mostram que a relação que o museu tem hoje em dia com a cidade e a sociedade tem permitido intensificar verdadeiramente a sua importância. Prova disso é aumento do número de visitantes de museus nos últimos anos.

A elevada motivação das instituições museológicas na captação de público leva a que estas estejam mais atentas às necessidades do público e, nesse sentido, a qualidade acústica do edifício deverá ser alvo de atenção, devendo pois estar em concordância com a qualidade de todo o espaço museológico. No entanto, a acústica em museus muito raramente tem tido a atenção que lhe seria merecida em fase de projeto, verificando-se que na maioria dos casos só quando o edifício é colocado em serviço se detetam os problemas, exemplo disso é a opinião do projetista acústico Lynn Mader, que refere:

“Muitas das questões que recebemos são de museus à procura de uma "solução mágica" para um problema de difícil áudio. Normalmente, já tentaram vários tipos de altifalantes, mas com resultados insatisfatórios. Ao invés de enfrentar o problema real, que é a acústica do espaço, continuam a olhar para o "mágico" altifalante que irá resolver o problema.” [49]

3.7.2. ESTADO DE DESENVOLVIMENTO DA ARTE

A Acústica de Edifícios refere-se a todo o tipo de edifícios, incluindo os museus, daí poder afirmar-se que também a acústica de museus se deve em grande parte a W. C. Sabine. No entanto, ao contrário de outro tipo de edifícios, este caso particular não tem sido foco de atenção. Esta realidade tende a alterar-se um pouco com o aparecimento dos museus “modernos” pois as exigências funcionais da arquitetura pretendida e as prestações desejadas por todo o conjunto edificado remetem para uma especial necessidade de atender também às condições acústicas.

Sendo a acústica de museus um tema recente, apesar de todo o desenvolvimento da Acústica de Edifícios, verifica-se que não existe bibliografia técnica e específica sobre o tema, tanto a nível nacional, como internacional. Em Portugal, a justificação pode dever-se ao facto de a Acústica ser ainda um tema muito recente e também pelo desinteresse demonstrado na perspetiva mediática da arquitetura dos museus. Ao nível internacional, daquilo que foi possível apurar, existe publicado apenas uma tese de mestrado realizada por Guðrún Jónsdóttir na Universidade Técnica da Dinamarca com o tema *Museums Acoustics* [50], um documento técnico intitulado de *Museums- Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings Handbook* [51] que abrange as exigências funcionais dos edifícios de museus e no qual se inclui um sub-capítulo específico referente à acústica. Houve ainda lugar na *145th Meeting: Acoustical Society of America* a uma sessão

direcionada para a acústica arquitectónica em museus onde foram apresentados os seguintes *papers*: *Base-building architectural and engineering Acoustic concerns unique to museums and exhibit environments* [52] (por Mark Reber), *Shape optimization: Good looks and Acoustics too!* [52] (por Peter D'Antonio).

O trabalho desenvolvido por Guðrún Jónsdóttir na sua tese, orientada por Jens Holger Rindel, pretende analisar a qualidade acústica em museus, usando como amostra quatro museus da Dinamarca e Islândia, a Galeria Nacional da Dinamarca, o Museu Aros, o Museu Arken e o Museu Nacional da Islândia, sendo que o primeiro é um museu tradicional e os outros são museus modernos. A caracterização desses museus foi realizada através da determinação de parâmetros objetivos e análise dos parâmetros subjetivos tendo como intuito determinar a inteligibilidade, esforço de audição, ruído de fundo e privacidade da palavra. Foi ainda realizada uma simulação com o programa Odeon da Sala do Arco do Museu Nacional da Islândia. De um modo geral, esta tese aborda a Acústica de Museus numa perspetiva direccionada para a psicoacústica, visto que a análise dos parâmetros subjetivos é o principal foco deste estudo. [50]

As comunicações apresentadas na *145th Meeting: Acoustical Society of America* pretendem mostrar a importância da acústica em museus, especialmente se estes possuírem sistemas multimédia, pois aí caso a acústica não seja tida em conta poderá haver a degradação do ambiente sonoro das salas do museu. É ainda abordado nestas comunicações a necessidade e problemática da relação entre a acústica e a arquitetura de museus.

Para além dos trabalhos publicados existem ainda alguns estudos e trabalhos desenvolvidos por consultores acústicos e que não são publicados. No Quadro 3.2 é apresentada uma lista de museus em que foi possível apurar a realização de estudos acústicos, apresentando também a localização geográfica dos museus e os consultores responsáveis. A composição desta lista foi realizada com base em pesquisa *online* e entrevista pessoal no caso dos consultores portugueses, daí se apresentar um número significativo de museus nacionais que de outra forma não seria possível descobrir.

Mesmo assim é possível analisar esta lista e perceber que o país que estará mais sensível à acústica de museus é os Estados Unidos, o que não está desenhado da informação referida no ponto 3.4 deste trabalho, no qual se denota que os Estados Unidos é o país com maior número de museus no *ranking* dos 100 museus mais visitados em 2010. Seguem-se depois outros países nos quais se encontra também Portugal. Um outro indicador bastante relevante registado no Quadro 3.2, e que vem suportar aquilo que foi referido no ponto 3.6 deste trabalho, é o grande número de museus “modernos” constantes na lista e que representam quase a totalidade dos museus registados com intervenções acústicas.

A pesquisa realizada e o contacto com um número considerável de consultores acústicos nacionais e internacionais, com trabalhos realizados em museus, permitiu perceber que poucos museus têm o privilégio de estarem contemplados por estudos acústicos na fase de projeto. Só mais recentemente os arquitetos têm demonstrado esse interesse e cuidado relativo às características acústicas dos museus, o que tem levado à crescente procura destes projetos, embora sejam ainda uma minoria. Na generalidade dos casos, verifica-se que os estudos acústicos são realizados após a construção dos museus, alguns mesmo nos seus primeiros anos de funcionamento.

Em Portugal os estudos acústicos em museus ainda são muito raros e estão associados, normalmente, a projetos de arquitetos conceituados como os de Álvaro Siza e Eduardo Souto Moura, embora outros arquitetos também o façam. Isto deve-se, para além dos fatores relativos à gestão e importância arquitectónica do museu, à falta de imposição específica para este tipo de edifícios por parte da legislação. Já ao nível internacional verifica-se que alguns países têm esse cuidado, como é o caso de

França que tem na norma francesa NF S 30-001 [53] os valores máximos a cumprir para o parâmetro NR, e Espanha com o Decreto 266/2004 espanhol [54] que indica o nível sonoro máximo exigido para de vários tipos de uso de edifícios, nos quais aparece também os museus.

Quadro 3.2 – Lista de Museus alvo de estudos acústicos, bem como os seus autores.

Consultor Acústico	Museu	Cidade/Estado	País	Tipologia
Acentech	Museum of Fine Arts	Boston	EUA	Moderno
Acoustics By Design	Grand Rapids Art Museum	Michigan	EUA	Moderno
	Henry Ford Museum	Michigan	EUA	Tradicional
Arau Acustica	Museu Iberê Camargo	Porto Alegre	Brasil	Moderno
	Museo del Prado	Madrid	Espanha	Tradicional
	Museu Nacional de Arte da Catalunha	Barcelona	Espanha	Tradicional
	Museu do Desenho	Barcelona	Espanha	Moderno
	Ampliação do Museu Rainha Sofia	Madrid	Espanha	Moderno
AEP Acoustics	Tuscon Children's Museum	Arizona	EUA	Tradicional
Bickerdike Allen Partners	Major London Art Gallery	Londres	Reino Unido	Tradicional
Big Sky Acoustics, LLC	Holder Museum of Art	Montana	EUA	Moderno
BRC - Acoustics & Audiovisual Design	Tacoma Art Museum	Washington	EUA	Moderno
Cavanaugh Tocci Associates	Albany Institute of History Art	Nova Iorque	EUA	Tradicional
	Fernbank Museum of Natural History	Georgia	EUA	Moderno
	Nantucket Whaling Museum	Massachusetts	EUA	Tradicional
	The Eric Carle Museum of Picture Book Art	Massachusetts	EUA	Moderno
	New Bedford Whaling Museum	Massachusetts	EUA	Tradicional
	Liberty Science and Technology Museum	New Jersey	EUA	Moderno
	Norwalk Maritime Museum	Connecticut	EUA	Moderno
	Harvard University Sackler Museum of Art	Massachusetts	EUA	Moderno
	Great Lakes Science Museum	Ohio	EUA	Moderno
Geiler & Associates, LLC	South Carolina State Museum Addition	Carolina do Sul	EUA	Moderno
	Denver Museum of Nature and Science	Colorado	EUA	Moderno
	National Museum of the Marine Corps	Virginia	EUA	Moderno
Newson & Brown	The J. Paul Getty Center Museum	Los Angeles	EUA	Moderno
	Japanese American National Museum	Los Angeles	EUA	Moderno
	Annenberg Space for Photography	Los Angeles	EUA	Moderno
	Gagosian Gallery - Beverly Hills	California	EUA	Moderno
Pin Drop Acoustics	Modern Art Museum of FT. Worth	Texas	EUA	Moderno
	Driehaus Museum	Illinois	EUA	Tradicional
	Metropolitan Museum of Art	Nova Iorque	EUA	Moderno
	National Constitution Center	Philadelphia	EUA	Moderno
	Museum of Contemporary Art Cleveland	Ohio	EUA	Moderno
Respace Acoustics	National Army Museum	Londres	Reino Unido	Moderno
SHAcoustics	Newseum	Washington	EUA	Moderno
	Stax Museum of American Soul Music	Tennessee	EUA	Moderno
Spatial Acoustic design	Austrian Museum of Paper Production	Steyremühl	Austria	Moderno
	Museum zu Allerheiligen	Schaffhausen	Suíça	Moderno
Tisseyer + Associés	Musée Odissey 21	Le Havre	França	Moderno
	Musée des Arts Contemporains	Rabat	Marrocos	Tradicional
	Musée Archéologique	Rabat	Marrocos	Moderno
	Musée D'Histoire Naturelle	Toulouse	França	Moderno
	Palais de la Découverte	Paris	França	Tradicional
	Musée D'orsay	Paris	França	Tradicional
McKay Conant Hoover	Guggenheim Museum - Bilbao	Bilbao	Espanha	Moderno
Siebein Associates	Atlantic Center for the Arts	Florida	EUA	Moderno
	Flint River Exhibit Museum	Florida	EUA	Moderno
	Saint Petersburg Museum of Fine Arts	Florida	EUA	Moderno
	Salvador Dali Museum	Florida	EUA	Moderno
	Sultan Bin Abdulaziz Science & Technology	Al Khobar	Arábia Saudita	Moderno
	Tampa Museum of Art	Florida	EUA	Moderno

Quadro 3.2 (continuação) – Lista de Museus alvo de estudos acústicos, bem como os seus autores.

Consultor Acústico	Museu	Cidade/Estado	País	Tipologia
Absorbor	Museu de Arte Contemporânea de Serralves	Porto	Portugal	Moderno
InAcoustics	Museu Hebraico - Centro de Interpretação Sefardita	Bragança	Portugal	Moderno
	Museu e Observatório do Tejo	Cartaxo	Portugal	Moderno
	Museu do Vinho	Cartaxo	Portugal	Moderno
	Museu - Oficina de Artes Manuel Cargaleiro	Seixal	Portugal	Moderno
	Museu Júlio Pomar	Lisboa	Portugal	Moderno
	Museu do Carro Elétrico	Porto	Portugal	Tradicional
	Museu Internacional de Escultura	Santo Tirso	Portugal	Moderno
	Museu Abade Pedrosa (Ampliação)	Santo Tirso	Portugal	Tradicional
	Museu do Barrocal	Albufeira	Portugal	Moderno
	Fundação Nadir Afonso	Chaves	Portugal	Moderno
	Parainfo de la Universidad del País Vasco	Bilbao	Espanha	Moderno
SOPSEC	Novo Museu dos Coches	Lisboa	Portugal	Moderno
	Museu dos Açores	Ponta Delgada	Portugal	Moderno
	Museu do Vinho Madeira	Funchal	Portugal	Tradicional
	Casa-Museu Abel Salazar	Porto	Portugal	Casa-Museu
	Museu do Douro	Peso da Régua	Portugal	Moderno

3.7.3. NECESSIDADES ACÚSTICAS EM MUSEUS

3.7.3.1. Introdução

A caracterização das necessidades acústicas em museus é realizada por meio dos parâmetros acústicos que descrevem fundamentalmente a reverberação e a inteligibilidade. Isto deve-se a estes espaços possuírem duas origens de problemas acústicos, por um lado, os edifícios dos museus “modernos”, normalmente, possuem salas de exposição com volumes muito elevados e revestidas a materiais bastante refletivos; por outro lado, devido à grande afluência de pessoas, estes espaços têm uma forte tendência de gerar elevados níveis de ruído de fundo. A presença de ruído expressivo num espaço com propensão para gerar grande reverberação torna o ambiente bastante incómodo. Estes problemas têm repercussão na capacidade de concentração e memorização dos visitantes e pode originar a perda da capacidade de perçetibilidade da palavra, essencial em visitas guiadas.

3.7.3.2. Tempo de Reverberação

Como já vem sendo referido neste trabalho, o tempo de reverberação é um parâmetro fundamental de avaliação da qualidade acústica de museus. Este parâmetro é muito variável e é função das características físicas dos espaços. A avaliação da qualidade acústica de um local é realizada, fundamentalmente, através do enquadramento do tempo de reverberação medido nesse local perante uma gama de valores ideais propostos por autores, e varia com o tipo e função do edifício.

No caso de museus, visto não existir bibliografia específica ou mesmo valores de referência, alguns consultores acústicos com trabalhos realizados neste tipo de edifícios criam os seus próprios valores de referência, compostos a partir da experiência retirada de trabalhos anteriores. Um exemplo disso é o gráfico da Fig. 3.27, fornecido por John Miller da consultora *Bickerdike Allen Partners* (Londres), e que apresenta, entre várias curvas de referência para tempos de reverberação aplicáveis a diversos tipos de edifícios, uma curva denominada de *Gallery Target*, que pretende servir de referência para avaliar o tempo de reverberação de museus em função do seu volume.

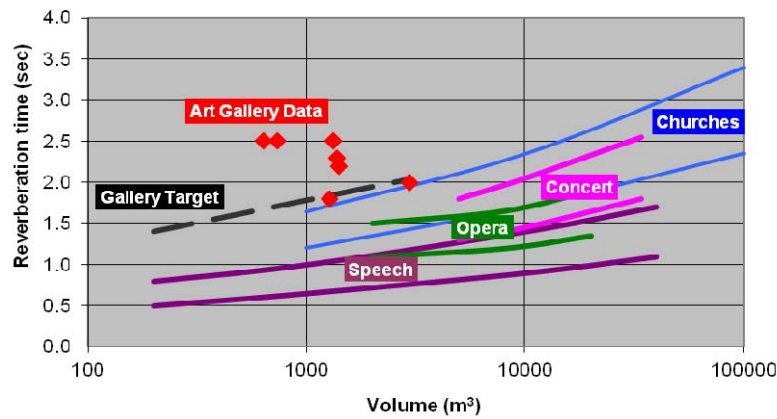


Fig. 3.27 – Gráfico com a relação entre o volume e o Tempos de reverberação aconselhado para diversos tipos de edifícios, criado por John Miller [55].

A curva *Gallery Target* apresentada na Fig. 3.27 é definida pela expressão (3.1):

$$T_{m\acute{a}x} = 10^{(0,138 \times \log_{10} V - 0,17)} \quad (3.1)$$

Marshall Long, acerca da acústica de museus, afirma que existe dificuldade em controlar o tempo de reverberação destes edifícios devido à grande quantidade de superfícies refletoras e pé-direito elevados que, normalmente, compõem os museus. Contudo, mostra também grande interesse na qualidade acústica dos museus, e indica o intervalo de 1,0 a 1,5 s como sendo o intervalo de valores aceitáveis para salas de volumes correntes, podendo, porém estes valores aumentarem para salas de volumes muito grandes. [56]

Gregory Miller, consultor acústico na *Pin Drop Acoustics* (Chicago), baseando-se na sua experiência em trabalhos de museus, é da opinião que o tempo de reverberação em museus com instalações multimédia deve situar-se entre 0,5 e 1,0 s. [57]

Higini Arau, também apoiada na sua vasta experiência em trabalhos de museus apresenta duas expressões (3.2 e 3.3) que pretendem definir o intervalo de valores entre os quais se deve enquadrar o tempo de reverberação das salas de exposição dos museus em função do seu volume. [58]

$$T_{\min} = 0,396.V^{0,1273} \quad (3.2)$$

$$T_{m\acute{a}x} = 0,509.V^{0,1325} \quad (3.3)$$

Mike Wilson, num capítulo direcionado à acústica de museus na publicação *Museums- Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings Handbook* [51] aponta como critério acústico em museus o tempo de reverberação de 1,0 s para salas de grande volume e 0,5 s para salas pequenas.

Daniel Commins, consultor acústico da *Commins Acoustics Workshop* (Paris), revela através de um trabalho realizado num museu moderno em França como critério o tempo de reverberação de $1,8 \pm 0,2$ s. [59]

Octávio Inácio, consultor acústico da *inAcoustics* (Porto), com experiência num conjunto considerável de museus portugueses (ver Quadro 3.2), apresenta como critério acústico tempos de reverberação entre 0,9 e 2,0 s, consoante o caso. [60]

Mesmo não havendo qualquer critério específico na legislação portuguesa para a acústica em museus, a título indicativo apresenta-se a fórmula de cálculo (3.4) do valor máximo regulamentar apresentado pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) para salas de aula de edifícios escolares e similares, que coincide (no caso de não existir sistemas de difusão de mensagens sonoras) com o valor regulamentar destinado a edifícios comerciais e de serviços [61]:

$$T_{\max} = 0,15.V^{1/3} \quad (3.4)$$

3.7.3.3. RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*)

O RASTI é um parâmetro de medida da inteligibilidade da palavra e a sua importância está dependente do grau de necessidade de comunicação. No caso de museus, este parâmetro, apesar de importante, não deverá tomar valores muito elevados pelo facto de no mesmo espaço se pretender também privacidade da palavra, ao contrário do que sucede numa sala de conferências ou sala de aulas, em que a grande importância é voltada para a percepção da palavra (Quadro 3.3). Por este motivo, o parâmetro RASTI em museus será menos importante que o tempo de reverberação.

No Quadro 3.4 apresenta-se a relação entre a distância máxima ao orador para garantir a inteligibilidade da palavra e o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) correspondente, podendo-se notar daí a sua influência do nível sonoro de uma sala de exposição na facilidade/dificuldade de comunicação dos guias aos visitantes.

Quadro 3.3 – Correspondência entre a inteligibilidade da palavra e os valores de RASTI (adaptado de [62]).

Inteligibilidade da palavra	RASTI
Má	[0 - 0,30[
Pobre	[0,30 - 0,45[
Aceitável	[0,45 - 0,60[
Boa	[0,60 - 0,75[
Excelente	[0,75 - 1,00]

Quadro 3.4 – Correspondência entre o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), o *Noise Rating* (NR) e a distância máxima ao orador para que haja inteligibilidade [51].

L_{Aeq}	NR	Distância máxima para que haja inteligibilidade (m)
48	40	7
53	45	4
58	50	2,2
63	55	1,2
68	60	0,7
73	65	0,4
77	70	0,2
> 77	> 70	-

3.7.3.4. Privacidade da Palavra

A privacidade da palavra é uma necessidade evidente em museus, pois o próprio conceito de museu pressupõe a existência de um ambiente íntimo e privado, conceito oposto à inteligibilidade da palavra. Nos museus a acústica apresenta alguma complexidade pelo facto de, por um lado, haver a necessidade de uma boa inteligibilidade da palavra, com especial importância em visitas guiadas, e por outro lado, pretende-se também a privacidade da palavra, esta exigida pelos visitantes que não estão acompanhados pelos guias, ou mesmo quando estão a decorrer em simultâneo visitas guiadas e individuais, pois estes últimos não devem ser perturbados pelos outros. Por vezes em espaços com má acústica a privacidade da palavra não se verifica.

A privacidade da palavra é função das características das salas, muito em especial da absorção sonora, estando assim relacionada com o tempo de reverberação.

3.7.3.5. Ruído de Fundo

O ruído de fundo é um parâmetro com particular importância na acústica de museus pois grande parte dos problemas acústicos estão relacionados com os elevados níveis de ruído de fundo. Estes podem ser provocados por uma infinidade de causas, muitas delas exteriores aos edifícios, mas também interiores, como o ruído de equipamentos diversos (como AVAC). Este parâmetro poderá ser controlado recorrendo aos valores limite recomendados para as curvas de incomodidade (NC e NR).

Segundo a experiência de Marshall Long o ruído de fundo em museus poderá ser controlado com a imposição do valor máximo de NC-25 [56]; Constantino Gonzalez aponta valores de NC-30/35, NR-30/40 e nível sonoro máximo de 35 dB [15]; Recuero Lopez refere valores de NC-30/40 e nível sonoro máximo de 45 dB [8]; Barry Lord apresenta valores de NC-30/35 [63]; Gregory Miller valores de NC-25/40 em função da existência de sistemas multimédia [57]; Higini Arau aponta níveis sonoros máximos entre 30 e 35 dB [58]; a norma francesa NF S 30-001 refere-se a NR-30/35 [64]; o Decreto 266/2004 espanhol [54] aponta o nível sonoro máximo como 40 dB e no sítio *Engineering Toolbox* fazem referência a valores de NR-35 e nível sonoro máximo entre 35-40 dB [65].

3.7.4. VALORES RECOMENDADOS

Após a análise das necessidades acústicas em museus segundo os vários parâmetros e tendo em conta que não existe, até ao momento, bibliografia técnica específica sobre o tema, será pertinente neste trabalho apresentar algumas recomendações de valores para esses parâmetros. Nesse sentido apresenta-se o Quadro 3.5, que pretende resumir os valores recolhidos dos vários autores (anunciados em 3.7.3), e servir de base para a definição dos valores de cada parâmetro.

Sendo o tempo de reverberação o parâmetro mais sensível da acústica de museus, dadas as características destes edifícios, é fundamental perceber as variações deste parâmetro ao longo das frequências, que poderão ser significativas. Isto deve-se ao facto de este tipo de edifícios, geralmente com grande volume, possuir uma elevada propensão para observar elevada reverberação e pelos materiais que os revestem serem, normalmente, menos absorventes nas baixas frequências.

Deste modo, com base no Quadro 3.5 e na definição do andamento da curva do tempo de reverberação ao longo das frequências proposta por Knudsen e apresentada no ITE 8 [13], apresenta-se no Quadro 3.6 a margem de valores de Tempo de Reverberação aconselhados para cada frequência, os quais dão origem a uma média de TR [500, 1k, 2k] de 1,0 a 1,4 s. Esta gama de valores pretende enquadrar as necessidades acústicas de museus, que por vezes em casos de existência de sistemas multimédia devem optar pelo valor de 1,0 s e noutras circunstâncias o valor de 1,4 s será perfeitamente razoável. Nas frequências mais baixas os valores poderão ser um pouco superiores pois o ouvido humano possui menor sensibilidade auditiva nessas frequências. Os valores do tempo de reverberação devem ainda que enquadrados nos valores aconselhados estar em concordância com as expectativas dos visitantes, ou seja, salas maiores deverão possuir uma reverberação ligeiramente superior que salas pequenas, pois será essa a sensação que os visitantes subjetivamente esperam encontrar.

Quadro 3.5 – Valores de parâmetros acústicos objetivos recomendados para museus.

Autor	TR [500, 1k, 2k] [s]	L _{Aeq} máx[dB]	NC _{máx}	NR _{máx}
Barry Lord [63]	-	-	35	-
Constantino Gonzalez [15]	-	35	35	40
Daniel Commins [59]	1,6 - 2,0	-	-	-
Gregory Miller [57]	0,5 - 1,0	-	40	-
Higini Arau [58]	$T_{\min} = 0,396.V^{0,1273}$ (1,0*) $T_{\max} = 0,509.V^{0,1325}$ (1,3*)	35	-	-
John Miller [55]	$T_{\max} = 10^{(0,138 \times \log_{10} V - 0,17)}$ (1,8*)	-	-	-
Marshall Long [56]	1,0 - 1,5	-	25	-
Mike Wilson [51]	0,5 - 1,0	-	-	-
Octávio Inácio [60]	0,9 - 2,0	-	-	-
Recuero Lopez [8]	-	45	40	-
R.R.A.E (escolas) [61]	$T_{\max} = 0,15.V^{1/3}$ (1,7*)	-	-	-
Decreto 266/2004 espanhol [54]	-	40	-	-
Norma Francesa NF S 30-001 [64]	-	-	-	35
Sítio Engineering Toolbox [65]	-	40	-	35

* Exemplo para V=1400 m³

Quadro 3.6 – Valores propostos para Tempo de Reverberação ideais em museus “modernos”.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	Média [500, 1k]	Média [500, 1k, 2k]
Tempo de Reverberação [s]	1,2 - 1,7	1,1 - 1,5	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4

O estudo das necessidades relativas aos níveis de ruído de fundo realizada neste trabalho e a análise dos valores constantes no Quadro 3.5 levam a que neste trabalho se recomendem valores de nível sonoro máximos de 40 dB, que deverá corresponder a níveis de incomodidade máximos avaliados pelas curvas NC e NR de NC-35 e NR-35.

No que respeita a valores de RASTI ou STI, deverão, tanto quanto possível, situar-se num intervalo de [0,45 a 0,60], pretendendo-se com esta gama de valores criar condições de inteligibilidade ao perto e de não inteligibilidade ao longe. Tentando equilibrar os critérios da inteligibilidade e da privacidade da palavra, o valor de 0,45 privilegia a privacidade enquanto o valor de 0,60 privilegia a inteligibilidade. Pressupõe-se ainda que estes valores sejam conseguidos caso de se adotem os valores de Tempo de Reverberação e de Ruído de Fundo atrás propostos.

4

CASO DE ESTUDO: O MUSEU DE SERRALVES

4.1. A FUNDAÇÃO SERRALVES

A Fundação de Serralves é uma instituição cultural de âmbito europeu com a missão sensibilizar o público para a arte contemporânea e o ambiente, através do Museu de Arte Contemporânea, do Parque como património natural e do Auditório como centro de reflexão e debate sobre a sociedade contemporânea. [66]

Criada em 1989, a Fundação de Serralves marcou o início de uma parceria representada por meia centena de entidades públicas e privadas, incluindo alguns particulares. Atualmente este número já ultrapassa os 180 fundadores. [66]

Situada na cidade do Porto, a Fundação de Serralves está inserida num parque de 18 hectares (Fig. 4.1 e 4.2), no qual se integram a Casa de Serralves (1930), o Museu (1999) e o Parque. O núcleo patrimonial da Fundação foi classificado, em 1996, como “Imóvel de Interesse Público” (Fig. 4.3, 4.4 e 4.5). [66]

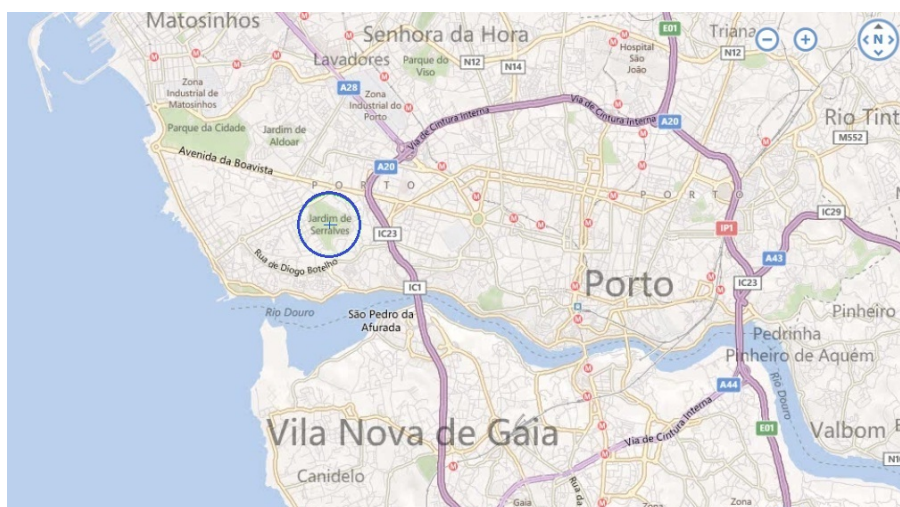


Fig. 4.1 – Localização da Fundação de Serralves [67].

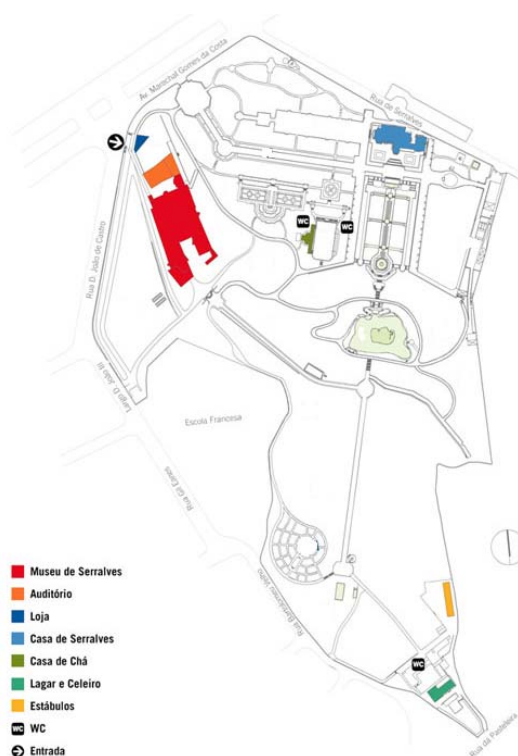


Fig. 4.2 – Mapa da Fundação de Serralves [68].



Fig. 4.3, 4.4 e 4.5 – Casa de Serralves (em cima à esquerda), Parque (em cima à direita) e Museu de Arte Contemporânea de Serralves (em baixo) [68].

A Casa de Serralves foi originariamente destinada a residência particular, mandada construir pelo 2.º conde de Vizela, Carlos Alberto Cabral e finalizada em 1940. Constitui um exemplar único da arquitetura Art Déco com o jardim, projetado segundo propostas ideológicas e estéticas do Modernismo. Este conjunto constitui um todo notável e harmonioso, singular em Portugal e na Europa. [66]

O jardim para a Casa de Serralves foi desenhado no limiar do Modernismo da arquitetura paisagista pelo arquiteto francês Jacques Gréber em 1932. Este jardim, como um todo, é considerado uma peça notável, de enorme valor, sendo uma referência a nível nacional e mesmo internacional. [66]

“Pelo seu interesse histórico e artístico, pela sua dimensão e diversidade cénica e ainda pela integridade da sua estrutura espacial, constitui um lugar único.” [66]

Em 1957, a propriedade foi adquirida por Delfim Ferreira, que a manteve na sua forma original, até que, em 1986 o Estado Português a comprou com o intuito de nela instalar uma instituição museológica que albergasse a arte atual e a divulgasse ao público. Pretendendo com isso fazer face a uma tradição de mecenato com preocupações culturais existente no Norte do país.

Desta forma nasceu a Fundação de Serralves instituída pelo Decreto-Lei n.º 240 A/89, de 27 de Julho, assinalando a parceria entre o Estado português e a sociedade civil, que assim, se associava a um projeto cultural de dimensão nacional. [66]

4.2. O MUSEU E A SUA HISTÓRIA

Sete anos após a existência da Fundação de Serralves o seu principal objetivo estatutário torna-se efetivo com o lançamento da primeira pedra do Museu de Arte Contemporânea de Serralves em 27 de Novembro de 1996 e a sua inauguração em 6 de Junho de 1999. [66, 68]

O edifício construído para o Museu de Serralves é da autoria do arquiteto Álvaro Siza Vieira, convidado pela fundação no início da década de 1990 a projetar um espaço museológico que tivesse em consideração as condições singulares do espaço e da integração paisagística. Em 1991 iniciaram-se os primeiros estudos, mas a construção só começou cinco anos depois. O edifício foi implantado no espaço da horta da antiga Quinta de Serralves, que devido ao declive permitiu semi-enterrá-lo, minimizando o seu impacto no espaço envolvente. Com esta opção foi evitado o abate de árvores e facilitado o acesso do público a partir de uma entrada na Rua D. João de Castro, e voltado de frente para a Avenida Marechal Gomes da Costa (Fig. 4.5).



Fig. 4.6 – Vista aérea do Museu de Serralves [67].

Este Museu, contrariamente à generalidade, prescinde de uma fachada monumental, privilegiando o modo como cada elemento interage entre si, proporcionado ao visitante uma perspetiva harmoniosa do

espaço, pensado para atrair a reflexão e o sentimento de integração na natureza que está sempre presente para além das janelas das salas e, que transporta os visitantes para o parque. [68]

Toda a construção que envolve o edifício esteve a cargo da Edifer, totalizando o valor de 30 milhões de euros, tendo sido o financiamento garantido por fundos do FEDER (61%), PIDDAC (33%), etc.[69]

Para lá do museu enquanto edifício, esta instituição apresenta ainda uma colecção de arte contemporânea representativa da obra de artistas nacionais e estrangeiros desde os finais dos anos 1960 até à atualidade. A missão do museu passa por organizar exposições temporárias acompanhadas de programas pedagógicos que permitam desenvolver o interesse pela arte contemporânea, aprofundar o conhecimento e proporcionar o diálogo entre os artistas e o seu público. [68]

Teresa Patrício Gouveia sobre o Museu de Arte Contemporânea de Serralves refere (em 2002) que: *“O Museu é o primeiro grande projeto do género em Portugal e o maior centro cultural jamais construído na região norte do país, tendo como missão proporcionar um espaço de diálogo e intercâmbio cultural no domínio da arte contemporânea e constituir uma colecção de arte representativa da obra de artistas portugueses e estrangeiros.”* [66]

O prestígio que o Museu de Serralves tem alcançado desde a sua abertura reflete-se também no número de visitantes que cada vez é maior (Fig. 4.7), seguindo a tendência nacional (Fig. 3.22). Note-se que em 2010 o número de visitantes do Museu de Serralves corresponde a 35% do número de visitantes dos museus portugueses que integram o IMC (Instituto dos Museus e da Conservação).

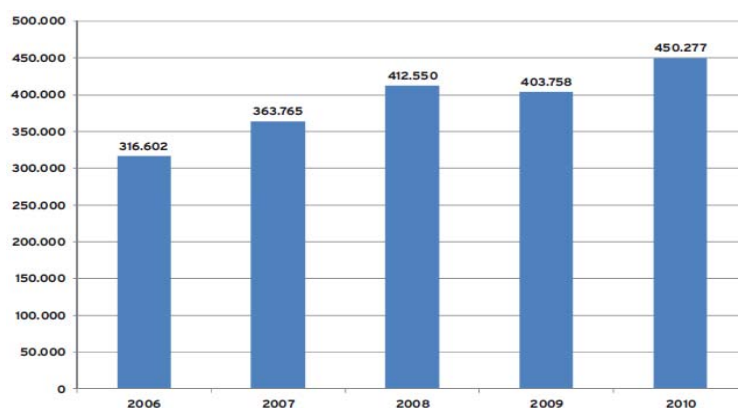


Fig. 4.7 – Evolução do número de visitantes do Museu de Serralves entre 2006 e 2010 [68].

4.3. O ARQUITETO

Álvaro Joaquim Melo Siza Vieira (Fig. 4.8) nasceu em Matosinhos em 1933. Em 1949 ingressa na Escola Superior de Belas Artes do Porto (ESBAP) no curso de Arquitetura, o qual termina em 1955. A sua primeira obra foi realizada mesmo antes de terminar o curso em 1954, vindo depois a colaborar nos anos seguintes (1955 a 1958) com o Prof. Fernando Távora. Lecionou entre 1966 e 1969 na ESBAP, onde retomou em 1976 como Professor Assistente. Desde então foi Professor Convidado em várias instituições de ensino internacionais, como a Escola Politécnica de Lausanne, a Universidade de Pensilvânia, a Escola de Los Andes em Bogotá, na Graduate School of Design da Universidade de Harvard e também na atual Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto. [70]



Fig. 4.8 – Álvaro Siza Vieira [71].

Este arquiteto recebeu já numerosos Prémios e condecorações dos quais se destacam: em 1988 a Medalha de Ouro do Conselho Superior do Colégio de Arquitetos de Madrid e o Prémio Europeu de Arquitetura da Fundação Mies van der Rohe; em 1992 o Prémio Pritzker da Fundação Hyatt de Chicago; em 1993 o Prémio da Associação de Arquitetos Portugueses; o Prémio Sécil em 1996, 2001 e 2006; em 1998 a Medalha de Ouro da Fundação Alvar Aalto; em 1998 o Prémio Príncipe de Gales da Universidade de Harvard; em 2001 recebeu o *Wolf Prize in Arts*; em 2005 o Grande Prémio Especial de Urbanismo de França; em 2009 a Medalha de Ouro Real para a Arquitetura, do *Royal Institute of British Architects (RIBA)*. [71]

É membro da American Academy of Arts and Science e "Honorary Fellow" do Royal Institute of British Architects, do AIA/American Institute of Architects, da Académie d'Architecture de France e da European Academy of Sciences and Arts. [70]

Entre muitos outros projetos da sua autoria realizados em Portugal destacam-se as habitações do complexo residencial da Quinta da Malagueira, em Évora (1977), a Casa Avelino Duarte, em Ovar (1981-85), a Escola Superior de Educação de Setúbal (1986-1992), a Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (1986-93), a Biblioteca da Universidade de Aveiro (1988), o Museu de Serralves (1999), o Centro Paroquial em Marco de Canavezes e o Pavilhão de Portugal para a EXPO 98. Em Espanha realizou o projeto do Centro Meteorológico da Villa Olimpica em Barcelona, do Museu de Arte Contemporânea da Galiza, a Faculdade de Ciências da Informação, em Santiago de Compostela, e a Reitoria da Universidade de Alicante. Destacam-se ainda mos projetos urbanísticos: plano urbanístico para Macau (1983-84), plano de recuperação da Zona 5 de Schilderswijk, em Haia (1985), o projeto de renovação urbana de Giudecca, em Veneza (1985) e o plano urbanístico da Praça de Espanha, em Lisboa (1989). [68, 70]

No que respeita a projetos de museus, existe um conjunto considerável realizado por Álvaro Siza, levando a que muitos o considerem um especialista em museus. Apresenta-se no quadro 4.1 uma lista dos projetos mais relevantes de museus realizados por Álvaro Siza, alguns dos quais não chegaram a ser construídos. Constando no espólio de museus da autoria do arquiteto portuense um conjunto razoável em Portugal, mas também em Espanha, Holanda, Reino Unido e Brasil.

Quadro 4.1 – Projetos mais relevantes de Álvaro Siza para museus (adaptado de [71, 72]).

Data	Projecto	Cidade	País
1974	Galeria de arte do Campo Alegre	Porto	Portugal
1985	Centro Cultural de Sines (não construído)	Sines	Portugal
1993	Museu de Arte Contemporânea (não construído)	Helsínquia	Finlândia
1993	Paul Getty Museum (não construído)	Santa Monica	Estados Unidos
1994	Centro Galego de Arte Contemporânea [Fig. 4.9 e 4.10]	Santiago de Compostela	Espanha
1994	Museo Granell (não construído)	Santiago de Compostela	Espanha
1995	Restauração e ampliação do Stedelijk Museum	Amesterdão	Holanda
1998	Centro cultural e auditório para a Fundação Iberê Camargo (não construído)	Porto Alegre	Brasil
1999	Museu de Arte Contemporânea da Fundação de Serralves	Porto	Portugal
2005	Serpentine Gallery Pavilion, nos Kensington Gardens (com Eduardo Souto Moura) [Fig. 4.11 e 4.12]	Londres	Reino Unido
2008	Nova sede da Fundação Iberê Camargo [Fig. 4.13 e 4.14]	Porto Alegre	Brasil



Fig. 4.9 e 4.10 – Centro Galego de Arte Contemporânea em Santiago de Compostela, exterior e interior [71].



Fig. 4.11 e 4.12 – Serpentine Gallery Pavilion em Londres, exterior e interior [71].



Fig. 4.13 e 4.14 – Nova Sede da Fundação Iberê Camargo em Porto Alegre (Brasil), exterior e interior [71].

4.4. INFORMAÇÕES DO PROJETO ACÚSTICO

No Museu de Serralves para além do projeto de arquitetura de Álvaro Siza e o projeto de estruturas realizado pelo GOP (Gabinete de Organização e Projetos), o arquiteto mostra uma certa preocupação com as necessidades acústicas do edifício, pois foi realizado também um projeto acústico dirigido pela *Commings Acoustics Workshop* [73] (com sede em Paris) e o apoio da Absorber Engenharia [74] (empresa portuguesa).

Segundo consta no *curriculum* desta empresa portuguesa, foi realizado o “projeto de acústica para todos os espaços do Museu, incluindo 11 salas de exposição, zonas técnicas e administrativas, salas polivalentes e auditório, para o qual foi construído um modelo à escala 1/16, com o qual se realizaram ensaios acústicos para ajudar a definir a forma da sala. Para a central técnica de AVAC, numa zona central do edifício, foi criada uma estrutura metálica, com dimensões equivalentes à de um prédio de 3 andares, totalmente assente num sistema anti-vibrático de molas. Este projeto impulsionou também o desenvolvimento, em colaboração com um fabricante alemão, de um novo material acústico que concilia os requisitos acústicos com as exigências estéticas da Arquitetura de Álvaro Siza.” [74]

O material desenvolvido foi batizado de *Wilhelmi Álvaro* sendo o primeiro nome do fabricante e o segundo, em consideração à proposta de desenvolvimento, de Álvaro Siza. Este material foi criado com o intuito de possuir uma superfície uniforme e contínua muito lisa, sem frinchas, furos ou estrutura visível, com acabamento suave e com a possibilidade de junção com outros materiais de igual acabamento, sem que prejudique o meio ambiente, com ausência de elementos potencialmente perigosos e não inflamável. O *Wilhelmi Álvaro* tem por base o *Wilhelmi Werke AG*, anteriormente já existente, e é caracterizado por possuir superfície uniforme e contínua muito lisa constituído por 3 camadas de aglomerado de madeira fabricado a partir de abetos e pinheiros possuindo uma densidade de cerca de 420 kg/m². Materializado no formato de placas com dimensões 1710x615x17 mm e com código de cor RAL 9010, pode ser aplicado tanto em tetos como em paredes, sendo que em tetos deve ser aplicado sobre o sistema *Wilhelmi K295*. [75, 76]

Em termos acústicos o *Wilhelmi Álvaro* possui $\alpha_{\text{smédio}}$ de 0,63, $\alpha_{s[1000\text{Hz}]}$ de 0,55 e α_w de 0,65 (Classe C), sendo a absorção das médias e altas frequências conseguida pelas superfícies e as baixas frequências conseguidas pelas placas em si (Fig. 4.15). [75, 76]

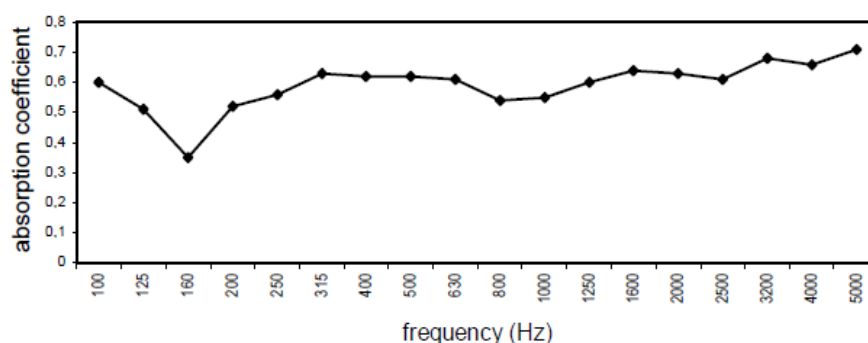


Fig. 4.15 – Coeficiente de absorção sonora do material *Wilhelmi Álvaro* por frequência [75, 76].

Antes de ser aplicado generalizadamente no Museu de Serralves este material foi ainda testado numa sala (para verificar a sua eficácia face à sua inexistência) e no restaurante do Pavilhão de Portugal da

Expo 98. No Museu de Serralves foi aplicado na maioria das áreas públicas e em algumas salas de exposição e auditório. Posteriormente, este material também já foi adotado por outros arquitetos, apresentando-se igualmente instalado na *Sale des Arts Premiers* no Museu do Louvre (Paris). [75, 76]

4.5. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O Museu possui uma forma alongada na direção Norte – Sul, com um corpo central que se divide em duas alas separadas por um pátio, dando origem a uma estrutura em U e a uma construção em forma de L, criando-se ainda entre esta e o edifício principal um segundo pátio que permite o acesso principal ao Museu, encontrando-se ligado ao parque de estacionamento subterrâneo e ao jardim. [68]

O edifício é caracterizado por ter três pisos com 14 salas de exposições (divididas pelo piso 1 e piso 3) e espaços para reservas de obras de arte, quase na totalidade com pé direito duplo. No piso superior encontram-se a cafetaria/restaurante, a esplanada e as salas polivalentes; no piso da entrada, as salas de exposição e a livraria e no piso inferior, a biblioteca e o auditório. A partir do átrio situado junto da receção, encontra-se o bengaleiro e o balcão das informações. [68]

O edifício possui uma área total de 12670 m² (Quadro 4.2) sendo que, os espaços de exposição ocupam 4485 m², representando aproximadamente metade da área útil (funcional) do edifício enquanto museu. [68]

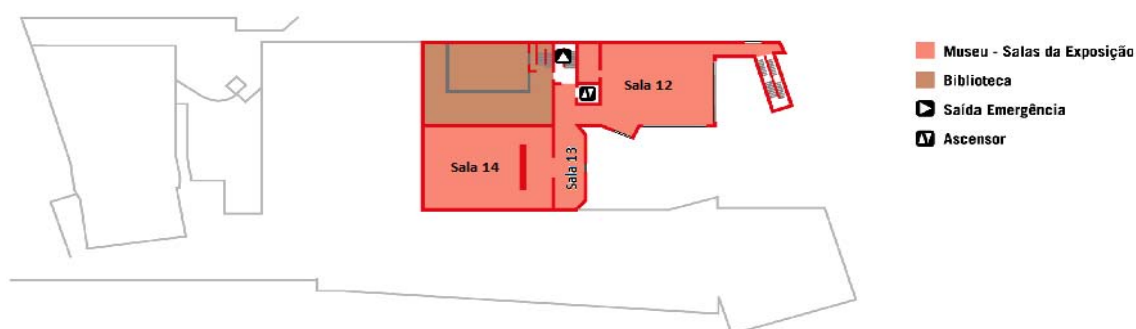


Fig. 4.16 – Piso 1 do Museu de Serralves, Porto [68].

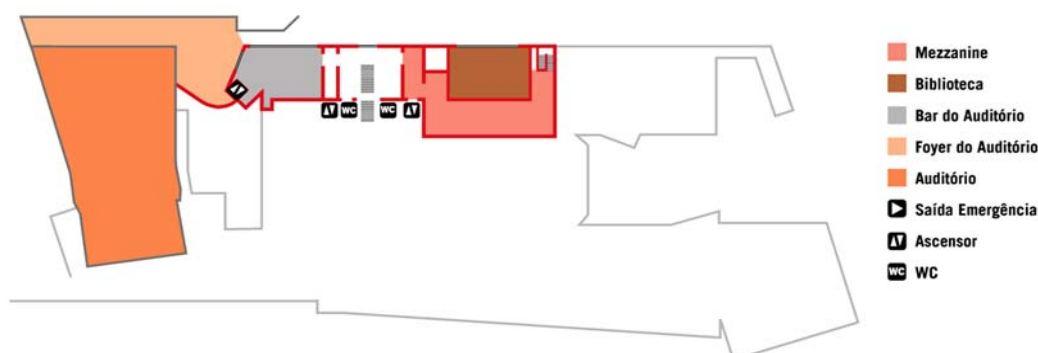


Fig. 4.17 – Piso 2 do Museu de Serralves, Porto [68].



Fig. 4.18 – Piso 3 do Museu de Serralves, Porto [68].



Fig. 4.19 – Piso 4 do Museu de Serralves, Porto [68].

Quadro 4.2 – Dimensões dos compartimentos do Museu de Serralves [68].

Compartimento	Área (m ²)
Edifício (Total)	12670
Espaço de exposições	4485
Espaço público	565
Biblioteca	353
Escritórios	538
Loja do Museu	147
Restaurante	223
Sala Multiusos	103
Sala dos Programas Educativos	234
Área de Serviços (não pública)	771
Auditório	600
Parque de Estacionamento	3310

Tendo sido este edifício construído propositadamente para albergar um museu (com todas as especificidades construtivas que isso exige) e ainda as particularidades da arquitetura de Álvaro Siza este edifício torna-se muito complexo. Possui diversos pisos técnicos inacessíveis ao público e apenas para manutenção e ajuste das condições pretendidas de iluminação e ventilação dos espaços, a estrutura do edifício é em betão armado e mista de aço e betão, e existem ainda vários casos de duplas lajes de betão e “clarabóias falsas” (Fig. 4.20 e 4.21).



Fig. 4.20 e 4.21 – Interior do Museu de Serralves em fase de construção (à esquerda a sala 1 e à direita a sala 11) [68].

As paredes exteriores do museu são em betão armado, grande parte com uma manta de lã tipo *Lapinus* com densidade de 70 kg/m^3 e espessura de 100 mm no interior da caixa-de-ar, entre o paramento de betão e o gesso cartonado, que permite aumentar o isolamento sonoro. As paredes que não possuem este isolamento apresentam-se revestidas a estuque. Os pavimentos são em soalho e apresentam na sua caixa-de-ar igualmente uma manta de lã com características acústicas do tipo *Domisol 303*, da *Isover*, com 20 mm de espessura. No que respeita aos tetos do museu, estes são revestidos em parte por painéis de gesso cartonado e em outra parte pelo material *Wilhelmi Álvaro* (descrito no ponto anterior), ambos com uma caixa-de-ar muito reduzida (de aproximadamente 5 cm).

Pelo exterior o edifício é revestido em parte por granito e outra em reboco pintado. Já no interior existe clara diferenciação nos revestimentos de pavimento, sendo que nas zonas de circulação e serviços o pavimento é em mármore e, no restaurante, bar, biblioteca e salas de exposição, o pavimento é em madeira maciça de carvalho, à exceção de duas salas (sala 12 e 13) em que o pavimento é em mármore. Por todo o edifício (à exceção de onde existe lambril) e em toda a volta do pavimento existe um rodapé em mármore com altura de aproximadamente 5 cm (Fig. 4.22 a 4.24).

Como é possível verificar nas plantas do edifício, as salas de exposição, na sua génese, apresentam-se amplas e livres de paredes divisórias no seu interior (Fig. 4.16 e 4.19). No entanto, e devido às exigências das exposições temporárias, são habitualmente criadas paredes e mesmo fechadas janelas (para controlo da iluminação) através de painéis de gesso cartonado.



Fig. 4.22, 4.23 e 4.24 – Salas de exposição do Museu de Serralves, Porto [Fotos do autor].

5

MEDIÇÕES

5.1. INTRODUÇÃO

A caracterização acústica do Museu de Serralves foi realizada através de dois tipos de análises: objetiva e subjetiva. É apenas alvo do presente capítulo a análise objetiva, realizada com o recurso à determinação dos parâmetros acústicos objetivos e com o intuito de caracterizar as condições de incomodidade do ruído ambiente e a perceptibilidade da palavra. Para possibilitar a determinação dos parâmetros objetivos foram realizadas medições *in situ* no museu, nomeadamente do Tempo de Reverberação (TR), do RASTI e do nível sonoro do Ruído de Fundo.

As medições realizadas dizem respeito apenas ao interior do edifício e concretamente às salas de exposição. Destas, foram selecionadas três salas representativas (sala 11, 12 e 14) de entre as quatorze existentes (Fig. 4.16 e 4.18), tendo em conta os revestimentos e o volume. As salas escolhidas apresentam volumes de 1760 m³, 1350 m³ e 1070 m³, respetivamente correspondentes às salas 11, 12 e 14, sendo estas as que apresentam maiores volumes e por isso são também as potencialmente mais críticas (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Dimensões das salas 11, 12 e 14.

Sala	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume Aproximado (m ³)
11	18,53	14,46	4,89 - 6,43 - 8,73	1760
12	18,13	14,46	4,28 - 5,16	1350
14	11,05	14,40	5,16 - 6,77	1070

Devido às características arquitetónicas do edifício não foi possível isolar as salas nas quais se realizaram as medições dos restantes compartimentos acoplados, existindo na sala 11 três aberturas com as dimensões respetivas de 3,17x5,31 m, 1,00x2,00 m e 1,93x2,60 m, correspondentes ao corredor a Norte, a uma pequena sala acoplada na mesma direção e um outro corredor a Sul. Igualmente na sala 12, existem três aberturas nas mesmas direções e de dimensões 3,16x5,16 m, 1,00x2,00 m e 1,91x5,16 m. Na sala 14, devido à existência de uma parede permanente e outras duas provisórias criadas no espaço, optou-se por individualizar a medição numa área restrita considerando duas aberturas de 2,55x5,16 m.

As medições descritas neste capítulo tiveram lugar nos dias 16 e 22 de Abril de 2012 e foram realizadas pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na pessoa do Eng.º António Eduardo Costa com o apoio do autor.

5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

5.2.1. METODOLOGIA

5.2.1.1. Aparelhos de medição

A medição do Tempo de Reverberação foi realizada com o recurso a uma fonte sonora *Brüel & Kjaer* - modelo 4224 (Fig. 5.1) e um sonómetro *Brüel & Kjaer* - modelo 2260 (Fig. 5.2) apoiado num tripé.

As fontes sonoras permitem emitir e amplificar os sons gerados havendo porém, vários métodos de excitação e diversas formas e modelos de fontes sonoras (omnidirecionais, direcionais, etc.). [1]

Os sonómetros são instrumentos de medição de níveis de pressão sonora e são constituídos por um microfone, um circuito integrador, filtros de ponderação e um mostrador (analógico ou digital). Existem sonómetros de várias classes (ou tipos) em função da sua precisão (sendo os de tipo 0 os de referência, os de tipo 1 de precisão, de tipo 2 para uso geral e de tipo 3 para estimativas). [1]



Fig. 5.1 - Fonte sonora *Brüel & Kjaer* - modelo 4224
[Foto do autor].



Fig. 5.2 - Sonómetro *Brüel & Kjaer* - modelo 2260
[Foto do autor].

5.2.1.2. Procedimentos

A medição do tempo de reverberação foi realizada através da emissão de um ruído por uma fonte sonora e do registo do nível de pressão sonora e tempo de decaimento por um sonómetro, a partir do instante em que a fonte sonora é interrompida. O ruído utilizado (Ruído Branco) possui a capacidade de varrer os espectros de frequências entre os 125 Hz e os 4000 Hz e energia que possibilita registar o decaimento do ruído excitador acima do ruído de fundo existente. O decaimento efetivamente medido foi de 30 dB embora o sonómetro apresente os resultados já extrapolados correspondentes ao decaimento de 60 dB (T_{30}).

As medições efetuadas foram realizadas com a fonte sonora no pavimento e o sonómetro a aproximadamente 1,30 m de altura. Em cada ponto de medição foram realizadas duas medições por banda de 1/1 oitava (de 125 Hz a 4 kHz), a primeira com o microfone do sonómetro 45° para a esquerda e a segunda com o microfone rodado de 45° para a direita (na direção das diagonais do espaço). Os resultados apresentados pelo sonómetro são a média dessas duas medições.

No período em que foram realizadas as medições estavam presentes nas respetivas salas de exposição apenas quatro pessoas (operador mais três pessoas), com os equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) desligados e com as janelas tapadas pelas telas *blackout*.



Fig. 5.3 e 5.4 – Medição do tempo de reverberação na sala 12 do Museu de Serralves [Fotos do autor].

5.2.2. PONTOS DE MEDIÇÃO

A medição do tempo de reverberação foi realizada em cada sala em três pontos, respetivamente a 1/4, 2/4 e 3/4 do comprimento das salas, totalizando nove instantes de medição. Nas figuras 5.5 a 5.7 apresentam-se as plantas das salas 11, 12 e 14 com os respetivos pontos de medição assinalados.

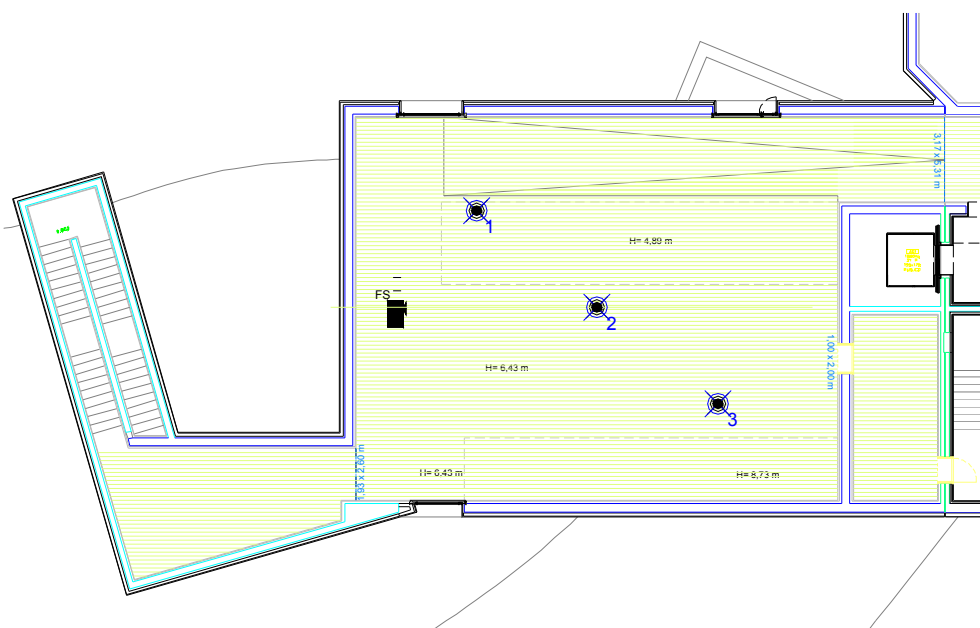


Fig. 5.5 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).

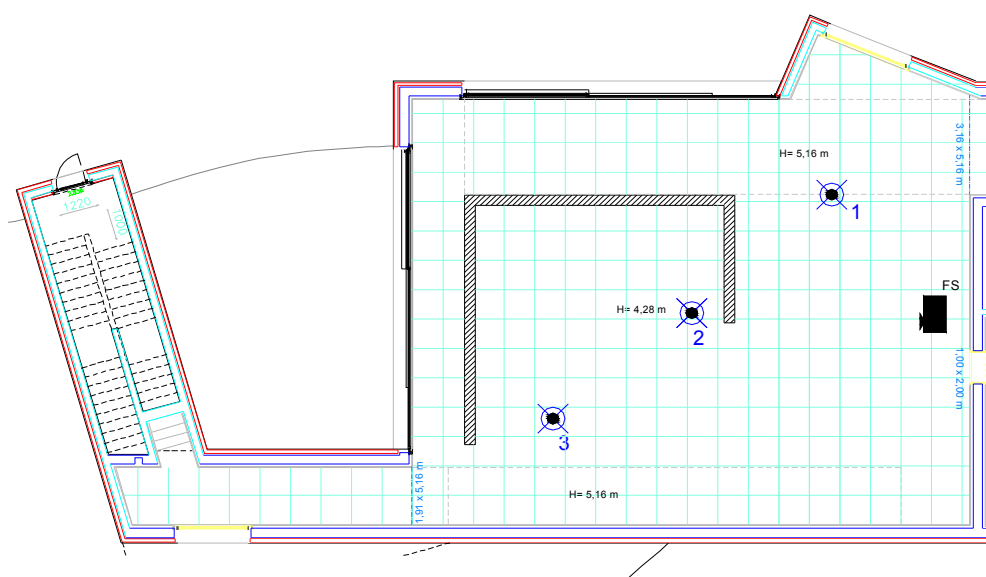


Fig. 5.6 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).

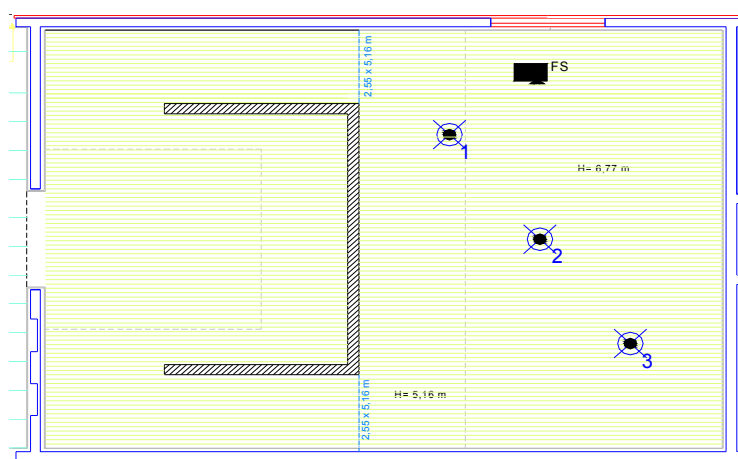


Fig. 5.7 – Localização da fonte sonora (FS) e dos três pontos de medição na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).

5.2.3. RESULTADOS

Os valores do tempo de reverberação medidos por banda de frequência entre 125 Hz e 4 kHz (referentes às salas 11, 12 e 14) resultantes das medições realizadas estão apresentados no Quadro 5.2 e Fig. 5.8.

A partir dos valores medidos verifica-se que as salas de exposição possuem um $TR_{\text{médio}}[500, 1k]$ entre 4,0 e 4,3 s e um $TR_{\text{médio}}[500, 1k, 2k]$ entre 3,8 e 4,1 s. A sala 11, com um volume de aproximadamente 1760 m^3 , é das três a que apresenta maior tempo de reverberação com 4,3 s de $TR_{\text{médio}}[500, 1k]$. Já as salas 12 e 14, com volumes respetivos de 1350 m^3 e 1070 m^3 , possuem tempos de reverberação idênticos com $TR_{\text{médio}}[500, 1k]$ de 4,0 s, mesmo com as diferenças de volume e de revestimentos de pavimento (sendo que na sala 12 o pavimento é em mármore e na sala 14 é em madeira maciça). Tal facto pode ser justificado pela maior área absorvente da sala 12 impulsionada pela área da parede provisória criada na sala.

As medições realizadas revelaram também uma variação significativa do tempo de reverberação nas três salas ao longo das bandas de frequência, crescendo este tempo entre os 125 Hz e os 1000 Hz, decaindo depois novamente (Fig. 5.8). O decréscimo nas altas frequências é justificado pela atenuação do ar nessas frequências, que em espaços com grande volume, como é o caso, pode ter uma influência significativa. Já nas baixas frequências não seria de esperar um decréscimo tão acentuado, mas que poderá dever-se à absorção dos materiais envolventes (madeiras e placas de gesso cartonado).

Apesar das variações existentes no tempo de reverberação ao longo do espectro de frequências, a análise dos desvios-padrão mostra a uniformização destes tempos pelos vários pontos de medição e garante a fiabilidade dos valores medidos, que, à exceção da banda dos 125 Hz na sala 12, se mantêm muito baixos.

Os valores elevados do tempo de reverberação são justificados pelas características das salas, que apresentam grandes volumes, pé-direito muito elevados e superfícies bastante refletoras em toda a envolvente das salas.

Quadro 5.2 - Valores do Tempo de Reverberação medido nas salas 11, 12 e 14.

Frequência [Hz]	TR [s]						Médio [500, 1k]	Médio [500, 1k, 2k]
	125	250	500	1k	2k	4k		
Sala 11								
Ponto 1	1,94	3,39	4,02	4,45	3,65	2,82	4,2	4,0
Ponto 2	2,04	3,17	4,15	4,47	3,59	2,93	4,3	4,1
Ponto 3	1,97	3,21	4,17	4,49	3,70	2,90	4,3	4,1
TR _{médio}	1,98	3,26	4,11	4,47	3,65	2,88	4,3	4,1
Desvio-padrão	0,05	0,12	0,08	0,02	0,06	0,06		
Sala 12								
Ponto 1	2,15	3,13	3,80	4,15	3,24	2,45	4,0	3,7
Ponto 2	2,67	3,40	3,85	4,08	3,32	2,60	4,0	3,8
Ponto 3	2,23	3,38	3,82	4,11	3,45	2,53	4,0	3,8
TR _{médio}	2,35	3,30	3,82	4,11	3,34	2,53	4,0	3,8
Desvio-padrão	0,28	0,15	0,03	0,04	0,11	0,08		
Sala 14								
Ponto 1	2,42	3,32	3,67	4,29	3,51	2,73	4,0	3,8
Ponto 2	2,30	3,27	3,68	4,32	3,51	2,73	4,0	3,8
Ponto 3	2,51	3,31	3,58	4,18	3,32	2,70	3,9	3,7
TR _{médio}	2,41	3,30	3,64	4,26	3,45	2,72	4,0	3,8
Desvio-padrão	0,11	0,03	0,06	0,07	0,11	0,02		

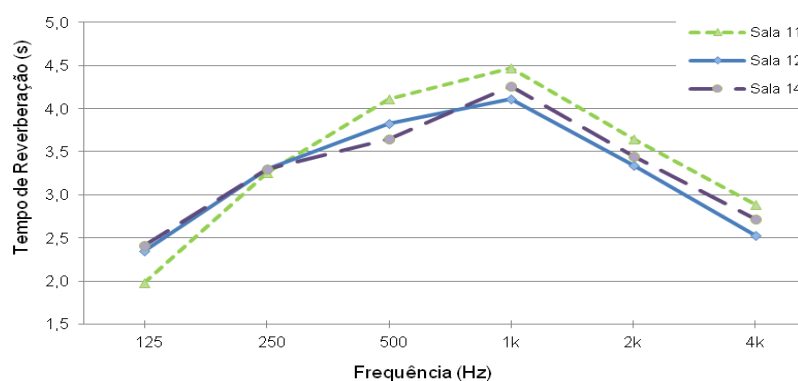


Fig. 5.8 – Tempo de Reverberação por banda de 1/1 oitava entre 125 Hz e 4 kHz nas salas 11, 12 e 14.

Quando comparados os valores medidos do tempo de reverberação com os valores “ideais” propostos por vários autores (Quadro 5.3), verifica-se que as salas deste museu apresentam valores muito elevados. Contudo, tentou -se ainda perceber o significado que a presença de pessoas nas salas teria nos valores do tempo de reverberação, apresentando-se portanto no Quadro 5.4 os valores estimados para os tempos de reverberação com a presença de 20 e 30 pessoas nas salas. Verificou-se que apesar de existir uma redução, os valores de TR mantêm-se muito elevados.

Quadro 5.3 – Comparação entre Tempos de Reverberação máximos propostos e os valores medidos.

Sala	TR _{Proposto} [s]						TR _{Medido} [s]
	Gregory Miller [57]	Higini Arau [58]	John Miller [55]	Marshall Long [56]	Mike Wilson [51]	R.R.AE* [61]	[500, 1k, 2k]
11	0,5 - 1,0	1,0 - 1,4	1,9	1,0 - 1,5	0,5 - 1,0	1,8	4,1
12	0,5 - 1,0	1,0 - 1,3	1,8	1,0 - 1,5	0,5 - 1,0	1,7	3,8
14	0,5 - 1,0	1,0 - 1,3	1,8	1,0 - 1,5	0,5 - 1,0	1,5	3,8

* Admitindo a sua aplicabilidade

Quadro 5.4 - Tempo de Reverberação estimado para ocupação da sala com 20 e com 30 pessoas.

Sala	TR [500, 1k]			TR [500, 1k, 2k]		
	Sem pessoas	Com 20 pessoas	Com 30 pessoas	Sem pessoas	Com 20 pessoas	Com 30 pessoas
11	4,3	3,8	3,6	4,1	3,6	3,4
12	4,0	3,4	3,2	3,8	3,3	3,1
14	4,0	3,3	3,0	3,8	3,2	2,9

5.3. RUÍDO DE FUNDO

5.3.1. METODOLOGIA

5.3.1.1. Aparelhos de medição

A medição do Ruído de Fundo foi realizada com o recurso a um sonómetro *Brüel & Kjaer* - modelo 2260 (Fig. 5.2), apoiado num tripé portátil.

5.3.1.2. Procedimentos

A medição do ruído de fundo foi efetuada por duas fases, a primeira (no dia 16 de Abril) com o museu fechado ao público (Fig. 5.9), com os equipamentos condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) ativados e depois desativados; a segunda fase foi realizada no Domingo (dia 22 de Abril) com o museu aberto ao público e os equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) ativados (Fig. 5.10).

A medição ocorreu no interior do edifício em momentos em que não ocorriam picos de ruído com o recurso a um sonómetro e foi realizada a medição por bandas de 1/1 oitava entre 16 Hz e 8000 Hz.

Os valores obtidos representam o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{Aeq}) e foram obtidos por medições com duração aproximada de 10 min. de forma a obter a estacionariedade dos valores. Importa ainda referir que durante as medições realizadas na segunda fase estavam presentes na sala 11 de 15 a 20 pessoas, na sala 12 de 12 a 15 pessoas e na sala 14 entre 4 a 5 pessoas.



Fig. 5.9 e 5.10 – Medição do ruído de fundo na sala 11, sem (esquerda) e com pessoas (direita) [Fotos do autor].

5.3.2. PONTOS DE MEDIÇÃO

As medições do ruído de fundo efetuadas nas salas 11, 12 e 14 tiveram como pontos de medição na primeira fase (com o museu fechado ao público) o centro geométrico de cada sala e na segunda fase (aberto ao público) em locais periféricos das mesmas tentando não perturbar os visitantes, tal como apresentado nas figuras 5.11 a 5.13.

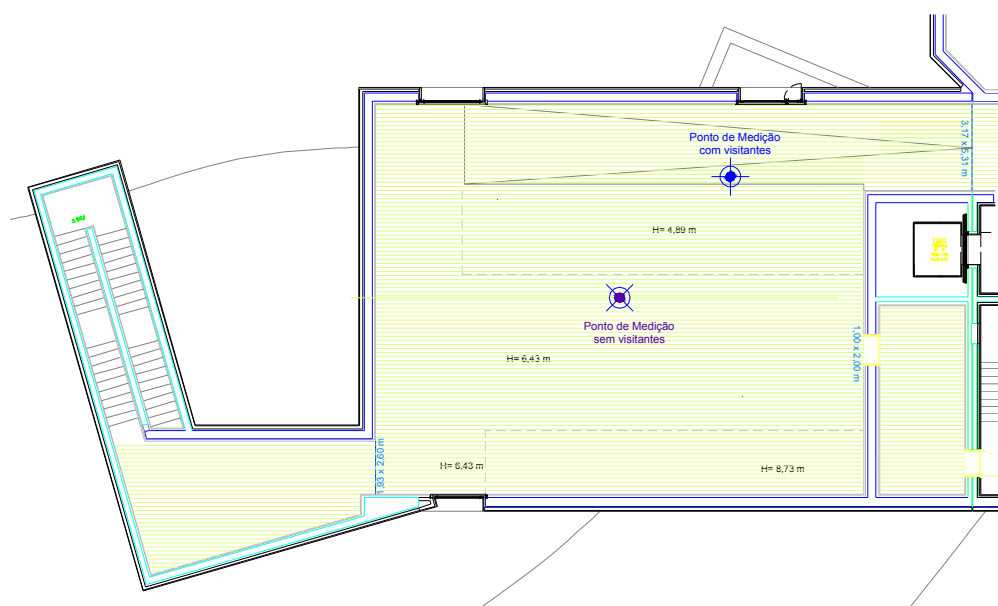


Fig. 5.11 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).

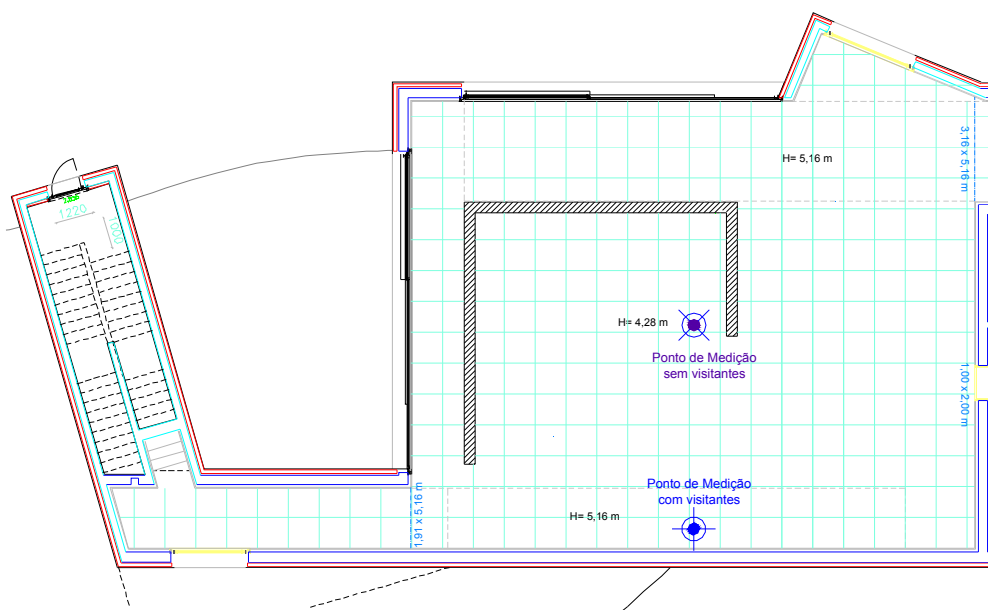


Fig. 5.12 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).

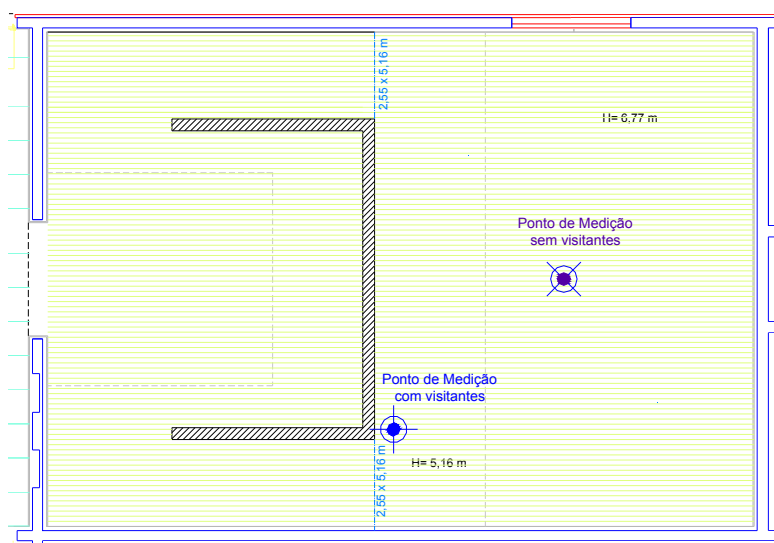


Fig. 5.13 – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).

5.3.3. RESULTADOS

5.3.3.1. Ruído de Fundo sem visitantes

Os valores medidos dos níveis do ruído de fundo sem visitantes nas salas de exposição, com e sem sistema de AVAC ligado, presentes nos quadros 5.5 e 5.6 e figuras 5.14 a 5.16, permitem verificar o nível de pressão sonora e o nível sonoro do ruído de fundo e ainda analisar a influência do sistema de AVAC no ambiente sonoro das salas de exposição.

Pela análise do Quadro 5.5 e da Fig. 5.14 é possível verificar que o nível de pressão sonora do ruído de fundo nas salas é muito variável em frequência sendo que, apresenta níveis consideravelmente

superiores nas baixas frequências. Este facto é justificado pela maior absorção do ar nas altas frequências e pela influência dos sistemas de AVAC, que emitem fundamentalmente nas baixas frequências, muito embora quando os sistemas de AVAC estão desligados as baixas frequências apresentam igualmente elevada expressão. Na sala 11, nota-se ainda nas médias frequências um decréscimo de nível de pressão sonora menos acentuado que se deve ao facto de a sala estar em contacto directo com um corredor de acesso a outras salas.

Pode também verificar-se pela Fig. 5.14 que a entrada em funcionamento do sistema de AVAC não é muito condicionante no ruído de fundo das salas, sendo que a sala 11 é a que apresenta maior diferença de nível de pressão sonora, especialmente nas médias e altas frequências. Já a sala 12 apresenta uma ligeira diferença nas baixas e médias frequências que tende a desaparecer nas altas frequências, e a sala 14 mantém-se praticamente invariável com ou sem sistema ativado ao longo de todas as frequências. Assim, o acréscimo no nível de pressão sonora contínuo equivalente das salas 11, 12 e 14 foi respetivamente de 6,5 dB, 4,9 dB e 0,4 dB (Fig. 5.15).

Quadro 5.5 – Nível de pressão sonora de ruído de fundo, com e sem sistema de AVAC.

Frequência [Hz]	L [dB]										L _{eq} [dB]
	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Sem AVAC											L _{eq} [dB]
Sala 11	50,3	47,9	35,4	33,6	28,1	29,5	28,7	21,9	14,7	12,7	
Sala 12	43,1	34,7	28,6	24,7	22,1	21,7	19,8	16,7	13,4	12,5	
Sala 14	48,0	48,0	40,4	31,4	28,3	22,4	19,0	15,8	13,3	12,3	
Com AVAC											L _{eq} [dB]
Sala 11	57,6	52,5	39,0	38,7	37,9	37,3	35,9	35,7	22,3	16,2	
Sala 12	48,1	39,6	33,1	28,7	26,9	25,2	21,7	17,5	13,8	12,5	
Sala 14	47,1	47,3	40,2	31,7	28,6	24,2	20,6	17,6	14,5	13,2	
ΔL= L _{Com AVAC} - L _{Sem AVAC}											ΔL _{eq} [dB]
Sala 11	7,3	4,6	3,6	5,1	9,8	7,8	7,2	13,8	7,6	3,5	
Sala 12	5,0	4,9	4,5	4,0	4,8	3,5	1,9	0,8	0,4	0,0	
Sala 14	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	1,8	1,6	1,8	1,2	0,9	

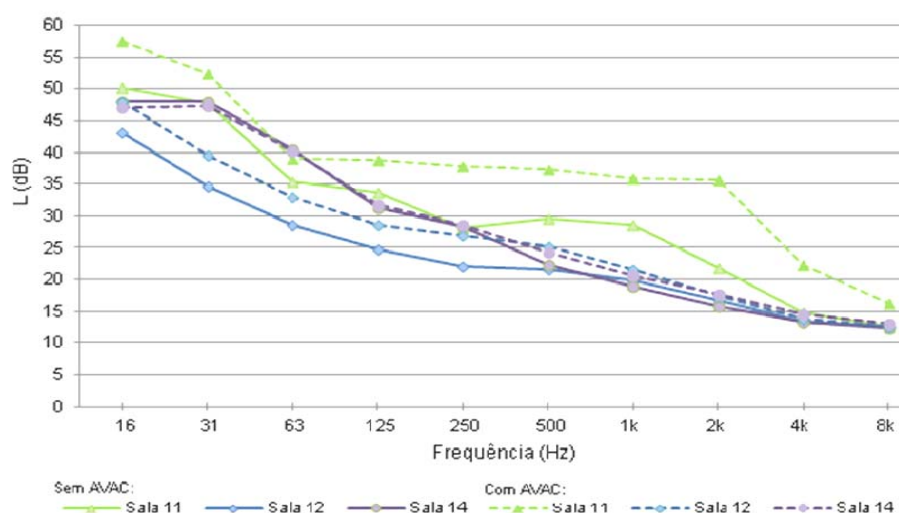


Fig. 5.14 – Nível de pressão sonora de ruído de fundo nas salas de exposição, com e sem sistema de AVAC.

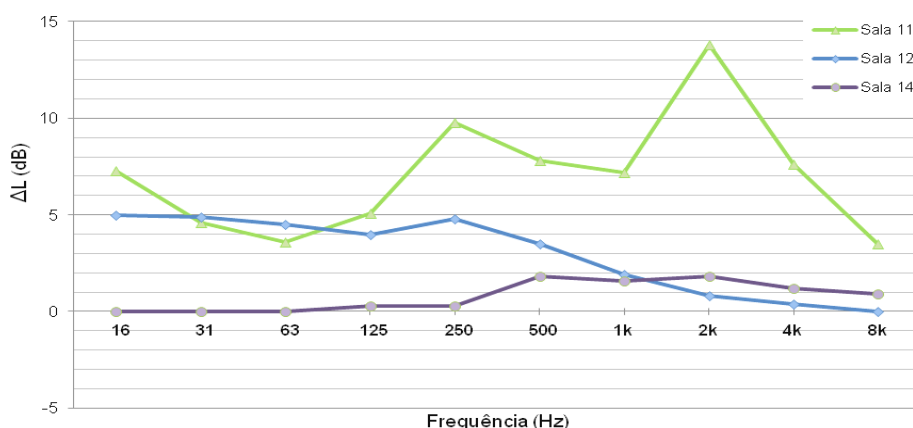


Fig. 5.15 – Variação do nível de pressão sonora de ruído de fundo com a introdução do sistema de AVAC.

Quando analisado o ruído de fundo pelo nível sonoro, ou seja, ajustado à sensibilidade do ouvido humano, verifica-se que as baixas frequências perdem um pouco importância e realçam-se fundamentalmente as médias frequências e um pouco as altas. Aqui, pela mesma razão do acréscimo do nível de pressão sonora nas médias frequências, também o nível sonoro da sala 11 nas médias frequências apresenta um pico que não seria de esperar.

Quando em análise a influência no nível sonoro da entrada em funcionamento do sistema de AVAC nas salas (Fig. 5.16) confirma-se que a sala 11 é aquela que apresenta maior acréscimo do nível sonoro com a introdução do sistema um pouco por todo o espectro de frequências, embora mais significativamente nas médias frequências. A sala 12, contudo, também apresenta algum acréscimo do nível sonoro, mas, fundamentalmente nas baixas frequências. Já na sala 14 apenas se nota um ligeiro acréscimo nas médias frequências. Assim, numa análise global, o nível sonoro contínuo equivalente sofreu com a introdução do AVAC um acréscimo nas salas 11, 12 e 14 de, respetivamente, 9,0 dB(A), 2,2 dB(A) e 1,3 dB(A).

Quadro 5.6 – Nível sonoro de ruído de fundo, com e sem sistema de AVAC.

Frequência [Hz]	L _A [dB]									
	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Sem AVAC										L _{Aeq} [dB]
Sala 11	7,9	9,4	18,1	19,6	26,5	28,7	22,9	15,7	11,7	32,0
Sala 12	0*	2,6	9,2	13,6	18,7	19,8	17,7	14,4	11,5	24,8
Sala 14	8,0	14,4	15,9	19,8	19,4	19,0	16,8	14,3	11,3	25,8
Com AVAC										L _{Aeq} [dB]
Sala 11	12,5	13,0	23,2	29,4	34,3	35,9	36,7	23,3	15,2	41,0
Sala 12	0*	7,1	13,2	18,4	22,2	21,7	18,5	14,8	11,5	27,0
Sala 14	7,3	14,2	16,2	20,1	21,2	20,6	18,6	15,5	12,2	27,1
ΔL= L _{Com AVAC} - L _{Sem AVAC}										ΔL _{eq} [dB]
Sala 11	4,6	3,6	5,1	9,8	7,8	7,2	13,8	7,6	3,5	9,0
Sala 12	0,0	4,5	4,0	4,8	3,5	1,9	0,8	0,4	0,0	2,2
Sala 14	-0,7	-0,2	0,3	0,3	1,8	1,6	1,8	1,2	0,9	1,3

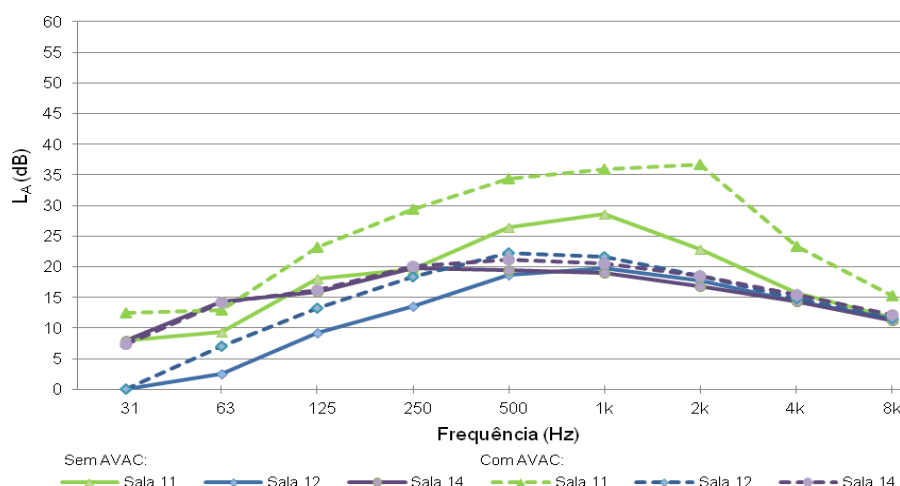


Fig. 5.16 – Nível sonoro de ruído de fundo nas salas de exposição, com e sem sistema de AVAC.

5.3.3.2. Ruído de Fundo com visitantes

As medições do ruído de fundo realizadas com o edifício aberto ao público (Quadro 5.7) revelaram um comportamento diferente daquele que até aqui tinha sido observado, pois o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) resultou em valores significativamente superiores, sendo estes nas salas 11, 12 e 14 respectivamente de 66 dB, 63 dB e 61 dB. Pode também verificar-se pelos valores de L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} que existe uma variação ainda significativa do ruído ao longo do tempo, não sendo os valores de L_{Amin} muito baixos e existindo valores de pico (L_{Amax}) excessivamente elevados para o ambiente que seria pretendido. É importante referir que aquando da análise da variação do nível sonoro do ruído de fundo, entre a situação em que não existem visitantes nas salas de exposição e quando existem, verificam-se acréscimos de nível sonoro entre 25 e 36 dB(A).

Quadro 5.7 – Nível sonoro de ruído de fundo com visitantes.

Sala	Parâmetro [dB]							
	L_{Amin}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	L_{Amax}	L_{Aeq}	ΔL_{Aeq} (sem AVAC)	ΔL_{Aeq} (com AVAC)
11	57,4	69,0	65,0	61,5	76,5	66	34	25
12	54,2	64,5	60,5	57,0	86,3	63	38	36
14	52,3	63,5	59,5	56,0	73,9	61	35	34

Tomando como referência o valor limite de 40 dB(A) para o nível sonoro em museus, propostos neste trabalho e tendo por base as recomendações de vários autores (ver 3.7.4), pode afirmar-se que quando o museu está fechado ao público as salas 12 e 14 apresentam boas condições, com uma margem considerável (mesmo com o sistema de AVAC ligado). No caso da sala 11 na mesma situação, esta não verifica esse limite, embora esteja muito próxima. Já se a mesma análise for referida ao comportamento acústico do edifício em serviço (Quadro 5.7) verifica-se que nenhuma das três salas de exposição cumpre o valor limite máximo de 40 dB(A), apresentando-se a sala menos ruidosa (sala 14) com um acréscimo de 21dB(A) e a sala mais ruidosa (sala 11) com 26 dB(A), face aos 40dB(A) proposto.

5.3.3.3. Curvas de Incomodidade

Com o intuito de avaliar o grau de incomodidade que o ruído de fundo pode provocar nas pessoas efetuou-se o cálculo das curvas *Noise Criterion* (NC) e *Noise Rating* (NR), representadas pelas figuras 5.17 e 5.18 e Quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Valores das curvas NC e NR para as salas 11, 12 e 14.

Sala	NC	NR
11	37	39
12	20	22
14	19	21

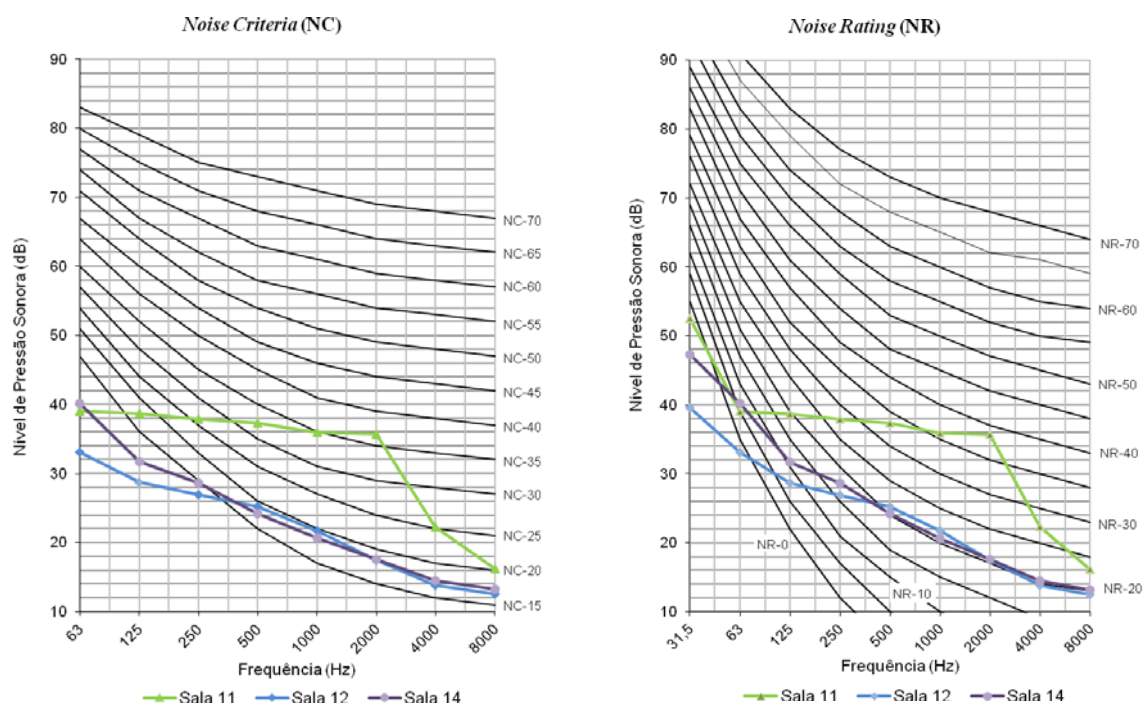


Fig. 5.17 e 5.18 – Curvas NC (esquerda) e NR (direita) para as salas 11, 12 e 14.

As diferenças nos resultados obtidos por estas curvas evidenciam a disparidade existente entre os níveis de ruído de fundo da sala 11 e das salas 12 e 14, notando-se que a sala 11 é significativamente mais incómoda para as pessoas que as restantes. Quando comparados estes resultados (Quadro 5.8) com os valores “ideais” propostos por alguns autores (Quadro 5.9 e 5.10) constata-se que enquanto as salas 12 e 14 respondem com satisfação aos padrões de incomodidade exigidos a sala 11 fica aquém do desejável.

Quadro 5.9 – Comparação dos valores máximos propostos para NC com os valores verificados.

Sala	NC _{máx.} - Proposto					NC _{verificado}
	Barry Lord [63]	Constantino Gonzalez [15]	Gregory Miller [57]	Marshall Long [56]	Recuero Lopez [8]	
11						37
12	35	35	25	25	40	20
14						19

Quadro 5.10 – Comparação dos valores máximos propostos para NR com os valores verificados.

Sala	NR _{máx.} - Proposto		NR _{verificado}
	Constantino Gonzalez [15]	NF S 30-001 [64]	
11			39
12	40	35	22
14			21

5.3.3.4. Articulation Index (AI)

Com base nos valores mais expressivos do nível de pressão sonora de ruído de fundo das salas, na presença do sistema de AVAC, foi realizado o cálculo do *Articulation Index* (AI), de forma a poder-se caracterizar a percepção subjectiva para a inteligibilidade e privacidade da palavra (Quadro 5.11).

Quadro 5.11 – Cálculo do parâmetro AI (*Articulation Index*).

Frequência [Hz]	Nível de conversação (nc)	Peso (p)	Ruído de fundo (rf) [dB]	nc-rf (máx. 30)	(nc-rf).p
250	72	18	38	30	540
500	73	50	37	30	1500
1000	78	75	36	30	2250
2000	63	107	36	27	2889
4000	58	83	22	30	2490
AI=					0,97

Perante o valor obtido $AI=0,97$ é possível concluir que as salas de exposição do museu apresentam sem visitantes um grau de inteligibilidade que corresponde a uma excelente comunicação, por outro lado, isso significa também que o grau de privacidade da palavra é totalmente inexistente. Este fenómeno apresenta vantagens e desvantagens, sendo que é muito favorável para a comunicação do guia aos visitantes, mas também uma limitação no sentido em que os visitantes que não estão acompanhados por guias podem sentir-se desconfortáveis com o facto de conseguirem perceber a conversa de outros visitantes na sala com grande facilidade.

5.4. RASTI (*RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX*)

5.4.1. METODOLOGIA

5.4.1.1. Aparelhos de medição

A medição dos valores de RASTI foi realizada com o recurso a um medidor de RASTI da *Brüel & Kjaer*, composto por um emissor (altifalante) modelo 4225 e recetor (microfone) modelo 4419 (Fig. 5.19), e um analisador do modelo 3361 (Fig 5.20).



Fig. 5.19 – Medidor do RASTI *Brüel & Kjaer* - modelo 3361, emissor (modelo 4225) [Foto do autor].



Fig. 5.20 - Analisador de RASTI *Brüel & Kjaer* - modelo 3361, recetor (modelo 4419) [Foto do autor].

5.4.1.2. Procedimentos

A medição do RASTI é realizada através de um processo de transmissão de um sinal emitido por uma fonte sonora e a receção, desse mesmo sinal, por um analisador de RASTI. A posição da fonte sonora a emitir deve ser tal que simule a posição dos oradores. Neste caso concreto foi localizada de forma a simular a conversa de um guia voltado para a sala. Deste modo, e com um emissor que simula a mesma gama de frequências e flutuações da voz humana, a posição do microfone do analisador de RASTI foi colocado de frente para o guia, onde se preveem estar os ouvintes.

Os valores de RASTI em cada posição são obtidos pelo analisador, apresentados diretamente a partir da modificação que ocorre no sinal entre a fonte sonora e o microfone recetor omnidirecional (do analisador).



Fig. 5.21 e 5.22 – Medição do RASTI nas salas 12 (esquerda) e 14 (direita) [Fotos do autor].

5.4.2. PONTOS DE MEDIÇÃO

Foram realizadas medições de RASTI, sem a presença de equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) ligados, em três zonas (I, II, III) em cada sala, respetivamente a 1/4, 2/4 e 3/4 do comprimento, registando três leituras em cada de duas posições por zona, tal como evidenciado nas figuras 5.23 a 5.25.

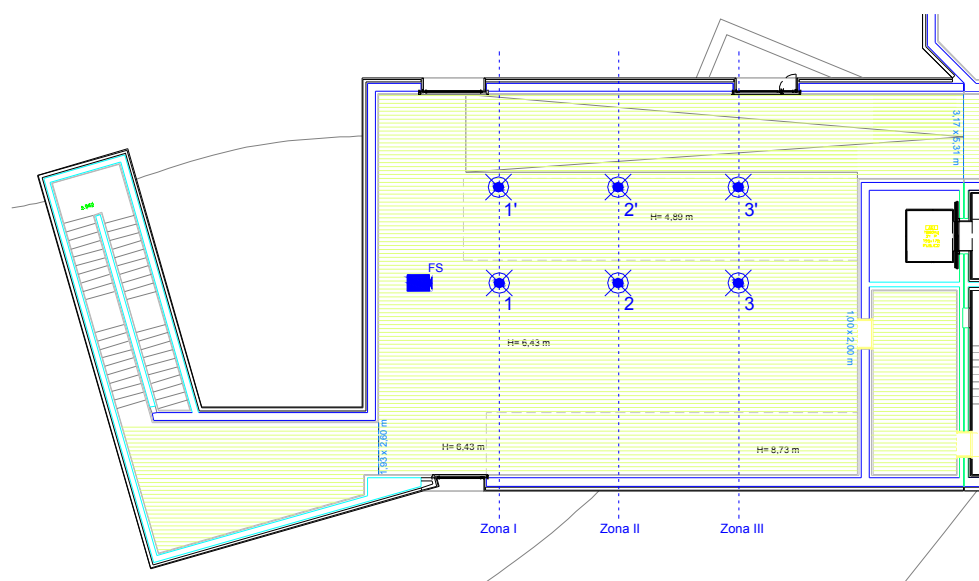


Fig. 5.23 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 11 (Adaptação de [77]).

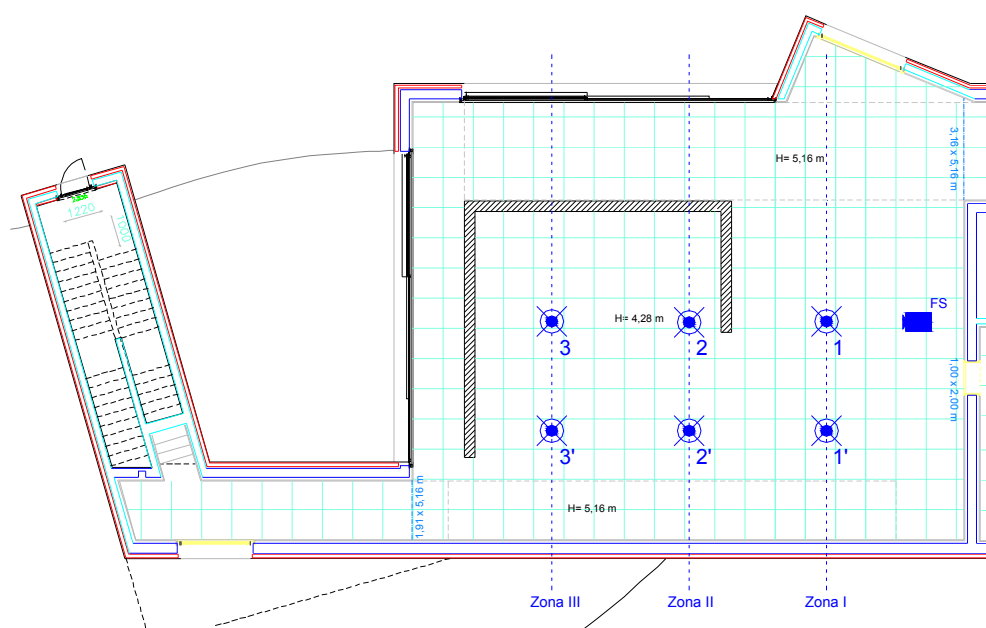


Fig. 5.24 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 12 (Adaptação de [78]).

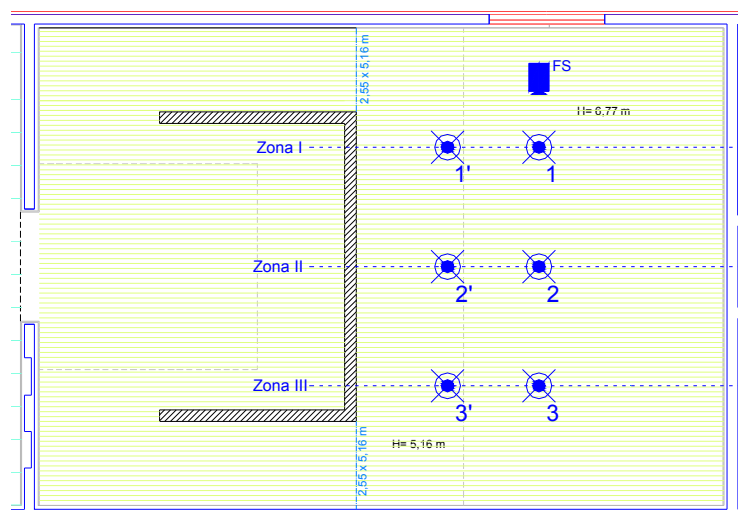


Fig. 5.25 – Localização dos pontos e das zonas de medição do RASTI na planta da sala 14 (Adaptação de [78]).

5.4.3. RESULTADOS

A caracterização da inteligibilidade da palavra de cada sala de exposição é realizada com base nos resultados das medições de RASTI dividida por zonas e por pontos tal como apresentado no Quadro 5.12 e representados nas Fig. 5.26 e 5.27, onde estão presentes os resultados e média dos valores de RASTI em cada ponto de medição, em cada zona e em cada sala.

Quadro 5.12 - Valores do RASTI medidos.

Zona	Ponto	Medições			Média	Média Zona	Média Sala
		1	2	3			
Sala 11							
I	1	0,52	0,51	0,52	0,52	0,47	0,40
	1'	0,43	0,41	0,40	0,41		
II	2	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	
	2'	0,36	0,38	0,38	0,37		
III	3	0,37	0,38	0,36	0,37	0,37	
	3'	0,35	0,37	0,36	0,36		
Sala 12							
I	1	0,53	0,54	0,53	0,53	0,50	0,42
	1'	0,46	0,46	0,45	0,46		
II	2	0,38	0,36	0,38	0,37	0,39	
	2'	0,41	0,41	0,40	0,41		
III	3	0,36	0,38	0,37	0,37	0,37	
	3'	0,38	0,37	0,38	0,38		
Sala 14							
I	1	0,51	0,52	0,52	0,52	0,49	0,45
	1'	0,47	0,46	0,47	0,47		
II	2	0,45	0,46	0,47	0,46	0,45	
	2'	0,43	0,44	0,44	0,44		
III	3	0,42	0,40	0,41	0,41	0,40	
	3'	0,39	0,38	0,39	0,39		

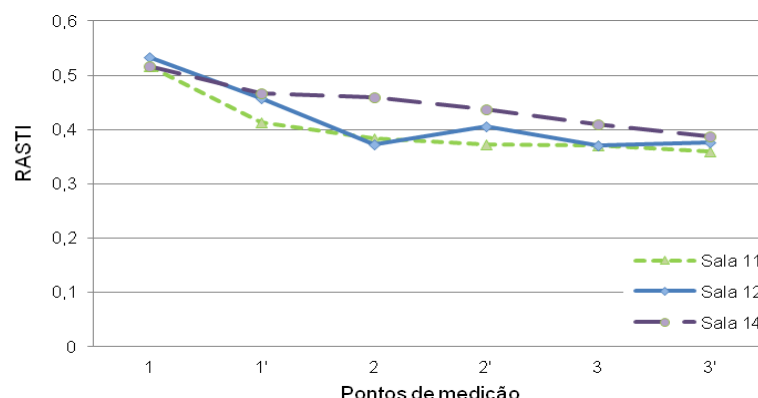


Fig. 5.26 – Valores de RASTI nos seis pontos de medição das salas de exposição.

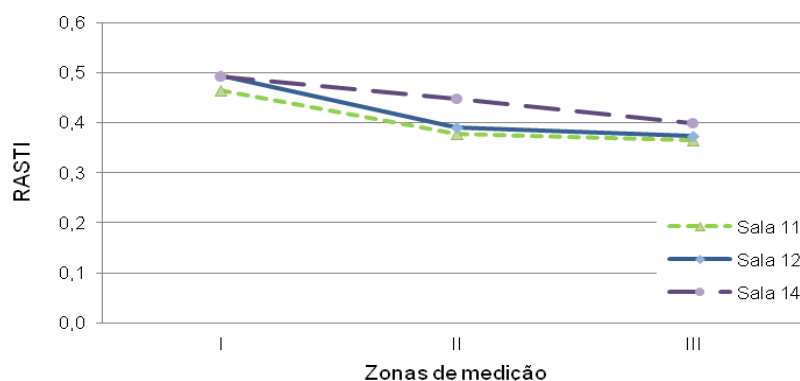


Fig. 5.27 – Valores de RASTI nas três zonas de medição das salas de exposição (I, II, III).

A análise dos valores de RASTI por zona mostra claramente um decréscimo desses valores com o aumento da distância à fonte sonora, ou seja há uma previsível diminuição da inteligibilidade da zona I para a zona II, e desta para a zona III.

Verifica-se também pelo valor médio da medição em cada ponto, tal como seria de esperar, um maior valor de RASTI para as medições nos pontos em frente do equipamento emissor, sendo mais notória esta diferença na zona I, pois é a que se apresenta mais próxima do equipamento. Nas restantes zonas a diferença de valores entre pontos (na mesma zona e na mesma sala) apresentam variações pouco significativas.

Relativamente à análise por sala percebe-se que nas salas 11 e 12 o decréscimo dos valores de RASTI entre zonas não apresenta um comportamento linear com o aumento da distância à fonte, contrariamente ao que acontece na sala 14. Na sala 12 o facto das medições no ponto 2 terem sido realizadas por detrás de uma parede, perdendo-se o alcance direto do emissor ao recetor, poderá ter reduzido um pouco o valor da inteligibilidade e, consequentemente também a média da zona. Na sala 14 o facto de esta se apresentar ampla e livre de paredes divisória e com volume significativamente inferior às restantes salas justifica a linearidade dos valores obtidos.

O resultado médio global do RASTI nas salas 11, 12 e 14, respetivamente de 0,40, 0,42, e 0,45 significa, segundo a escala subjetiva de inteligibilidade da palavra (Quadro 3.3), que a inteligibilidade nas salas 11 e 12 é *pobre* e na sala 14 é *aceitável*. A explicação da presença destes valores,

consideravelmente baixos, tem como origem a falta de absorção das salas verificada pelos elevados tempos de reverberação (apresentados em 5.2.3), e como consequência, verifica-se que a quando da emissão de um sinal sonoro (como pode ser a voz humana), este tende a demorar a extinguir-se, facilitando o mascaramento desse sinal. No caso particular de um museu a falta de inteligibilidade da palavra pode ser entendida com um duplo significado, por um lado, nestes espaços existe uma grande necessidade de criar boas condições de inteligibilidade para a palavra dos guias, que terá influência na zona I e zona II (sensivelmente a meio do comprimento da sala) não devendo os visitantes acompanhados por guia estar mais distantes dele que isso; por outro lado, quando as pessoas não estão acompanhadas por guias deve haver privacidade da palavra (o contrário da inteligibilidade) para que as pessoas se sintam confortáveis no seu espaço e não sejam perturbadas pelas conversas dos restantes visitantes.

5.5. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS

Efetuada uma análise global dos resultados obtidos pelas medições do Tempo de Reverberação, dos níveis sonoros do Ruído de Fundo e de RASTI percebe-se que os três parâmetros estão relacionados entre si, tal como as conclusões a retirar deste caso de estudo.

Ao realizar uma análise dos tempos de reverberação obtidos deve-se tentar perceber a arquitetura do espaço, estando esta fortemente relacionada com a acústica do espaço. Nesse sentido, o Museu de Serralves é caracterizado por possuir elevados pés-direito, corredores extensos (no piso 3), salas muito amplas e contactáveis entre si através de aberturas de grande dimensão sem possibilidade de isolamento, criando a sensação que todo o espaço de exposição é apenas um ambiente. Isso contudo não é muito favorável à acústica do espaço, pelo que se obteve nas salas 11, 12 e 14, (com volumes compreendidos entre 1070 m³ e 1760 m³) tempos de reverberação médios [500, 1k, 2k] entre 3,8 e 4,1s, quando estes não deviam ultrapassar os 1,4 s, denunciando este facto a falta de absorção existente nas salas de exposição.

O Museu de Serralves, muito devido à sua localização e arquitetura semi-enterrada apresenta valores de ruído de fundo que revelam não ser este o fator crítico da acústica do museu, muito embora, quando este se encontra aberto ao público se verifiquem valores excessivos, traduzindo então elevadas variações do nível sonoro do ruído de fundo. Mesmo assim, verifica-se que as salas de exposição possuem graus de incomodidade (NC e NR) muito razoáveis. Particularmente, a sala 11 é a que apresenta piores condições de incomodidade, advindo do ruído de fundo elevado na presença do sistema de AVAC, que faz elevar os níveis sonoros significativamente (em especial entre os 250 Hz e os 2000 Hz), refletindo-se então no grau de incomodidade desta sala.

É ainda fundamental perceber as diferenças entre os níveis de ruído de fundo existentes nas situações em que o museu está fechado ao público e quando existem visitantes nas salas de exposição, pois os valores são muito díspares. Aquilo que se constata é que o ruído gerado pelas pessoas somado com o ruído do contacto do calçado-pavimento e ainda alguma contribuição do conteúdo sonoro das instalações existentes (como foi o caso no momento das medições realizadas) origina valores de ruído de fundo bastante expressivos. Este facto, junto com a falta de absorção das salas, faz com que o ruído tenda a demorar a extinguir-se (por consequência dos elevados tempos de reverberação) e com isso o nível sonoro de ruído de fundo mantém-se elevado de forma constante no tempo.

Os valores do RASTI são por si a consequência dos elevados tempos de reverberação das salas e do ruído de fundo, notando-se por isso que as salas 11 e 12 apresentam uma inteligibilidade pobre e a sala 14 uma inteligibilidade aceitável. Este facto representa portanto algumas desvantagens, mas também

algumas vantagens, sendo que as salas 11 e 12 apresentam alguns problemas de comunicação entre os guias e os visitantes, mas permitem maior privacidade nas conversas entre visitantes. Quanto à sala 14, esta deverá ser um pouco mais equilibrada em ambos os aspetos.

Em suma, verifica-se que o museu em termos acústicos “funciona” bem quando não está ocupado. No entanto, quando existe ocupação a reverberação excessiva agregada com o ruído gerado no espaço tornam-o um pouco incómodo e com algumas particularidades de comunicação. O problema da falta de absorção sonora das salas e os níveis sonoros existentes no seu interior revelam algum prejuízo nos padrões de qualidade e conforto do museu.

6

ANÁLISE ACÚSTICA SUBJETIVA

6.1. INTRODUÇÃO

Os edifícios de Museus, como já vem sendo dito ao longo deste trabalho, são casos muito particulares e que apresentam também necessidades e características acústicas muito singulares. Nesse sentido pensa-se que uma análise subjetiva da acústica do Museu de Serralves será de especial importância na compreensão da Acústica de Museus Modernos e um complemento importante para este trabalho.

Com a análise acústica subjetiva pretende-se perceber a subjetividade dos parâmetros de qualidade acústica em museus modernos e ao mesmo tempo avaliá-la, recorrendo-se para isso a um questionário aplicado a um grupo de pessoas representativo da população.

6.2. METODOLOGIA

A análise subjetiva realizada tem como objetivo perceber, mediante o género e a faixa etária, a importância que as pessoas atribuem à acústica em museus modernos e quais dos ruídos mais expressivos lhes são mais incomodativos. Importa também perceber o que mais agrada neste museu aos visitantes para que com isso seja mais fácil entender as suas necessidades, e perceber se realmente o ambiente sonoro lhes é uma necessidade ou, se por outro lado, isso não tem influência.

De modo a maximizar a credibilidade da análise subjetiva foi preparado um questionário que seguiu as recomendações da Norma Portuguesa NP 4476 [79] que tem como âmbito a “Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos”.

Tentou-se de um modo geral criar um questionário claro, simples e objetivo, com respostas concisas e unívocas de resposta fechada, permitindo apenas a seleção de uma única resposta a cada pergunta, para reduzir de certa forma o esforço e tempo de aplicação do inquérito. As respostas foram pensadas numa *escala de Likert* [80] de 5 pontos, devendo o inquirido selecionar uma opção de entre: *discordo muito*, *discordo pouco*, *indiferente*, *concordo pouco*, *concordo muito*; reforçada com a correspondente escala numérica de avaliação (1 a 5). Foi ainda alvo de preocupação a linguagem utilizada e a disposição gráfica do questionário, que se pretendeu estarem apelativas e adaptadas às habilitações do público-alvo, com a possibilidade de ser realizado *online* e traduzido em mais três línguas, Inglês, Francês e Espanhol, por forma a permitir captar o máximo de respostas ao inquérito e também analisar as diferenças entre a opinião acústica subjetiva de público de diferentes nacionalidades. O modelo final do questionário foi também aplicado previamente na forma de “estudo-piloto” para avaliar a sua viabilidade, dando origem a alterações na escala (inicialmente de 7 pontos para a escala aplicada de 5 pontos) e também reformulação de algumas perguntas.

O questionário apresentado (Anexo I) encontra-se dividido em dois grupos de perguntas, o primeiro com um carácter sócio-demográfico e o segundo vocacionado para a acústica em museus. As perguntas de componente sócio-demográfica servem neste questionário para caracterizar a amostra recolhida e para permitir, *à posteriori*, uma análise de dados tanto mais abrangente quanto possível, funcionando ao mesmo tempo como uma introdução ao questionário.

O questionário apresentou as seguintes perguntas:

- **Dia da Visita:** *Terça, Quarta, Quinta, Sexta, Sábado, Domingo.*

A resposta a esta pergunta pode apresentar alguma importância no sentido que permite, caso se pretenda, uma análise diferenciada segundo o volume de visitantes de cada dia.

- **Género:** *Masculino, Feminino.*

A recolha de dados acerca do género dos inquiridos tem para além da importância de caracterizar a amostra um duplo intuito que será o de permitir perceber se pessoas de géneros diferentes têm resposta semelhantes, ou se pelo contrário, apresentam sensibilidades diferentes.

- **Faixa Etária:** *Menos de 18 anos, 18 a 30 anos, 31 a 45 anos, 46 a 65 anos, mais de 65 anos.*

Com a informação da faixa etária dos inquiridos completa-se a caracterização da amostra e pode ainda retirar-se conclusões a cerca da faixa etária com maior tendência para visitar museus. Conjuntamente com respostas a outras perguntas permite também definir as necessidades de conforto que devem ser exigidas em museus modernos.

As frases vocacionadas para a acústica apresentam-se descritas em seguida, bem como o seu intuito:

- **1:** *Aprecio o silêncio em museus.*

Esta afirmação é a primeira diretamente relacionada com o estudo pretendido justamente porque define as expectativas de cada visitante acerca da acústica do museu e mostra também a sua sensibilidade para o assunto, sendo portanto uma questão chave para a análise das restantes.

- **2:** *Sinto muito ruído nas salas deste museu.*

A afirmação 2 vem no seguimento da questão anterior e pretende levar o inquirido à reflexão do tema, respondendo de acordo com os seus parâmetros de qualidade acústica.

- **3:** *O ruído das máquinas fotográficas é incómodo.*

Esta frase tem um carácter mais de controlo da sensibilidade de cada inquirido forçando-o a refletir num assunto muito particular e por isso permite também verificar o grau de foco da pessoa no tema aqui abordado.

- **4:** *O ruído dos visitantes incomoda-me.*

Esta questão está relacionada com a barreira entre o conforto e o desconforto de cada indivíduo num espaço específico, como é o caso deste museu, e perante as condições acústicas existentes. Sendo atribuída maior ênfase à invasão do espaço pessoal (zona de conforto de cada indivíduo) e de como o indivíduo reage a este estímulo, considerando-o som ou ruído.

- 5: *Percebo claramente o guia.*

Aqui a intenção será mesmo verificar a opinião das pessoas acerca das condições de inteligibilidade da palavra nas salas de exposição.

- 6: *Consigo perceber a conversa dos outros visitantes.*

Com esta afirmação tenta-se tirar conclusões acerca das condições de privacidade da palavra nas salas e também responder a questões relacionadas com as condições de concentração, nomeadamente em que medida as condições de concentração são asseguradas aos indivíduos para que estes possam apreciar e contemplar os seus ideais sem que estes sejam minimizados pelo ruído de fundo.

- 7: *Oiço ecos nas salas de exposição.*

Nesta questão os “ecos” referidos tentam corresponder às condições de reverberância existentes nas salas e que se pretendem avaliar subjetivamente (usa-se a palavra “eco” por ser de mais fácil compreensão pelo público).

- 8: *O ruído dos passos das pessoas é intenso.*

Claramente esta frase serve para verificar o quanto a “sonoridade do pavimento” tem importância para as pessoas e qual a sua opinião acerca das condições relativas existentes.

- 9: *Indique o que mais lhe agrada neste museu (Exposições, Biblioteca, Ambiente sonoro, Restaurante/Bar, Edifício, Iluminação artificial, Luz natural).*

O questionário termina então com uma “pergunta de descompressão” que levará o inquirido a refletir sobre o que o leva àquele espaço e no que isso lhe atribui alguma satisfação/conforto, com isto percebe-se também a importância destas variáveis no contexto social do inquirido.

A realização do questionário decorreu no dia 19 de Abril (Quinta-feira) na parte da manhã e no domingo dia 22 do mesmo mês, durante todo o dia, consistindo num sistema de entrevista pessoal e individual realizado à saída da visita das salas de exposição, com o intuito de perceber a opinião subjetiva de cada pessoa que sem que durante a visita às salas tivesse essa informação, apelando assim à reflexão e à imagem criada por cada um acerca da acústica do local. As entrevistas foram realizadas nesta modalidade por forma a controlar a amostra, que se pretende ser representativa da população, sendo o público-alvo mulheres ou homens de qualquer nacionalidade, com idades mínimas de 16 anos, preferentemente despertos para as particularidades do tipo de edifício em causa. A amostra recolhida contou assim com 135 inquiridos (100 portugueses e 35 estrangeiros) solicitados voluntariamente a realizar o questionário, explicando-lhes sumariamente o âmbito da pesquisa a realizar sem de qualquer modo expor algum dos resultados obtidos por parâmetros acústicos objetivos. A dimensão da amostra representa cerca de 10 % do número de visitantes do período em que foi realizada, contabilizando para esta amostra apenas um questionário por família (quando era caso disso).

6.3. RESULTADOS DO INQUÉRITO

Pretendendo-se apresentar e discutir os resultados obtidos nos 135 questionários aplicados aos visitantes nos dois dias será pertinente verificar a sua distribuição pelo dia da visita (Fig. 6.1), da qual se retira que 27% dos questionários foram realizados na quinta-feira, 44% no domingo de manhã e 24% no domingo à tarde, (de notar que domingo de manhã a visita ao museu é gratuita). Da recolha

dos questionários efetuada nos dois dias 74% têm nacionalidade portuguesa e os restantes 26% outra nacionalidade.

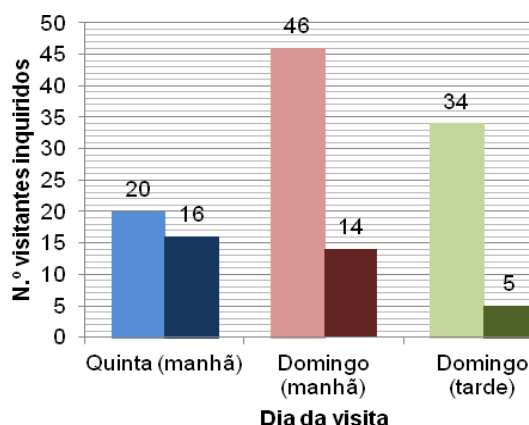


Fig. 6.1 – Distribuição do número de inquiridos pelo dia da visita.

Ainda caracterizando a amostra, verifica-se que 43% dos inquiridos são do sexo feminino e 57% do sexo masculino (Fig. 6.2), sendo que pela distribuição da faixa etária verifica-se que o grande grupo de indivíduos tem idade compreendida entre os 18 e os 30 anos (38%), seguindo-se a faixa etária dos 31 aos 45 anos (26%), depois a dos 46 aos 65 anos (19%) e só por fim as pessoas com menos de 18 anos (11%) e maiores de 65 anos (7%), como se pode verificar na Fig. 6.3.

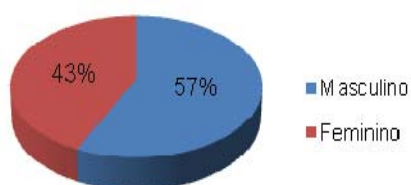


Fig. 6.2 – Distribuição dos inquiridos pelo género.

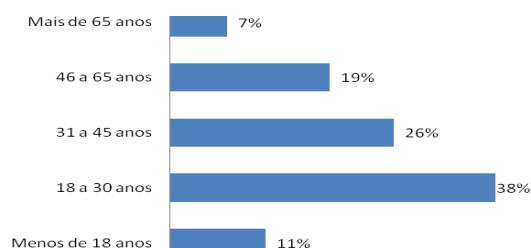


Fig. 6.3 – Distribuição dos inquiridos pela faixa etária.

No que respeita às respostas das perguntas realizadas com foco na acústica de museus e em especial no caso de estudo, verifica-se que as questões foram praticamente todas respondidas pelos inquiridos, com a exceção da pergunta 5 que subentendia que os visitantes tinham, naquele dia ou num outro, realizado visita guiada às salas de exposição e por isso apenas 76 pessoas afirmaram estar em condições de responder. No Quadro 6.1 e 6.2 apresenta-se os resultados relativos às questões 1 a 8, e que se pretendem explorar.

Quadro 6.1 - Quadro resumo das respostas das perguntas 1 a 8.

Perguntas realizadas	Respostas obtidas	Discordo Muito	Discordo Pouco	Indiferente	Concordo Pouco	Concordo Muito
1 Aprecio o silêncio nos museus	135	7%	8%	7%	8%	70%
2 Sinto muito ruído nas salas deste museu	135	33%	21%	5%	16%	25%
3 O ruído das máquinas fotográficas é incómodo	132	43%	14%	23%	11%	9%
4 O ruído dos visitantes incomoda-me	134	30%	16%	13%	20%	21%
5 Percebo claramente o guia	76	11%	14%	30%	26%	19%
6 Consigo perceber a conversa dos outros visitantes	133	32%	17%	17%	20%	14%
7 Oíço ecos nas salas de exposição	133	25%	22%	8%	19%	26%
8 O ruído dos passos das pessoas é intenso	135	36%	19%	12%	14%	19%

Quadro 6.2 - Resumo das respostas das perguntas 1 a 8.

Pergunta	Discordo	Concordo
1	15%	78%
2	54%	41%
3	58%	20%
4	46%	41%
5	25%	45%
6	49%	34%
7	47%	45%
8	55%	33%

As respostas obtidas à primeira pergunta, em que se perguntava se as pessoas apreciam o silêncio em museus, convergiu fundamentalmente à afirmação “concordo muito” representando esta 70% das respostas, concordando positivamente um total de 78% dos inquiridos. Este dado apresenta um enorme interesse na medida em é afirmado o interesse da acústica em museus e se percebe que a grande maioria dos visitantes estará sensíveis para este assunto.

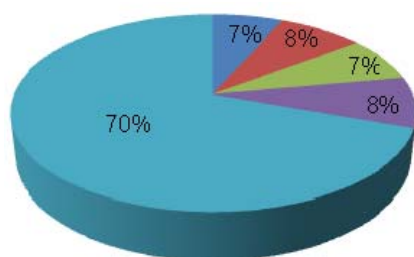


Fig. 6.4 – Resposta à pergunta 1 “Aprecio o silêncio nos museus”.

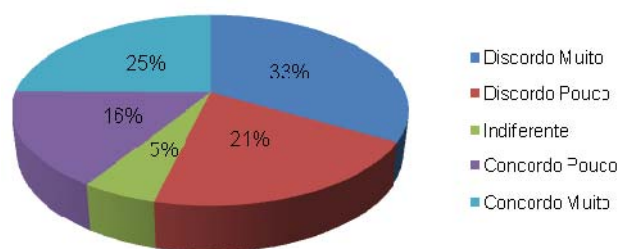


Fig. 6.5 – Resposta à pergunta 2 “Sinto muito ruído nas salas deste museu”.

À segunda questão, já acerca das condições acústicas do Museu de Serralves e perguntando se as pessoas sentiam muito ruído nas salas do museu, as respostas mostram alguma dificuldade nessa avaliação, respondendo afirmativamente 41%, ao passo que negativamente 54% (Fig. 6.5). Nesta questão considera-se que a dispersão dos resultados poderá ter sido condicionada por variáveis não controláveis neste estudo, verificando-se pelas respostas individuais das pessoas alguma cautela na resposta à pergunta e um pensamento não focalizado apenas nas salas de exposição do edifício do museu.

Perante a questão 3, em que era perguntado se as pessoas se sentiam incomodadas com o ruído das máquinas fotográficas, verificaram-se respostas um pouco diferentes entre as que foram dadas por portugueses e as que foram dadas por estrangeiros. Como se pode verificar nas figuras 6.6 e 6.7, respectivamente as respostas dos portugueses e estrangeiros, 64% dos portugueses mostraram não sentir esse ruído ou não estar sensíveis a ele, enquanto que dos estrangeiros apenas 46% o revelaram. Este facto poderá revelar que os estrangeiros, com maior hábito em visitar museus, sejam mais sensíveis aos ruídos mais específicos que podem ser gerados nesses espaços que propriamente os portugueses, embora os resultados finais da pergunta levem a concluir que globalmente este tipo de ruídos não sejam muito incómodos para os visitantes (Fig. 6.8).

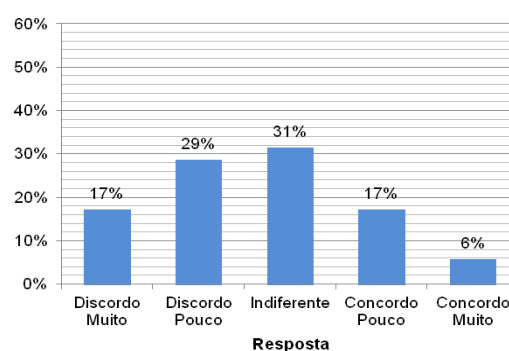
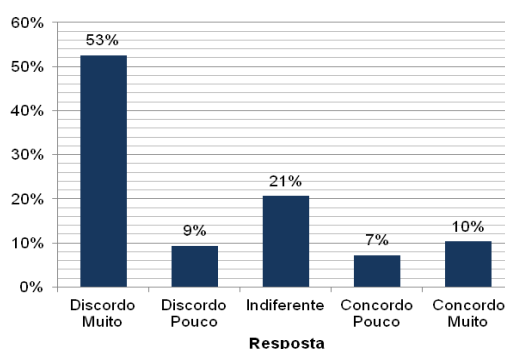


Fig. 6.6 e 6.7 – Resposta à pergunta 3 por portugueses (esquerda) e por estrangeiros (direita).

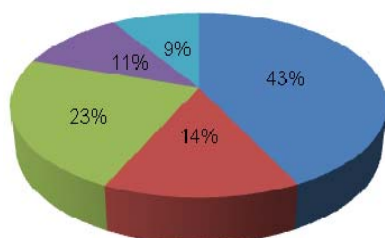


Fig. 6.8 – Resposta à pergunta 3 “O ruído das máquinas fotográficas é incómodo”.

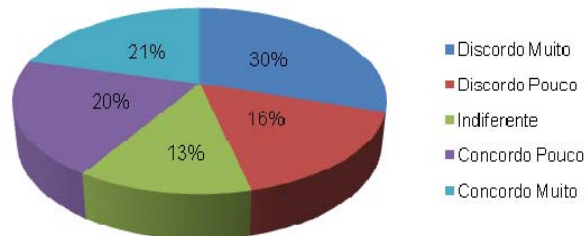


Fig. 6.9 – Resposta à pergunta 4 “O ruído dos visitantes incomoda-me”.

Na pergunta 4 quando se pergunta se as pessoas se sentem incomodadas com o ruído provocado pelos outros visitantes as respostas são muito diferentes, repartindo-se quase por igual nos cinco pontos da escala. Isto permite concluir que a sensação de conforto dos indivíduos em museus é muito subjectiva e variável, possivelmente em função da motivação que os leva a esse local. Assim, não é possível perceber de forma clara se as pessoas se sentem incomodadas com o ruído de fundo gerado pelos restantes visitantes.

A pergunta 5 pretende avaliar subjetivamente as condições de inteligibilidade nas salas de exposição, por isso foi perguntado às pessoas se elas percebiam claramente o guia, pelo que se obtiveram respostas bastante concisas e fortemente positivas, com 45% de respostas afirmativas, embora 30% das respostas mostraram um pouco de indecisão ou falta de interesse no assunto respondendo portanto “indiferente”.

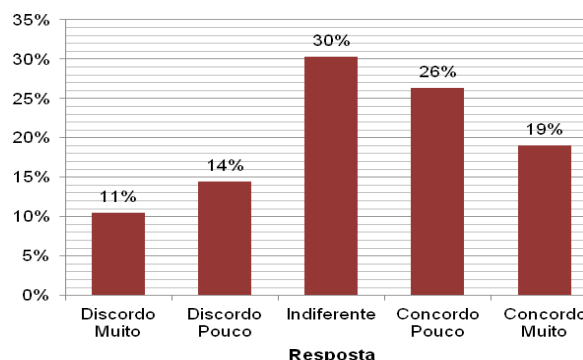


Fig. 6.10 – Resposta à pergunta 5 “Percebo claramente o guia”.

Tentando perceber a influência do ruído de fundo na concentração das pessoas e ao mesmo tempo as condições de privacidade da palavra foi perguntado às pessoas se conseguiam perceber a conversa de outros visitantes, pelo que se obtiveram respostas muito diferentes (Fig. 6.13), notando-se apesar disso que os portugueses se mostram mais indiferentes pela falta de privacidade da palavra que os estrangeiros (Fig. 6.11 e 6.12). Este facto pode indicar, conjuntamente com as respostas da pergunta 3, e como já foi referido, a falta de sensibilidade para estas questões que poderá dever-se ao menor hábito de visitar museus em Portugal, ao contrário de outros países.

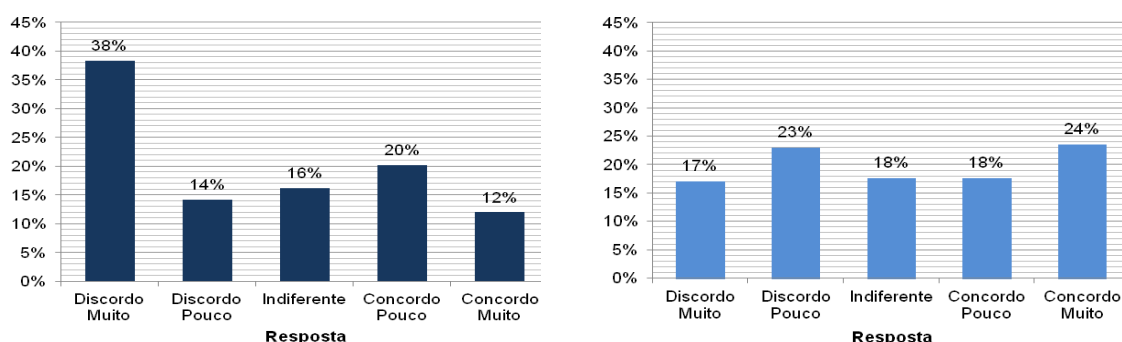


Fig. 6.11 e 6.12 – Resposta à pergunta 6 por portugueses (esquerda) e por estrangeiros (direita).

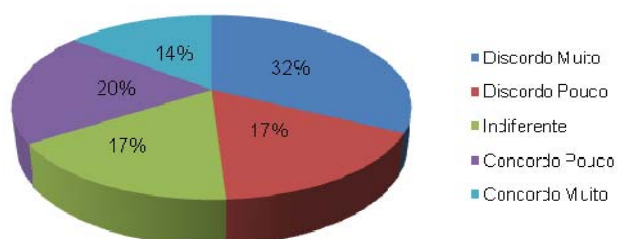


Fig. 6.13 – Resposta à pergunta 6 “Consigo perceber a conversa dos outros visitantes”.

Com a intenção de perceber o nível de sensibilidade auditiva (subjettiva) à reverberância perguntou-se aos inquiridos se ouviam “ecos”, expressão correntemente usada para descrever o parâmetro acústico, recebendo respostas divergentes também a esta questão, pelo que se verifica que apenas 45% concordaram ouvir ecos e 47% discordaram da afirmação (Fig. 6.14).

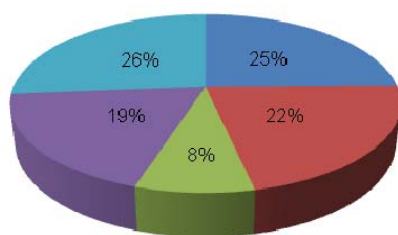


Fig. 6.14 – Resposta à pergunta 7 ‘Oíço ecos nas salas de exposição’.

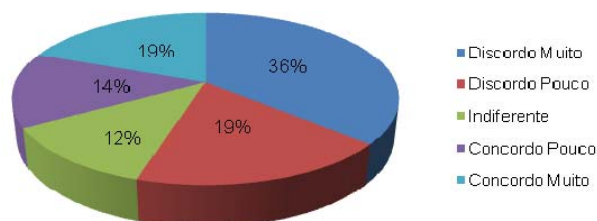


Fig. 6.15 – Resposta à pergunta 8 ‘O ruído dos passos das pessoas é intenso’.

Ainda pretendendo perceber quais os ruídos que provocam maior incómodo nos visitantes e a importância da “sonoridade do pavimento”, foi-lhes perguntado se o ruído dos passos das pessoas era intenso, ao que 55% afirmou discordar e apenas 33% concordou, mostrando-se indiferentes 12% dos inquiridos (Fig. 6.15).

Por fim à questão 9, em que se perguntava o que mais lhes agrada no museu, e perante as opções, notou-se nitidamente nas respostas que aquilo que mais agrada aos visitantes do Museu de Serralves são as exposições, com 42% de respostas e logo de seguida o edifício, com 35% de respostas. Verifica-se portanto que a quantidade de pessoas que visita o Museu de Serralves pelas exposições é muito próximo daqueles que lá vão para visitar e contemplar o edifício; de notar ainda que caso se inclui-se as condições de iluminação nas características do edifício então aí o número de pessoas que preferem o edifício superaria as exposições.

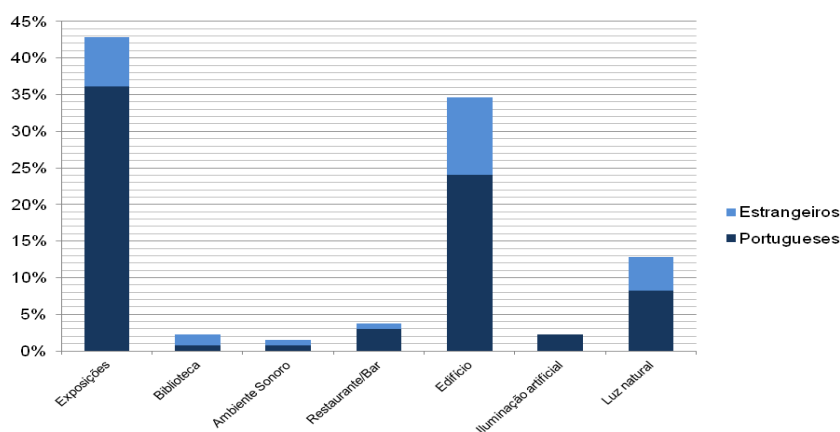


Fig. 6.16 – Resposta à pergunta 9 ‘Indique o que mais lhe agrada neste museu’.

6.4. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS

Ao efetuar uma análise global dos resultados obtidos a partir dos questionários será pertinente iniciá-la referindo que se percebeu que, para os visitantes do Museu de Serralves, o edifício tem uma importância indiscutível e, independentemente do perfil de cada um, as condições acústicas em museus verificam-se ser uma necessidade evidente.

No que respeita à análise subjetiva da qualidade acústica do museu, as conclusões são muito divergentes, pois 41% dos inquiridos revelam sentir muito ruído, enquanto que 54% mostram ter opinião contrária. Contudo, através das respostas dos inquiridos percebeu-se que muitas vezes lhes era difícil concentrar a atenção apenas na qualidade acústica do museu quando se lhe fazia a pergunta, notando-se que as pessoas respondiam com dificuldade e um pouco de acordo com o apreço que sentem por todo o conjunto constituinte da Fundação e Museu de Serralves.

Tendencialmente nas questões em que era especificado um ruído particular as opiniões mostram-se divididas, o que vem comprovar conjuntamente com as respostas à pergunta 3 (em que se perguntava se o ruído das máquinas fotográficas era incómodo) que as pessoas em geral não são muito sensíveis aos ruídos mais específicos, podendo isto revelar também, através da comparação das respostas por portugueses e estrangeiros, que o fraco hábito de visitar museus em Portugal poderá estar na origem da menor sensibilidade para a acústica em museus. Este pode ainda ser também o motivo que leva essencialmente o público português a estar indiferente à falta de privacidade da palavra, ao passo que o público estrangeiro mostrou-se mais atento a essa questão. Já relativamente às condições de inteligibilidade da palavra os inquiridos mostraram um pouco de indiferença, embora a maioria se tenha mostrado satisfeita.

Numa breve síntese dos resultados do questionário apresentam-se alguns números significativos da situação acústica atual do museu:

- 41% dos inquiridos afirmam sentir muito ruído;
- 20% das pessoas sentem-se incomodadas com o ruído das máquinas fotográficas;
- 41% mostram-se incomodados pelo ruído dos outros visitantes;
- 25% dizem não perceber claramente o guia;
- 45% afirmam ouvir “ecos” nas salas;
- 33% admitem que o ruído dos passos é intenso.

Os números em análise revelam realmente que a situação acústica atual do museu não é a ideal.

Para completar a análise subjetiva da acústica do Museu de Serralves com base nos inquéritos aplicados, e para além das respostas obtidas, deve ainda refletir-se nas características da amostra e perceber a motivação que os levou a visitar um museu e especificamente este. Aqui, a análise subjetiva poderia tomar uma dimensão e complexidade avultada pois verificou-se que o público que visitou o museu apresentava características muito diversificadas, desde visitas de estudo de escolas secundárias, famílias que pretendiam ter um momento de descontração, turistas que seguiam o roteiro da cidade e outros mais informados, alunos de arquitetura que pretendiam contemplar o edifício, apreciadores de arte contemporânea, até excursões de aposentados de visita à cidade.

Em suma, tendo o edifício o protagonismo que se verifica e sendo parte integrante deste a sua acústica, a sua importância vê-se aí perpetuada pela necessidade dos visitantes. Relativo à acústica do museu as opiniões são ainda muito divididas, notando-se que esta subjetividade se deve ao conjunto da soma de vários fatores, entre outros, ao nível cultural, a cultura da acústica ainda muito recente e à diferença dos padrões de qualidade de cada um.

7

ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS MUSEUS

7.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como intuito analisar e comparar as características acústicas de diferentes museus incidindo nos resultados relativos aos parâmetros acústicos objetivos, nomeadamente no Tempo de Reverberação, níveis sonoros do Ruído de Fundo e RASTI. Com isso pretende-se retirar algumas conclusões genéricas acerca das características acústicas de museus e enquadrar os resultados do Museu de Serralves.

Os museus a comparar neste capítulo são: um museu de grande dimensão de Londres que se identificará por London Art Gallery (pelo facto de o autor não o ter identificado), o Museu Nacional da Islândia (Reiquejavique), o Museu de Arte Moderna de Kristinehamn (Suécia), o Novo Museu da Acrópole (Atenas), o Museu Nacional de Arqueologia (Lisboa), o Museu Nacional Soares dos Reis (Porto) e o Museu de Serralves (Porto). Destes, apresentam tipologia “tradicional” a London Art Gallery, o Museu de Arte Moderna de Kristinehamn (Suécia), o Museu Nacional de Arqueologia (Lisboa) e o Museu Nacional Soares dos Reis, os restantes apresentam tipologia “moderna” (Quadro 7.1). A escolha dos museus a comparar, assim como a quantidade, é resultado da escassez de estudos acústicos em museus, e portanto não foram fatores de exclusão as características geométricas ou a tipologia dos mesmos. Tal facto não apresenta qualquer inconveniente para a análise em questão pelo facto de se entender que todos os museus e independentemente da sua tipologia, localização ou volume devam possuir as características mínimas de conforto acústico.

Os dados relativos à London Art Gallery (Londres) e que se apresentam em discussão foram obtidos através de comunicação privada (email) com John Miller da consultora *Bickerdike Allen Partners* (Londres) [55]; relativamente ao Museu Nacional da Islândia (Reiquejavique) foram retirados da tese de mestrado de Guðrún Jónsdóttir na Universidade Técnica da Dinamarca com o tema *Museums Acoustics* [50], os dados do Novo Museu da Acrópole (Atenas) foram obtidos de um catálogo da marca STO [81]; e os valores relativos ao Museu de Arte Moderna de Kristinehamn (Suécia) e Museu Nacional de Arqueologia (Lisboa) foram retirados da publicação *Museums- Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings Handbook* [51] (sabendo-se que estes valores são anteriores às intervenções que aí decorreram). Quanto ao Museu Nacional Soares dos Reis, os dados foram retirados da tese de mestrado de Luísa Garcia com o tema *A Acústica de Museus Tradicionais - Estudo de caso, o Museu Nacional Soares dos Reis (Porto)* [82]; quanto aos dados relativos ao Museu de Serralves são um excerto dos apresentados no capítulo 5 deste trabalho.

Quadro 7.1 – Lista dos museus a comparar.

Museu	Cidade	País	Tipologia
London Art Gallery*	Londres	Reino Unido	Tradicional
Museu Nacional da Islândia	Reiquejavique	Islândia	Moderno
Museu de Arte Moderna	Kristinehamn	Suécia	Tradicional
Novo Museu da Acrópole	Atenas	Grécia	Moderno
Museu Nacional de Arqueologia	Lisboa	Portugal	Tradicional
Museu Nacional Soares dos Reis	Porto	Portugal	Tradicional
Museu de Serralves	Porto	Portugal	Moderno

* nome fictício (não identificado pelo autor [55])

7.2. COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS

7.2.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A análise do tempo de reverberação dos vários museus é de grande importância pois este parâmetro é talvez o principal indicador da qualidade acústica de um espaço. Para a sua análise é ainda importante considerar o volume de cada sala de exposição, não obstante da ideia de que apesar de o volume ter influência no tempo de reverberação, a qualidade acústica de um espaço não deverá depender do mesmo.

No Quadro 7.2 estão apresentadas as características dos museus que se pretende comparar, podendo-se verificar que vão ser comparadas salas de exposição com volumes compreendidos entre cerca de 100 m³ e cerca de 10000 m³, pelo que permitirá uma análise comparativa abrangente dos vários tipos de salas.

O conjunto dos 21 valores de tempos de reverberação médio [500, 1k, 2k] em análise está compreendido entre 1,5 e 4,9 s, com a média desses tempos correspondente a 2,7 s, verificando-se portanto uma grande divergência nos diversos valores de tempo de reverberação, tal como é ilustrado na Fig. 7.1. Numa análise individual, observa-se que os valores de tempos de reverberação são bastante diferentes entre museus, sendo que a média das salas do museu londrino é de 2,3 s, o museu islandês com a média de 1,6 s, o museu sueco com tempo de reverberação de 4,5 s, o museu de Atenas apresenta uma média de 1,9 s, o Museu Nacional de Arqueologia com tempo de reverberação de 3,4 s, e no caso do Museu Nacional Soares dos Reis a média dos tempos de reverberação é já de 3,0 s, observando um grande desfasamento dos valores entre salas. Por fim, o Museu de Serralves destaca-se dos restantes com um TR médio de 3,9 s. Estes indicadores permitem perceber desde logo que existe uma grande variabilidade das características acústicas entre museus, sendo que os que apresentam melhor comportamento acústico são o museu islandês e o museu grego, só depois o museu londrino ainda com condições acústicas medianas (dependendo um pouco da sala) e só por último os museus portuenses.

Quadro 7.2 – Características dos museus a comparar.

Museu	Volume aproximado [m³]	TR _[500, 1k, 2k] [s]	Média do TR [s]
London Art Gallery*			
Galeria 1	634	2,5	2,3
Galeria 2	737	2,5	
Galeria 3	1275	1,8	
Galeria 4	1330	2,5	
Galeria 5	1375	2,3	
Galeria 6	1408	2,2	
Galeria 7	2976	2,0	
Museu Nacional da Islândia			
Sala em Arco	115	1,7	1,6
Galeria Nacional de Fotografia	1450	1,5	
Museu de Arte Moderna (Kristinehamn)			
Casa da Antiga Caldeira	3000	4,5	4,5
Novo Museu da Acrópole (Atenas)			
Galeria das Encostas da Acrópole	4750	1,8	1,9
Galeria Arcaica	10115	2,1	
Galeria Parthenon	-	1,7	
Museu Nacional de Arqueologia (Lisboa)			
Galeria 1	-	3,4	3,4
Museu Nacional Soares dos Reis (Porto)			
Sala 2	348	1,6	3,0
Sala 5	507	2,6	
Sala 7	990	4,9	
Sala 16	709	3,0	
Museu de Serralves (Porto)			
Sala 11	1760	4,1	3,9
Sala 12	1350	3,8	
Sala 14	1070	3,8	

* Não identificado pelo autor [55]

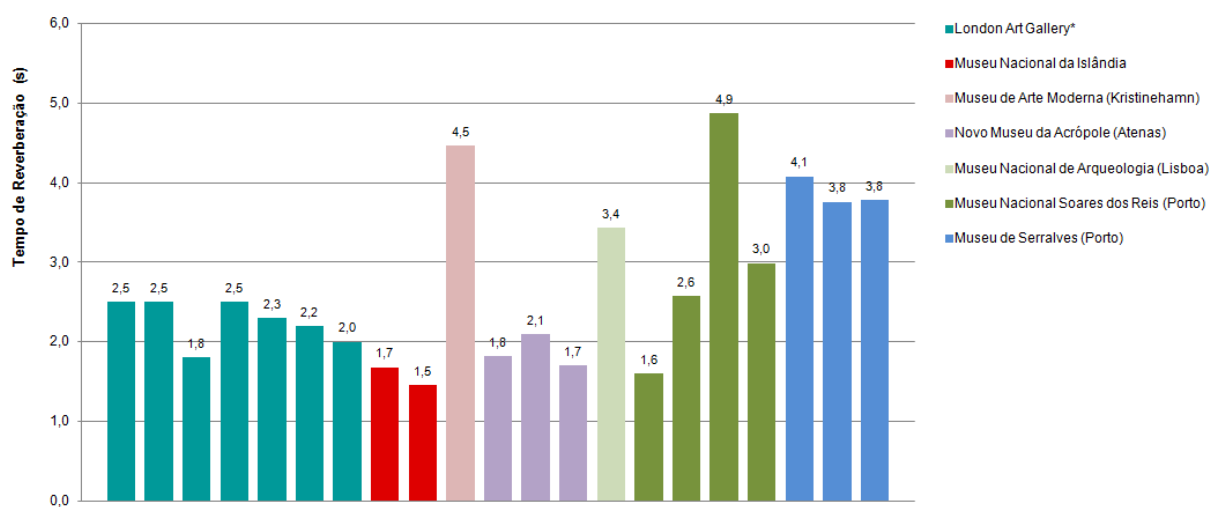


Fig. 7.1 – Valores dos Tempos de Reverberação médios [500, 1k, 2k] dos vários museus.

Da análise da Fig. 7.1 pode constatar-se que existe alguma proximidade dos valores dos tempos de reverberação das diversas galerias do museu londrino, mesmo com grandes variações de volumes entre galerias. O museu que apresenta maiores discrepâncias entre salas é mesmo o Museu Nacional Soares dos Reis, justificado no caso da sala 7 (a maior) por apresentar características de uma sala moderna com superfícies muito refletoras e um volume considerável, possuindo ainda algumas aberturas para corredores de circulação adjacentes. O Museu de Serralves é porém o que apresenta os valores de tempo de reverberação mais elevados e visivelmente superiores aos dos restantes museus.

Quando comparados os valores médios dos tempos de reverberação dos museus em análise com os valores aconselhados nesta dissertação (1,0 a 1,4 s) facilmente se percebe que nenhum dos museus se enquadra. No entanto, os dois museus que mais se aproximam são o Museu Nacional da Islândia e o Novo Museu da Acrópole, ambos “modernos”. No que respeita ao museu islandês tal facto deve-se à preocupação com o ambiente sonoro a quando das grandes obras de reabilitação que sofreu em 2004 e, no caso do museu grego este foi construído de raiz (e aberto em 2007) possuindo volumes muito elevados e muitas superfícies em betão e vidro, pelo que se antecipava um mau comportamento acústico que foi atendido e corrigido em fase de projeto.

7.2.2. RUÍDO DE FUNDO

Por forma a avaliar comparativamente os níveis de ruído de fundo do Museu de Serralves com outros museus apresentam-se no Quadro 7.3 valores de níveis sonoros (de ruído de fundo) relativos ao Museu Nacional da Islândia e ao Museu Nacional Soares dos Reis, nas bandas de frequência entre 32 e 4000 Hz (escala usada na tese de mestrado de Guðrún Jónsdóttir [50]) e os respetivos níveis sonoros contínuos equivalentes. Estes valores correspondem à situação em que os museus estão fechados ao público e têm os equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) ligados.

Quadro 7.3 – Níveis de pressão sonora filtrados A, do ruído de fundo dos vários museus (sem pessoas e com sistemas de AVAC ligados).

Museu	L _A [dB]								L _{Aeq} [dB]
	32	63	125	250	500	1k	2k	4k	
Museu Nacional da Islândia									
Sala em Arco	21	30	39	37	37	37	33	30	44
Galeria Nacional de Fotografia	7	17	20	32	29	30	27	25	36
Museu Nacional Soares dos Reis									
Sala 2	13	28	34	36	43	43	38	29	47
Sala 5	10	26	32	34	34	34	28	24	40
Sala 7	14	29	34	36	37	40	40	34	45
Museu de Serralves									
Sala 11	13	13	23	29	34	36	37	23	41
Sala 12	0	7	13	18	22	22	19	15	27
Sala 14	7	14	16	20	21	21	19	16	27

Com base no Quadro 7.3 e na Fig. 7.2 é possível verificar que, de uma forma geral, os níveis sonoros contínuos equivalentes das salas dos três museus situam-se acima dos 35 dB com exceção das salas 12 e 14 do Museu de Serralves. Nota-se também que os níveis sonoros são mais baixos nas baixas frequências (32 e 63 Hz) e mais estáveis nas médias e altas frequências. Se comparados os três museus, verifica-se que o Museu de Serralves é o que apresenta, em geral, níveis sonoros inferiores, seguindo-se o Museu Nacional da Islândia e só depois o Museu Nacional Soares dos Reis. Os valores

de níveis sonoros mais elevados deste último são justificados pelo facto de este museu estar situado frente a uma via de tráfego intenso.

Quando efetuado o enquadramento dos níveis sonoros de ruído de fundo nos valores máximos propostos nesta dissertação (40 dB (A)) verifica-se que apenas as salas 12 e 14 do Museu de Serralves, a sala 5 do Museu Nacional Soares dos Reis e a Galeria Nacional de Fotografia do museu islandês cumprem o referido limite.

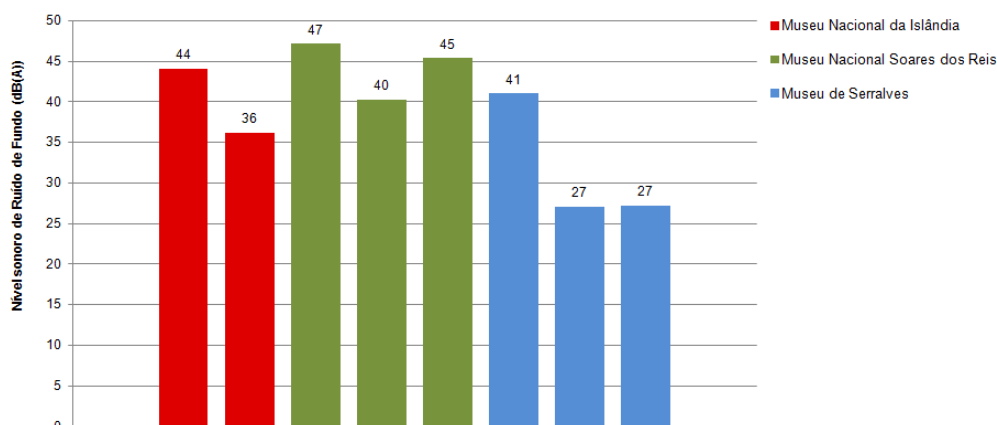


Fig. 7.2 – Valores dos níveis sonoros do Ruído de Fundo no Museu Nacional da Islândia, no Museu Nacional Soares dos Reis e no Museu de Serralves (sem pessoas e com sistemas de AVAC ligados).

7.2.3. RASTI (*RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX*)

A análise comparativa dos valores de RASTI realizada entre o Museu Nacional Soares dos Reis e o Museu de Serralves tem por base a análise da inteligibilidade da palavra que, no caso de museus, apresenta especial importância pelo facto de existir uma forte necessidade de comunicação (a curta distância) em visitas guiadas. No entanto, a excessiva inteligibilidade pode pôr em causa a privacidade da palavra (a maior distância), o que não deverá acontecer.

Os valores apresentados no Quadro 7.4 e Fig. 7.3, correspondentes ao RASTI medido nas salas dos dois museus, mostram que em ambos as condições de inteligibilidade não são as mais favoráveis, pois no que respeita ao Museu de Serralves apenas a sala 14 apresenta condições aceitáveis de inteligibilidade. Já no Museu Nacional Soares dos Reis verifica-se o inverso, apresentando as salas, em geral, condições aceitáveis, à excepção da sala 7 que apresenta condições de inteligibilidade pobres.

Quadro 7.4 – Valores médios do RASTI de várias salas do Museu Nacional Soares dos Reis e do Museu de Serralves.

Museu	RASTI médio
Museu Nacional Soares dos Reis (Porto)	
Sala 2	0,53
Sala 5	0,47
Sala 7	0,41
Sala 16	0,47
Museu de Serralves (Porto)	
Sala 11	0,40
Sala 12	0,42
Sala 14	0,45

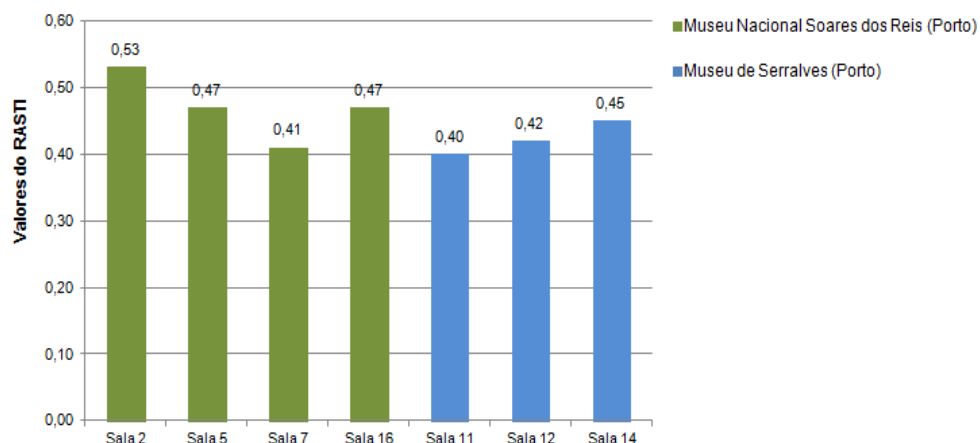


Fig. 7.3 – Valores médios do RASTI de várias salas do Museu Nacional Soares dos Reis e do Museu de Serralves.

O conjunto dos valores recolhidos dos dois museus permite desta forma perceber que enquanto o Museu Nacional Soares dos Reis apresenta condições de inteligibilidade e privacidade da palavra enquadrados nos recomendados neste trabalho (0,45 a 0,60) e por isso apresenta condições favoráveis nestas duas exigências (apenas com exceção da sala 7), o Museu de Serralves apresenta valores inferiores e por isso têm-se uma maior privacidade da palavra mas uma pobre inteligibilidade (com exceção da sala 14).

7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação de vários museus com salas de volumetrias muito diferentes e tempos de reverberação correspondentes permitiu comprovar a dificuldade existente na conceção de espaços para unidades museológicas com características de conforto acústico adequadas. Na definição dos tempos de reverberação de uma sala de exposição embora o seu volume seja importante, pois os espaços com maior volume apresentam maior tendência para possuir elevados tempos de reverberação, as características dos revestimentos permitem muitas vezes atenuar tal efeito. Veja-se, como exemplo, a comparação entre a *London Art Gallery* (museu “tradicional” com salas de volumes muito grandes) e o Museu de Serralves (museu “moderno” com salas de volume médio-grande) e a diferença existente nos valores dos tempos de reverberação entre eles.

Com esta análise ficaram ainda comprovados, com base na comparação entre museus, os elevados tempos de reverberação das salas de exposição do Museu de Serralves, que exibiram uma diferença muito expressiva relativamente às salas dos restantes museus.

No que respeita ao ruído de fundo, também a análise comparativa mostrou valores um pouco dispersos entre salas, embora aí o Museu de Serralves se apresente com melhor qualidade que os restantes, exibindo apenas a sala 11 deste museu valores um pouco excessivos.

A análise dos valores de RASTI dos dois museus permitiu comprovar a influência do tempo de reverberação neste parâmetro, pois em ambos os museus se nota que as salas com maiores tempos de reverberação são as que apresentam menor inteligibilidade previsível. Assim, entre eles o Museu de Serralves é também o que apresenta piores condições de inteligibilidade.

Contudo, é importante referir que, muito embora, exista dificuldade em conseguir boas prestações acústicas em museus, especialmente em museus “modernos”, pode ter-se o exemplo do museu grego e do museu islandês como prova de que é possível melhorar essas prestações até em casos muito difíceis, desde que sejam previamente estudadas e analisadas cuidadosamente todas as necessidades.

8

SUGESTÕES DE
CORREÇÃO ACÚSTICA

8.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Pela análise das medições acústicas efetuadas (capítulo 5) e pela comparação desses resultados com os de outros museus (capítulo 7) verifica-se uma oportunidade de melhoria acústica das salas de exposição do Museu de Serralves, que deverá possuir níveis de conforto compatíveis com o prestígio do edifício que é motivo de atração de muitos visitantes.

O estudo do comportamento acústico das salas de exposição do Museu de Serralves revelou como principais patologias os elevados valores do Tempo de Reverberação, que em consequência contribuem para elevar o nível sonoro do Ruído de Fundo até valores desapropriados (quando aberto ao público) e condicionam a inteligibilidade da palavra, medida com o RASTI. A justificação para tal facto deve-se, como já havia sido dito atrás, ao Museu de Serralves possuir elevados pés-direito, corredores extensos (no piso 3), salas muito amplas e de grandes volumes contactáveis entre si através de aberturas de grande dimensão sem possibilidade de isolamento. Estas salas são ainda caracterizadas por uma arquitetura repleta de revestimentos de superfícies muito lisas e refletoras com baixos coeficientes de absorção sonora sem que haja significativos elementos absorventes.

Tendo em conta os problemas identificados, pretende-se com este capítulo apresentar algumas sugestões para possível melhoria do comportamento acústico, através de intervenções de carácter de correção acústica. Estas dizem pois respeito à otimização das características das salas de exposição face ao campo sonoro aí emitido e pretendem atuar no sentido de reduzir o tempo de reverberação das salas para valores mais próximos dos aconselhados neste trabalho.

É importante numa primeira abordagem perceber as características geométricas das salas de exposição (Quadro 8.1) para com base nessa informação ser possível determinar a área absorvente sonora equivalente medida e o défice de absorção existentes (com base nos Tempos de Reverberação aconselhados). Assim, de uma forma mais eficaz percebe-se quais os locais/superfícies onde se poderia atuar.

Quadro 8.1 – Características geométricas das salas 11, 12 e 14 do Museu de Serralves.

Sala	Comp. (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área aproximada (m ²)					Volume aprox. (m ³)
				Pav.	Tectos	Paredes	Janelas	Aberturas	
11	18,5	14,5	4,9 - 6,4 - 8,8	268	268	378	27	24	1760
12	18,1	14,5	4,3 - 5,2	262	262	225	83	28	1350
14	11,1	14,4	5,2 - 6,8	159	159	316	0	26	1070

A partir do cálculo do défice de absorção sonora existente nas salas de exposição (Quadro 8.2) observa-se uma falta significativa de absorção sonora generalizada por todo o espectro frequencial, sendo neste campo as frequências intermédias (500, 1000 e 2000 Hz) as mais críticas, pelo que vem justificar os elevados valores dos tempos de reverberação medidos nestas frequências.

Quadro 8.2 – Tempos de reverberação e áreas de absorção das salas 11, 12 e 14 – valores medidos vs aconselhados.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Valores medidos						
Tempo de reverberação medido $TR_{\text{médio}}$ [s]						
Sala 11	2,0	3,3	4,1	4,5	3,7	2,9
Sala 12	2,4	3,3	3,8	4,1	3,3	2,5
Sala 14	2,4	3,3	3,6	4,3	3,5	2,7
Absorção calculada $A_{\text{calculada}}$ [m ²]						
Sala 11	142	86	69	63	77	98
Sala 12	92	65	57	53	65	85
Sala 14	71	52	47	40	50	63
Valores aconselhados						
Tempo de reverberação aconselhado TR_{ac} [s]	1,2 - 1,7	1,1 - 1,5	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4
Absorção aconselhada A_{ac} [m ²]						
Sala 11	194	217	235	235	235	235
Sala 12	149	166	180	180	180	180
Sala 14	118	132	143	143	143	143
Défice de Absorção $\Delta A = A_{\text{ac}} - A_{\text{calculada}}$ [m ²]						
Sala 11	52	130	166	172	158	137
Sala 12	57	101	123	127	115	95
Sala 14	47	80	96	102	93	80

8.2. CORREÇÃO ACÚSTICA

8.2.1. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Tendo em conta a necessidade de criação de grandes áreas de absorção sonora nas salas, as intervenções de correção acústica podem ser efetuadas de duas formas distintas: pela criação de áreas de absorção sonora isoladas e independentes das superfícies existentes (atualmente) ou pela substituição parcial ou total dos materiais existentes (que apresentam superfícies refletoras) por materiais mais absorventes.

As soluções de carácter isolado e independentes apresentam diversas vantagens. Geralmente são estruturas que facilmente são colocadas/retiradas, permitindo variar as condições acústicas a quando da sua pretensão. Contudo, este tipo de soluções pode apresentar algum impacto arquitetónico/estético no espaço, o que poderá ser desejável, ou não.

Já as soluções que envolvem a alteração de materiais existentes, geralmente, não permitem uma acústica variável, pois são soluções de carácter definitivo, com um menor impacto arquitetónico/estético e apresentam melhorias significativas na acústica do espaço.

Tentando apresentar propostas de intervenção viáveis na sua execução e tanto quanto possível sem interferência nas características estéticas e funcionais das salas de exposição, efetuou-se

fundamentalmente o estudo de soluções de alteração de materiais existentes. Os tetos são os elementos privilegiados para o efeito visto que possuem grandes áreas e daí possibilitarem um aumento de absorção significativo, com a conseqüente redução das reflexões nesses elementos.

No que toca à seleção dos materiais, esta é muito condicionada tanto pelo desempenho acústico pretendido como pelas imposições arquitetónicas. A primeira abordagem de seleção dos materiais teve em conta o valor estético, pelo que apenas foram selecionados materiais com aspeto final o mais semelhante possível aos tetos em gesso cartonado (existentes), considerando também as condições de iluminação existentes, espessuras dos materiais, bem como a facilidade de reparação (sabendo que este fator é muitas das vezes um problema e um ponto fraco da colocação de materiais acústicos em museus que estão constantemente a realizar operações de manutenção dos revestimentos). Será ainda importante ter em consideração o modo de aplicação, que muitas vezes põe em causa a viabilidade da solução. Nesse sentido, pretende-se que o material a seleccionar seja fixado a partir de colagem ou projetado, tanto quanto possível sob o material já existente.

Dos materiais selecionados a escolha deve ainda atender fundamentalmente às frequências em que se pretende intervir, neste caso um pouco por todo o espectro, mas com especial atenção às frequências intermédias (500, 1000 e 2000 Hz) pois são as que apresentam maior défice de absorção.

Perante os requisitos exigidos e os produtos/sistemas disponíveis no mercado nacional e internacional, foram selecionados para comparação técnico-acústica e económica os sistemas de tetos *BASWAphon Classic*, *Sonacoustic*, *Fellert Ultra*, *Rockfon Mono Acoustic TE*, *StoSilent Top Finish* e o material já existente em certas zonas do museu, o *Wilhelmi Álvaro* (ver 4.4).

O sistema *BASWAphon* [83], consiste em painéis de lã mineral (com peso reduzido) colados sobre uma base e acabados com várias camadas de massa mineral, obtendo por fim uma superfície contínua. A espessura deste material varia entre 30 e 70 mm e pode apresentar três tipos de acabamento final, *BASE* com granulometria de 0,7 mm, *FINE* com granulometria de 0,5 mm e *CLASSIC* com 0,3 mm. Este sistema permite a aplicação em tetos e paredes e para além das características acústicas tem como principal vantagem o facto de apresentar uma superfície praticamente lisa, muito semelhante ao gesso estanhado. São exemplos da aplicação deste sistema o teto do próprio restaurante do Museu de Serralves (com *BASWAphon CLASSIC*) (Fig. 8.1) e outras obras dos Arquitetos Álvaro Siza e Eduardo Souto Moura, sendo algumas delas as estações do Metro do Porto. [83]



Fig. 8.1 – Restaurante do Museu de Serralves [83].

O sistema *Sonacoustics* [84] é um sistema muito semelhante ao anterior. Consiste igualmente em painéis de lã mineral colados e/ou fixados mecanicamente a uma base e com a camada de acabamento

projetada e trabalhada para obter o acabamento desejado. A espessura deste material é de 25 mm e o acabamento pode ser do tipo reboco, acabamento estanhado ou acabamento tipo projetado. [84]

O *Fellert* [85] é outro dos sistemas com base mineral de 22 ou 42 mm de espessura sob a qual é projetado um composto de fibras de algodão com apenas 3 mm. Este sistema é materializado em placas assentes sobre perfis de alumínio e permite ter três tipos de acabamento, rugoso, liso e ultra liso, sendo este último equiparado ao gesso cartonado. São exemplos de edifícios onde já foi aplicado: a Galeria Nacional da Dinamarca, o The Nelson-Atkins Museum of Art (E.U.A) e o U.S. Congress Visitor Center (E.U.A). [85]

À semelhança dos outros materiais, os painéis *Rockfon Mono Acoustic TE* [86] são igualmente constituídos por lâ de rocha, com espessura de 30 mm, e cobertos com uma película de massa podendo ser fixados tanto num ripado como colados a um teto existente. [86]

O sistema *StoSilent* [87] é composto por perfis em aço galvanizado onde são fixados os painéis *StoSilent Panel* ou *A-Tec* que são depois barrados com uma massa *Superfine* ou *Top* sendo esta última a que permite um acabamento mais liso. Alguns exemplos da aplicação deste material são o novo Museu da Acrópole de Atenas, o novo Museu Benaki (Atenas) (fig. 8.2), o Museu de Delphi e o Museu de Arte Moderna de Estocolmo. [87]

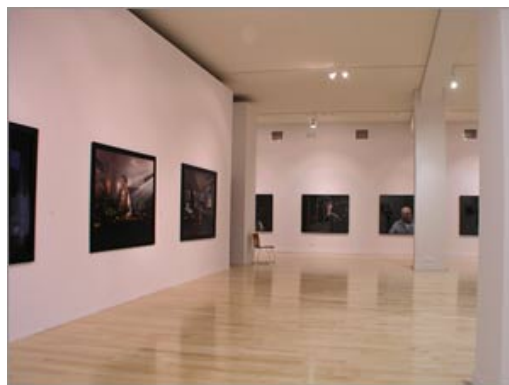


Fig. 8.2 – Novo Museu Benaki em Atenas [88].

No Quadro 8.3 apresentam-se os valores dos coeficientes de absorção sonora aproximados dos materiais existentes e dos materiais propostos bem como a diferença de absorção entre eles nas várias frequências. Através destes valores pode prever-se a absorção sonora adicional que poderá ser conseguida pela substituição de alguns materiais/revestimentos existentes pelos atrás descritos. Pode ainda verificar-se pela Fig. 8.3 o respetivo comportamento desses materiais/revestimentos no domínio da frequência, notando-se claramente a diferença de absorção entre o material existente (gesso cartonado) e qualquer um dos materiais propostos. Destes, o *Sonacoustic* é o que apresenta generalizadamente melhor desempenho acústico, pois apesar de não ser o material que mais absorve nas altas frequências, nas baixas apresenta também elevada absorção, ao contrário da maioria dos outros materiais. Seguem-se os sistemas *Rockfon Mono Acoustic* e *StoSilent* dado que apresentam elevada absorção por todo o espectro de frequências. Os restantes materiais, ainda que sejam bastante absorventes, apresentam-se alguma variabilidade da absorção por frequência, o que, dependendo da situação, poderá não ser benéfico.

Quadro 8.3 – Coeficientes de absorção sonora dos materiais existentes e propostos (adaptado de [1, 75, 83-87, 89, 90]).

Material ou sistema	α_{125}	α_{250}	α_{500}	α_{1000}	α_{2000}	α_{4000}	α_w	NRC
Existente*								
E.1 Gesso Cartonado	0,28	0,12	0,10	0,17	0,13	0,09	0,15	0,15
E.2 Vidro	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05
E.3 Soalho (sobre ripas de madeira com caixa-de-ar)	0,15	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15
E.4 Mármore	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00
E.5 Betão Armado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
Proposto								
P.1 Wilhelmi Álvaro	0,50	0,56	0,62	0,55	0,64	0,67	0,65	0,60
P.2.1 BASWaphon Classic (30 mm)	0,12	0,37	0,82	0,86	0,75	0,66	0,65	0,70
P.2.2 BASWaphon Classic (50 mm)	0,17	0,79	0,83	0,74	0,63	0,56	0,65	0,75
P.3 Sonacoustics (25 mm com caixa-de-ar)	0,65	0,91	0,78	0,77	0,85	0,88	0,80	0,80
P.4 Fellert Ultra	0,28	0,75	1,00	0,77	0,59	0,71	0,65	0,80
P.5 Rockfon Mono Acoustic TE	0,20	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,90
P.6 StoSilent Panel Top Finish	0,50	0,65	0,60	0,55	0,55	0,65	0,60	0,60
P.7 StoSilent A-Tec Top Finish	0,60	0,75	0,70	0,75	0,80	0,75	0,75	0,75
P.8 Acoustics Curtain Whisper	0,05	0,20	0,45	0,47	0,43	0,40	0,45	0,40
P.9 Jocavi Staidtreat BXW	0,99	0,93	0,61	0,60	0,67	0,68	0,65	0,70
P.10 Carpete Pesada	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73	0,50	0,55
Absorção adicional pela substituição:							$\Delta\alpha_w$	ΔNRC
de E.1 por P.1	0,22	0,44	0,52	0,38	0,51	0,58	0,50	0,45
de E.1 por P.2.1	-0,16	0,25	0,72	0,69	0,62	0,57	0,50	0,55
de E.1 por P.2.2	-0,11	0,67	0,73	0,57	0,50	0,47	0,50	0,60
de E.1 por P.3	0,37	0,79	0,68	0,60	0,72	0,79	0,65	0,65
de E.1 por P.4	0,00	0,63	0,90	0,60	0,46	0,62	0,50	0,65
de E.1 por P.5	-0,08	0,38	0,90	0,83	0,87	0,91	0,65	0,75
de E.1 por P.6	0,22	0,53	0,50	0,38	0,42	0,56	0,45	0,45
de E.1 por P.7	0,32	0,63	0,60	0,58	0,67	0,66	0,60	0,60
de E.2 por P.8	-0,13	0,14	0,41	0,44	0,41	0,38	0,40	0,35
de E.5 por P.9	0,98	0,92	0,59	0,58	0,65	0,65	0,60	0,65
de E.3 por P.10	-0,07	0,04	0,47	0,59	0,61	0,63	0,35	0,40
de E.4 por P.10	0,07	0,23	0,56	0,68	0,69	0,71	0,50	0,55

* Valores dos coeficientes de absorção sonora aproximados

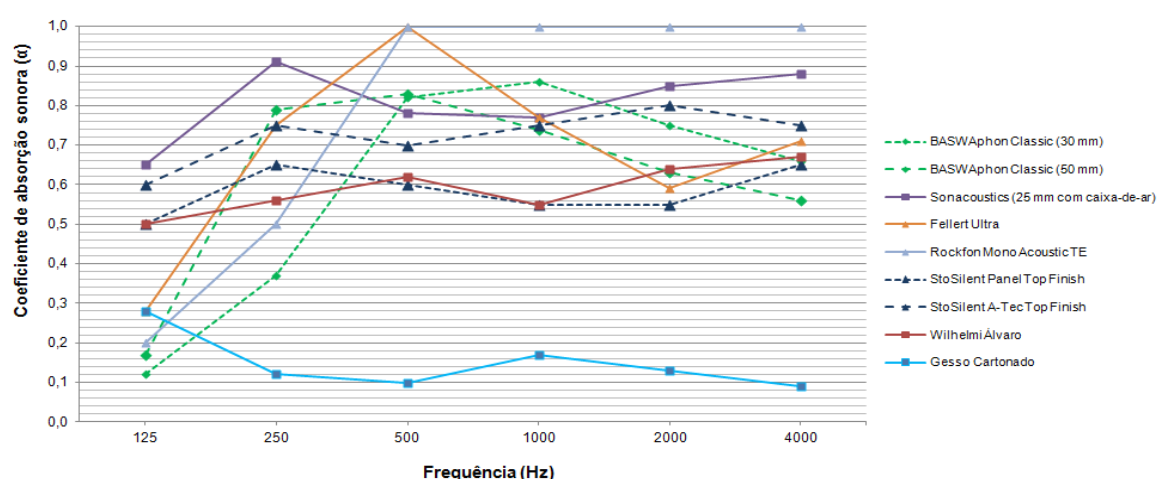


Fig. 8.3 – Coeficientes de absorção sonora de diferentes revestimentos.

8.2.2. PREVISÃO DE MELHORIA ACÚSTICA

8.2.2.1. Sala 11

Para obter uma previsão da melhoria acústica das salas de exposição devido à substituição dos materiais existentes pelas soluções atrás apresentadas foi realizado o cálculo do acréscimo de absorção sonora conseguido pela referida substituição de materiais e ainda o cálculo dos tempos de reverberação previsíveis. Estes cálculos possibilitam a comparação do desempenho acústico de cada sala antes e depois da correção acústica para as várias soluções.

No Quadro 8.4 apresentam-se os acréscimos das áreas de absorção sonora a conseguir pela substituição de materiais, determinados através da multiplicação do acréscimo (positivo ou negativo) do coeficiente de absorção sonora pela área de intervenção abrangida por cada solução proposta (expressão 2.13). Na sala 11, devido às suas características estéticas e geométricas, optou-se por intervir apenas nos tetos (com a área de 268 m²), substituindo os atuais de gesso cartonado pelas várias propostas (Fig. 8.4). Apresentam-se ainda duas propostas adicionais que englobam conjuntamente o sistema *BASWAphon* e painéis *Jocavi* de correção da frequência dos 125 Hz aplicados numa área de apenas 33 m², pretendendo corrigir alguma falta de absorção do sistema *BASWAphon* nessa frequência. Devido à localização destes painéis (local J na Fig. 8.4) foi considerado no cálculo um fator de redução do coeficiente de absorção de 50%, que representa uma estimativa da perda de eficiência dos painéis pelo facto de existirem barreiras físicas à chegada do som aos mesmos, e portanto, apenas atuarão no campo sonoro reverberado.

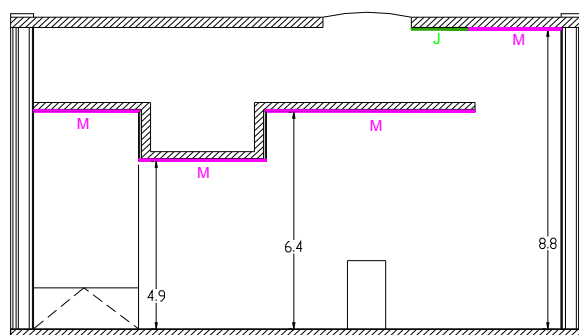


Fig. 8.4 – Corte da intervenção na sala 11 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J)).

Quadro 8.4 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 11 nas várias sugestões de correcção acústica.

Material	Área [m ²]	Acréscimo de Absorção sonora [m ²]					
		125	250	500	1000	2000	4000
BASWAphon Classic (30 mm)	268	-43	67	193	185	166	153
BASWAphon Classic (50 mm)	268	-29	180	196	153	134	126
Sonacoustic (25 mm)	268	99	212	182	161	193	212
Wilhelmi Álvaro	268	59	118	139	102	137	155
Fellert Ultra	268	0	169	241	161	123	166
Rockfon Mono Acoustic TE	268	-21	102	241	222	233	244
StoSilent Panel Top Finish	268	59	142	134	102	113	150
StoSilent A-Tec Top Finish	268	86	169	161	155	180	177
BASWAphon Classic (30 mm)	268	-43	67	193	185	166	153
Jocavi Staidtreat BXW*	33	15	14	9	9	10	10
BASWAphon Classic (50 mm)	268	-29	180	196	153	134	126
Jocavi Staidtreat BXW*	33	15	14	9	9	10	10

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.4.

Com a previsão do acréscimo de absorção sonora conseguido pelas várias soluções foi então possível determinar (através da fórmula de Sabine (expressão 2.12)) os valores do tempo de reverberação previsíveis para cada frequência apresentados no Quadro 8.5 e Fig. 8.5.

Quadro 8.5 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 11 para as várias sugestões de correção acústica.

Material	TR _{previsto} [s]						TR _{previsto} [500, 1k, 2k] [s]	TR _{medido} [500, 1k, 2k] [s]	Δ TR [s]
	125	250	500	1000	2000	4000			
BASWAphon Classic (30 mm)	2,8	1,8	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	-	3,0
BASWAphon Classic (50 mm)	2,5	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	-	2,9
Sonacoustic (25 mm)	1,2	0,9	1,1	1,3	1,0	0,9	1,1	-	3,0
Wilhelmi Álvaro	1,4	1,4	1,4	1,7	1,3	1,1	1,5	-	2,6
Fellert Ultra	2,0	1,1	0,9	1,3	1,4	1,1	1,2	-	2,9
Rockfon Mono Acoustic TE	2,3	1,5	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	-	3,2
StoSilent Panel Top Finish	1,4	1,2	1,4	1,7	1,5	1,1	1,5	-	2,6
StoSilent A-Tec Top Finish	1,2	1,1	1,2	1,3	1,1	1,0	1,2	-	2,9
BASWAphon Classic (30 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,5	1,7	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	-	3,0
BASWAphon Classic (50 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,2	1,0	1,0	1,3	1,3	1,2	1,2	-	2,9
Situação actual	2,0	3,3	4,1	4,5	3,7	2,9	-	4,1	-

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.4.

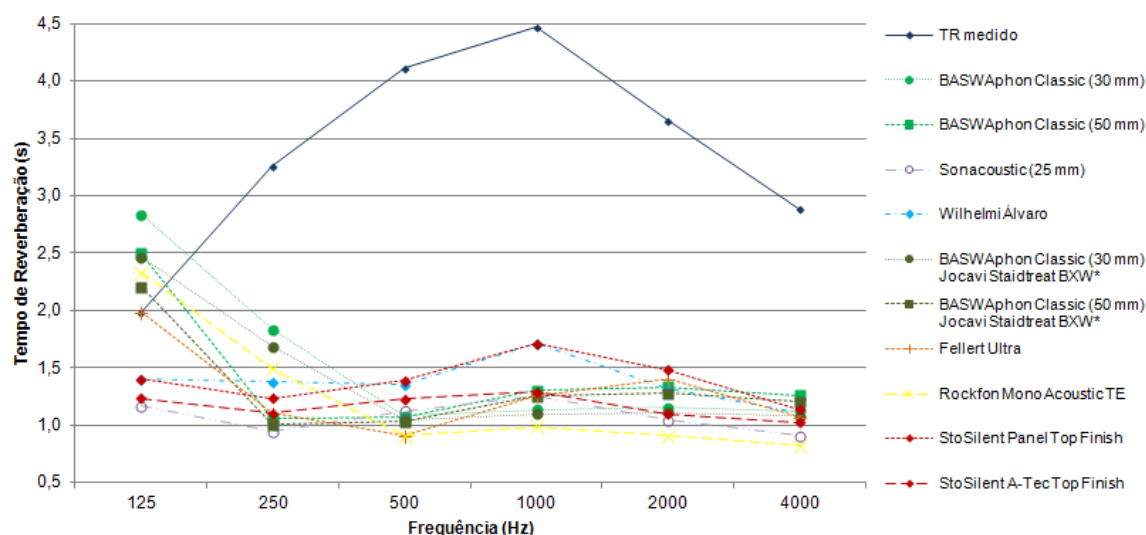


Fig. 8.5 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 11 para as várias propostas de correção acústica.

A partir da Fig. 8.5 verifica-se que a realização da correção acústica através da aplicação de qualquer um dos materiais propostos prevê uma redução generalizada e significativa dos valores do tempo de reverberação ao longo das frequências, enquadrando-se estes valores na gama dos aconselhados por este trabalho. Contudo, nota-se que a maioria dos materiais apresenta pior desempenho na frequência

dos 125 Hz que o material existente (gesso cartonado). Nas restantes frequências há apenas uma ligeira variação dos tempos de reverberação alcançados entre propostas.

Conclui-se pela análise das várias propostas que as melhores soluções técnico-acústicas para a sala 11 são a aplicação do material *Sonacoustic* ou *StoSilence A-Tec Top Finish*, permitindo ambas o enquadramento nos valores do tempo de reverberação aconselhados, representando uma redução de cerca de 3,0 s entre o TR medido e o TR previsto [500, 1k, 2k].

8.2.2.2. Sala 12

Também na sala 12, à semelhança da sala 11, foi realizado pelo mesmo processo o cálculo do acréscimo de absorção sonora conseguido pela substituição de materiais (Quadro 8.6) e o cálculo dos valores do tempo de reverberação (Quadro 8.7). Para isso foi considerado 262 m² de área de intervenção (correspondente à área do teto inferior) para aplicação de uma das soluções apresentadas, e 50 m² para colocação de painéis *Jocavi* “sintonizados” na frequência dos 125 Hz no piso técnico entre o teto inferior e superior (não visível ao público) (Fig. 8.6). Também nesta sala para este material (J na Fig. 8.6) foi considerado um fator de redução do coeficiente de absorção de 50% pelos motivos já assinalados em 8.2.2.1.

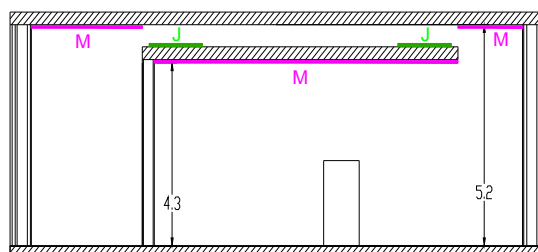


Fig. 8.6 – Corte da intervenção na sala 12 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J)).

Quadro 8.6 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 12 pelas várias sugestões de correção acústica.

Material	Área [m ²]	Acréscimo de Absorção sonora [m ²]					
		125	250	500	1000	2000	4000
BASWAphon Classic (30 mm)	262	-42	66	189	181	163	149
BASWAphon Classic (50 mm)	262	-29	176	191	149	131	123
Sonacoustic (25 mm)	262	97	207	178	157	189	207
Wilhelmi Álvaro	262	58	115	136	100	134	152
Fellert Ultra	262	0	165	236	157	121	163
Rockfon Mono Acoustic TE	262	-21	100	236	218	228	239
StoSilent Panel Top Finish	262	58	139	131	100	110	147
StoSilent A-Tec Top Finish	262	84	165	157	152	176	173
BASWAphon Classic (30 mm)	262	-42	66	189	181	163	149
Jocavi Staidtreat BXW*	50	25	23	15	15	16	16
BASWAphon Classic (50 mm)	262	-29	176	191	149	131	123
Jocavi Staidtreat BXW*	50	25	23	15	15	16	16

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.6.

Quadro 8.7 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 12 para as várias sugestões de correção acústica.

Material	TR _{previsto} [s]						TR _{previsto} [500, 1k, 2k]	TR _{medido} [500, 1k, 2k]	Δ TR
	125	250	500	1000	2000	4000	[s]	[s]	
BASWAphon Classic (30 mm)	4,3	1,6	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	-	2,9
BASWAphon Classic (50 mm)	3,4	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0	1,0	-	2,8
Sonacoustic (25 mm)	1,1	0,8	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9	-	2,9
Wilhelmi Álvaro	1,4	1,2	1,1	1,4	1,1	0,9	1,2	-	2,6
Fellert Ultra	2,4	0,9	0,7	1,0	1,2	0,9	1,0	-	2,8
Rockfon Mono Acoustic TE	3,0	1,3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	-	3,0
StoSilent Panel Top Finish	1,4	1,1	1,2	1,4	1,2	0,9	1,3	-	2,5
StoSilent A-Tec Top Finish	1,2	0,9	1,0	1,1	0,9	0,8	1,0	-	2,8
BASWAphon Classic (30 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,9	1,4	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	-	2,9
BASWAphon Classic (50 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	-	2,9
Situação actual	2,4	3,3	3,8	4,1	3,3	2,5	-	3,8	-

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.6.

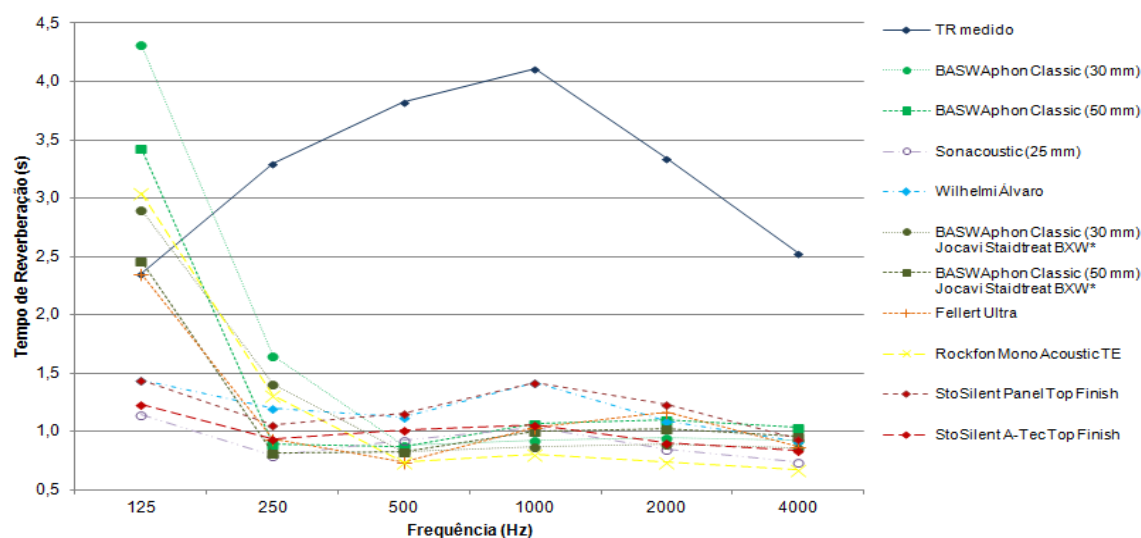


Fig. 8.7 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 12 para as várias propostas de correção acústica.

Pode observar-se pela Fig. 8.7 que a alteração dos revestimentos do teto pelas soluções propostas permite baixar significativamente os valores do tempo de reverberação ao longo das frequências, embora à exceção do *Sonacoustic*, *StoSilent* e *Fellert*, os restantes apresentam pior comportamento na frequência dos 125 Hz que o material existente. Também nesta sala o material *Sonacoustic* e os painéis *StoSilent* revelam ser as melhores soluções técnico-acústicas, apresentando ambos uma melhoria acústica equilibrada ao longo de todas as frequências e valores ajustados ao intervalo de valores de tempo de reverberação aconselhados, representando ambos uma redução de 2,9 s entre o TR medido e o TR previsto [500, 1k, 2k].

8.2.2.3. Sala 14

A sala 14, ao contrário das outras duas, já possui uma parte do seu teto com material acústico *Wilhelmi Álvaro*. Assim, a intervenção proposta para esta sala resume-se à restante área, atualmente em gesso cartonado (115 m^2), e à aplicação (dependendo da solução proposta) de painéis “sintonizados” nos 125 Hz (40 m^2) para correção dessa frequência, ficando localizados no piso técnico entre o teto inferior e superior (não visível ao público – local J na Fig. 8.8). Nesta sala também foi considerado um fator de redução do coeficiente de absorção do material *Jocavi* de 50% para ter em conta a perda de eficiência dos painéis por obstrução das ondas sonoras.

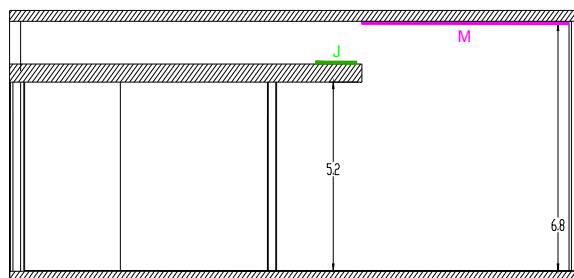


Fig. 8.8 – Corte da intervenção na sala 14 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis Jocavi (J)).

Nesta sala existe uma maior dificuldade em conseguir-se acréscimos de absorção sonora relativamente às restantes salas (Quadro 8.8) pelo facto de esta possuir uma área em planta significativamente mais reduzida. Isso porém, leva a que seja também mais difícil corrigir os valores do tempo de reverberação, daí verificarem-se generalizadamente menores variações entre a solução existente e as propostas (Quadro 8.9).

Quadro 8.8 – Acréscimo de absorção sonora conseguida na sala 14 pelas várias sugestões de correção acústica.

Material	Área [m^2]	Acréscimo de Absorção sonora [m^2]					
		125	250	500	1000	2000	4000
BASWAphon Classic (30 mm)	115	-18	29	83	79	71	66
BASWAphon Classic (50 mm)	115	-13	77	84	66	58	54
Sonacoustic (25 mm)	115	43	91	78	69	83	91
Wilhelmi Álvaro	115	25	51	60	44	59	67
Fellert Ultra	115	0	72	104	69	53	71
Rockfon Mono Acoustic TE	115	-9	44	104	95	100	105
StoSilent Panel Top Finish	115	25	61	58	44	48	64
StoSilent A-Tec Top Finish	115	37	72	69	67	77	76
BASWAphon Classic (30 mm)	115	-18	29	83	79	71	66
Jocavi Staidtreat BXW*	40	20	18	12	12	13	13
BASWAphon Classic (50 mm)	115	-13	77	84	66	58	54
Jocavi Staidtreat BXW*	40	20	18	12	12	13	13

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.8.

Quadro 8.9 – Situação atual e prevista para os valores do tempo de reverberação na sala 14 para as várias sugestões de correção acústica.

Material	TR _{previsto} [s]						TR _{previsto} [500, 1k, 2k] [s]	TR _{medido} [500, 1k, 2k] [s]	Δ TR [s]
	125	250	500	1000	2000	4000			
BASWAphon Classic (30 mm)	3,3	2,1	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	-	2,4
BASWAphon Classic (50 mm)	2,9	1,3	1,3	1,6	1,6	1,5	1,5	-	2,3
Sonacoustic (25 mm)	1,5	1,2	1,4	1,6	1,3	1,1	1,4	-	2,4
Wilhelmi Álvaro	1,8	1,7	1,6	2,0	1,6	1,3	1,7	-	2,1
Fellert Ultra	2,4	1,4	1,1	1,6	1,7	1,3	1,5	-	2,3
Rockfon Mono Acoustic TE	2,8	1,8	1,1	1,3	1,1	1,0	1,2	-	2,6
StoSilent Panel Top Finish	1,8	1,5	1,6	2,0	1,7	1,3	1,8	-	2,0
StoSilent A-Tec Top Finish	1,6	1,4	1,5	1,6	1,4	1,2	1,5	-	2,3
BASWAphon Classic (30 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,4	1,7	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	-	2,5
BASWAphon Classic (50 mm) Jocavi Staidtreat BXW*	2,2	1,2	1,2	1,5	1,4	1,3	1,4	-	2,4
Situação actual	2,4	3,3	3,6	4,3	3,5	2,7	-	3,8	-

* Usado factor de redução de 50% (devido à geometria do local de aplicação) - local J na Fig. 8.8.

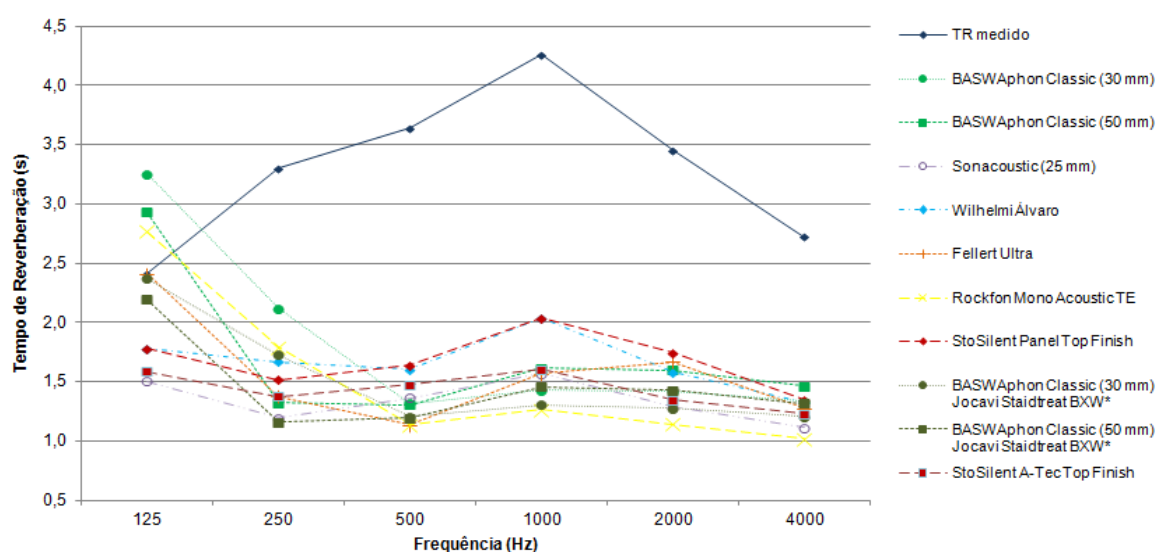


Fig. 8.9 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 14 para as várias propostas de correção acústica.

Com base no Quadro 8.9 e na Fig. 8.9 conclui-se que os materiais que apresentam melhor desempenho acústico ao longo de toda a gama de frequências são novamente o *Sonacoustic* e o *StoSilent A-Tec Top Finish*, sendo estas as únicas soluções que permitem reduzir os valores do tempo de reverberação por forma a enquadrar-se nos valores aconselhados, apresentando uma redução de cerca de 2,4 s entre o TR medido e o TR previsto [500, 1k, 2k].

8.2.3. OUTRAS SUGESTÕES

As soluções de correção acústica propostas nos pontos anteriores têm um carácter definitivo e pretendem assegurar condições acústicas estáveis, que vão de encontro às necessidades usuais do museu. No entanto, sabe-se que por vezes em museus as exposições temporárias têm requisitos acústicos variáveis. Por isso, pretende-se neste sub-capítulo apresentar algumas sugestões de correção/adaptação acústica das salas a essas necessidades, recorrendo a cortinas com características acústicas, carpetes ou tecidos.

Ao contrário dos edifícios “tradicionais”, os edifícios “modernos” possuem normalmente cortinas lisas com tecidos muito finos e por vezes até materiais plastificados, o que vem prejudicar a acústica destes edifícios em comparação com as soluções tradicionais. Nesse sentido têm sido desenvolvidos materiais que contrariam essa tendência, como são exemplos os têxteis da empresa suíça *Annette Douglas Textiles AG* [89] que desenvolveu uma colecção de tecidos denominada por “espaço silencioso” que apresenta coeficientes de absorção sonora bastante interessantes (ver Quadro 8.3) com o aspeto de outros materiais muito menos absorventes, tendo-lhe isso já valido vários prémios internacionais. Dessa colecção o modelo que se apresenta como sugestão para este estudo é o *Acoustic Curtain Whisper*, sendo o que apresenta maior semelhança estética com as cortinas já existentes no Museu de Serralves.



Fig. 8.10 – Tecido para cortinas *Acoustic Curtain Whisper* da *Annette Douglas Textiles AG* [89].

Apresenta-se no Quadro 8.10 a previsão de melhoria acústica nas salas 11 e 12 pela aplicação das cortinas na área total das janelas existentes, conseguindo-se reduzir o TR medido [500, 1k, 2k] em 0,6 s na sala 11 e 1,5 s na sala 12, correspondendo estes valores unicamente à substituição das cortinas existentes pelas referidas com desempenho acústico otimizado e na situação em que estão completamente fechadas.

Quadro 8.10 – Previsão da melhoria acústica pela aplicação das cortinas *Acoustic Curtain Whisper*.

Sala	TR _{previsto} [s]						TR _{previsto} [500, 1k, 2k]	TR _{medido} [500, 1k, 2k]	Δ TR
	125	250	500	1000	2000	4000	[s]	[s]	
11	2,0	3,1	3,5	3,7	3,2	2,6	3,5	4,1	0,6
12	2,7	2,8	2,4	2,4	2,2	1,8	2,3	3,8	1,5

É vulgar ver-se em museus, mas também em bibliotecas e outros espaços em que a acústica é um fator preponderante, o uso de carpetes nos percursos de circulação das pessoas ou distribuídas aleatoriamente pelas salas, que devido ao grande poder de absorção desses tecidos permite melhorias acústicas com alguma expressão, eliminando também o ruído dos passos das pessoas que por elas caminham. A título de exemplo das melhorias conseguidas apresenta-se no Quadro 8.11 os valores

previstos do tempo de reverberação por aplicação de carpetes pesadas nos pavimentos das salas 11, 12 e 14 em áreas de 25 m² e 50 m². Pode então verificar-se por esses valores, correspondendo unicamente à colocação de carpetes pesadas sobre o pavimento existente, que mesmo não resolvendo totalmente os problemas acústicos esta solução pode atenuá-los ou reforçar as condições acústicas em momentos em que se pretenda esse efeito.

Quadro 8.11 – Previsão da melhoria acústica pela colocação de carpetes pesadas.

Sala	Área [m ²]	Área de Pavimento [%]	TR _{previsto} [s]						TR _{previsto} [500, 1k, 2k]	TR _{medido} [500, 1k, 2k]	ΔTR
			125	250	500	1000	2000	4000	[s]	[s]	
11	25	9%	2,0	3,2	3,5	3,6	3,0	2,5	3,4	4,1	0,7
	50	19%	2,0	3,2	3,1	3,0	2,6	2,2	2,9	4,1	1,2
12	25	10%	2,3	3,0	3,1	3,1	2,6	2,1	2,9	3,8	0,9
	50	19%	2,3	2,8	2,6	2,5	2,2	1,8	2,4	3,8	1,4
14	25	16%	2,5	3,2	2,9	3,1	2,6	2,2	2,9	3,8	0,9
	50	31%	2,5	3,2	2,4	2,5	2,1	1,8	2,3	3,8	1,5

No contexto de museus podem ainda sugerir-se outras soluções como o uso de tecidos para revestimento de paredes, que dada a variedade de produtos existentes no mercado podem tanto enquadrar-se em espaços de arquitetura tradicional como moderna, (vejam-se dois exemplos distintos como a National Gallery em Londres (museu tradicional) e o Museo del Novecento em Milão (museu moderno)). Estes tecidos possuem coeficientes de absorção sonora muito elevados (com o valores de NRC de 0,8 a 1,0) e estão disponíveis em várias cores, brilhos e texturas, podendo por isso ser uma boa sugestão a aplicar em paredes provisórias que são criadas com alguma frequência nas salas de exposição e com isso melhorar a acústica do espaço.

8.2.4. ANÁLISE ECONÓMICA DAS SOLUÇÕES

Após a análise técnico-acústica das várias soluções de correção das salas de exposição será pertinente realizar uma análise económica das mesmas, por forma a se perceber a ordem de grandeza do valor associado a esta intervenção. Nesse sentido, apresenta-se o Quadro 8.12 com as estimativas orçamentais respetivas de cada solução proposta para os cerca de 650 m² de intervenção, de onde se observa que a solução *Sonacoustic* para além de ser a melhor solução técnico-acústica generalizada pelas três salas é também a proposta mais económica, com uma grande margem para com as soluções concorrentes.

Também no quadro 8.13 se apresenta a estimativa orçamental para aplicação das cortinas *Acoustic Curtain Whisper* e pelo qual se pode verificar que apesar da correção acústica que é conseguida com este material ser diminuta, comparada com as soluções apresentadas no Quadro 8.2, o custo também é muito inferior, apresentando esta solução um preço, por segundo de tempo de reverberação diminuído, significativamente menor que qualquer outra solução atrás referida.

No que respeita às restantes soluções apresentadas (carpetes e tecidos) pelo facto de serem materiais muito variáveis, podendo serem personalizados de encontro à pretensão do cliente, não é apresentada aqui nenhuma estimativa orçamental.

Quadro 8.12 – Estimativa orçamental para as propostas de correção acústica das salas 11, 12 e 14.

Material	Preço [€/m ²]	Sala	Área [m ²]	Preço Parcial [€]	Preço Total [€]	Preço por ΔTR [€/s]
BASWAphon Classic (30 mm)	154	11	268	41260 €	99300 €	13860
		12	262	40340 €		14000
		14	115	17710 €		7340
BASWAphon Classic (50 mm)	158	11	268	42330 €	101900 €	14770
		12	262	41390 €		14860
		14	115	18170 €		7920
Sonacoustic (25 mm)	92	11	268	24540 €	59000 €	8290
		12	262	24000 €		8370
		14	115	10530 €		4400
Wilhelmi Álvaro	120	11	268	32150 €	77300 €	12180
		12	262	31440 €		12130
		14	115	13800 €		6700
Fellert Ultra	110	11	268	29470 €	70900 €	10130
		12	262	28820 €		10210
		14	115	12650 €		4480
Rockfon Mono Acoustic TE	100	11	268	26790 €	64400 €	8460
		12	262	26200 €		8610
		14	115	11500 €		4390
StoSilent Panel Top Finish	125	11	268	33490 €	80600 €	13020
		12	262	32750 €		12930
		14	115	14370 €		7210
StoSilent A-Tec Top Finish	130	11	268	34830 €	83800 €	12030
		12	262	34060 €		12110
		14	115	14950 €		6430
BASWAphon Classic (30 mm) Jocavi Staidtreat BXW	154	11	268	41270 €	171000 €	20060
	583		33	19230 €		
	154	12	262	40340 €		23660
	583		50	29150 €		
	154	14	115	17710 €		16820
	583		40	23320 €		
BASWAphon Classic (50 mm) Jocavi Staidtreat BXW	158	11	268	42340 €	173600 €	21140
	583		33	19230 €		
	158	12	262	41390 €		24720
	583		50	29150 €		
	158	14	115	18170 €		17010
	583		40	23320 €		

Quadro 8.13 – Estimativa orçamental para a aplicação das cortinas *Acoustic Curtain Whisper* na sala 11 e 12.

Material	Preço [€/m ²]	Sala	Área [m ²]	Preço Parcial [€]	Preço Total [€]	Preço por ΔTR [€/s]
Acoustics Curtain Whisper	42	11	27	1120 €	4600 €	1760
		12	83	3450 €		2350

8.3. ANÁLISE GLOBAL DAS PROPOSTAS

Para a análise das propostas de correção acústica das salas de exposição do Museu de Serralves importa perceber que este estudo (mesmo tendo em conta o critério estético e outros, como a exequibilidade, minimização das intervenções, possibilidade de manutenção e exigências de segurança e saúde) centrou-se na apresentação de soluções que permitissem principalmente a resolução dos problemas acústicos existentes.

A redução dos valores do tempo de reverberação deve ser entendida não apenas como a resolução do problema (direto) da elevada reverberação, mas também como potenciadora de uma redução considerável dos níveis de ruído de fundo. Das soluções apresentadas pode comprovar-se que todas elas permitem uma redução significativa do tempo de reverberação nas várias frequências. No entanto, nota-se que existe uma dificuldade acrescida na frequência dos 125 Hz a que apenas alguns materiais (*Sonacoustic*, *StoSilent* e *Wilhelmi*) conseguem resolver. Nesse caso poderá ainda recorrer-se conjuntamente a materiais de correção específica dessa frequência (como o material da *Jocavi* apresentado).

Da análise técnico-económica retira-se que das várias propostas as melhores opções (generalizadas às três salas) são a aplicação de *Sonacoustic* e de *StoSilent A-Tec Top Finish*. A primeira, além de ser a que verifica ser a melhor opção técnico-acústica é também a mais económica (com o custo de 59000 € no conjunto das três salas) e uma diferença estonteante de 114600 € para a solução mais cara (*BASWAphon Classic 50 mm* e *Jocavi Staidtreat BXW*). Note-se que o valor da solução com *Sonacoustic* representa apenas 0,2% do preço total da construção do edifício. A aplicação deste material nos tetos levaria a que os tempos de reverberação médios [500, 1k, 2k] nas salas 11, 12 e 14 baixassem para 1,1 s, 0,9 s e 1,4 s em vez de 4,1 s, 3,8 s e 3,8 s (valores medidos nas condições atuais), enquadrando-se assim na margem de valores aconselháveis para salas de exposição de museus.

Com objetivos um pouco diferentes, mais no sentido de criar condições acústicas variáveis para ajustar os ambientes sonoros das salas às exposições ou apenas com o intuito de atenuar os problemas acústicos atualmente existentes pode recorrer-se a outras soluções mais simples e mais baratas, como as cortinas que se apresentam (*Acoustic Curtain Whisper*) ou o uso de carpetes. A necessidade contínua de criação de novas paredes pode ainda ser vista como outra oportunidade para criar nessas áreas absorção sonora que podem ter características diferentes de exposição para exposição.

As sugestões apresentadas neste capítulo apenas respeitam às salas 11, 12 e 14 (pois são significativas do ambiente sonoro do museu). No entanto, se existir no futuro uma intervenção de correção acústica no museu devem ser obviamente estudadas também as restantes salas por forma de ajustar as condições de cada intervenção.

9

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

9.1. CONCLUSÕES

A crescente importância da Acústica, bem como da importância dos Museus na sociedade, justificam a necessidade de caracterizar as condições acústicas específicas destes edifícios que têm estado um pouco à margem dos desenvolvimentos desta ciência. As condições acústicas dos museus tornam-se cada vez mais importantes pois o ajuste do conceito de museu ao longo da história caminha no sentido destes se tornarem espaços cada vez mais agradáveis e potenciadores de experiências sensoriais aos seus visitantes, deixando de ser apenas recetáculos de arte.

Perante os vários tipos de museus, esta dissertação pretendeu focar-se essencialmente nos museus de tipologia “moderna”. Este tipo de museus tem vindo a ser utilizados um pouco por todo o mundo como fator de atração das cidades com intuito de mostrar tanto a capacidade cultural do local como de exibir a sua modernidade (veja-se por exemplo o Museu Guggenheim Bilbao). Isto porém, apela à criatividade dos arquitetos que tendem cada vez mais a criar edifícios com superfícies muito lisas e refletoras, com elevados pé-direito e grandes envidraçados, vindo fortalecer as fragilidades acústicas deste tipo de espaços.

A par dos problemas conhecidos da acústica de museus, com este trabalho foi também possível apurar a falta de informação técnica específica acerca do tema. A justificação disso poderá estar associada à reduzida quantidade de museus em que têm sido realizados estudos acústicos, muitos deles só após a deteção dos problemas com a entrada em funcionamento do próprio museu. O país que parece estar mais sensível a estes problemas é os Estados Unidos. Contudo, em Portugal têm já sido realizados alguns estudos, geralmente associados a projetos de maior prestígio arquitetónico.

As necessidades acústicas dos museus podem apresentar-se sob diferentes níveis, que se relacionam fundamentalmente com as características físicas do museu, mas também com as características das atividades aí decorrentes. Museus com exposições permanentes apresentam condições acústicas mais estáveis, ao passo que as exposições temporárias poderão criar uma variação significativa dessas necessidades, podendo existir também exposições com sistemas de áudio associado (especialmente em exposições temporárias).

De qualquer modo, para que existam boas condições de conforto acústico em museus, estes devem possuir sempre baixos níveis de ruído de fundo, baixa reverberação e adequada inteligibilidade da palavra para que sejam asseguradas as condições de audibilidade das visitas guiadas. Em concordância

com isso, apresentam-se no Quadro 9.1 os referentes valores recomendados neste trabalho para esses parâmetros.

No que respeita à avaliação da qualidade acústica do museu caso de estudo, o Museu de Serralves, a medição dos valores de Tempo de Reverberação, dos níveis de pressão sonora do Ruído de fundo (com e sem AVAC ligado e na situação em que o museu estava aberto ao público) e de RASTI resultaram nos valores que se apresentam no Quadro 9.1.

Quadro 9.1 – Valores medidos no Museu de Serralves e recomendados para os vários parâmetros acústicos.

Parâmetros	Sala 11	Sala 12	Sala 14	Valores Recomendados
Tempo de Reverberação				
$TR_{[500, 1k, 2k]} (s)$	4,1	3,8	3,8	1,0 - 1,4
Ruído de Fundo				
$L_{Aeq} (c/ AVAC \text{ e sem visitantes}) (dB)$	41	27	27	≤ 40
$L_{Aeq} (c/ AVAC \text{ e com visitantes}) (dB)$	66	63	61	-
Noise Criteria (NC)	37	20	19	≤ 35
Noise Rating (NR)	39	22	21	≤ 35
Inteligibilidade da Palavra				
Rapid Speech Transmission Index (RASTI)	0,40	0,42	0,45	0,45 a 0,60

Com os resultados das medições acústicas foi possível perceber que o ambiente sonoro da sala 11 é um pouco diferente daquele que existe nas salas 12 e 14, apresentando a sala 11 em todos os parâmetros analisados as piores prestações acústicas. A comparação dos resultados obtidos com os valores recomendados neste trabalho revela um expressivo desajuste entre o tempo de reverberação medido (em todas as salas) e o recomendado. No que respeita aos níveis sonoros de ruído de fundo, existem duas situações acústicas distintas; quando o museu não está aberto ao público verificam-se níveis sonoros enquadrados nos valores recomendados, porém, quando o museu está aberto ao público os níveis sonoros apresentam um acréscimo muito significativo. Contudo, como a avaliação do grau de incomodidade (NC e NR) das salas de exposição é realizada para a situação em que não existem visitantes, as salas apresentaram valores muito razoáveis e que se enquadram dentro dos valores recomendados. Já no que concerne aos valores de RASTI, estes são porém uma consequência da reverberação e do ruído de fundo, e por isso mostram-se também desadequados às condições de inteligibilidade da palavra que seriam pretendidas para estes espaços. Por outro lado, estes valores revelam boas condições de privacidade nas conversas entre visitantes.

Posto isto, conclui-se que em termos acústicos o museu “funciona” razoavelmente bem quando não está ocupado. Contudo, quando está ocupado, a reverberação excessiva associada ao ruído gerado no espaço, tornam-o um pouco incómodo e com algumas particularidades de comunicação. A análise acústica subjetiva realizada através de questionários a 135 visitantes vem ainda comprovar que a situação acústica atual do museu não é a ideal.

A quando da realização da análise comparativa de 21 salas de exposição de 7 museus, pôde verificar-se que as salas do Museu de Serralves são generalizadamente as que apresentam tempos de reverberação (significativamente) mais elevados, apenas sendo superado por uma sala de um outro museu e outros dois museus que entretanto já sofreram intervenções de reabilitação. No que respeita aos níveis de ruído de fundo, a comparação entre museus mostrou que o Museu de Serralves apresenta em geral melhores condições que aqueles com que foi comparado. Quanto às condições de

inteligibilidade da palavra, estas mostraram-se ser piores no Museu de Serralves que no outro museu portuense a que foi também comparado.

A conclusão geral que se retira dos resultados das medições acústicas, análise subjetiva e comparação entre museus é a de que as condições acústicas do Museu de Serralves não são as ideais. Este facto advém da baixa capacidade de absorção das salas de exposição e dos elevados valores do tempo de reverberação que se verificam, como consequência dos elevados pés-direito, corredores extensos (no piso 3), salas muito amplas e de grandes volumes contactáveis entre si através de aberturas de grande dimensão sem possibilidade de isolamento e da existência de revestimentos com superfícies muito lisas e refletoras com coeficientes de absorção sonora muito baixos sem que haja elementos absorventes sonoros nas salas.

Assim, a melhoria das condições acústicas do Museu de Serralves poderá ser conseguida atuando no sentido de aumentar a área de absorção sonora das salas de exposição, permitindo com isso reduzir o tempo de reverberação e consequentemente também os níveis de ruído de fundo. Das várias soluções propostas para esse fim, sobressai da análise técnico-acústica como a melhor opção (generalizadas às três salas) a aplicação de um material tipo Sonacoustic (nos tetos). Esta solução é de todas as apresentadas também a mais económica, representando um custo de 59000 € para as três salas (correspondente a 0,2% do preço total da construção do edifício). A aplicação deste material permitiria reduzir os tempos de reverberação médios [500, 1k, 2k] nas salas 11, 12 e 14 para cerca de 1,1 s em vez de cerca de 3,8 s (medido nas condições atuais) passando assim a estar enquadrado na gama de valores recomendados.

9.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este trabalho deixa ainda em aberto espaço para a realização de diversos estudos futuros que poderão complementá-lo e torná-lo mais abrangente; entendendo-se necessário aprofundar e consolidar o estudo das necessidades acústicas específicas dos museus “modernos”, mas também perceber as diferenças entre as necessidades dos museus “modernos” e “tradicionais”.

Como complemento a este trabalho seria interessante estudar a relação entre os critérios acústicos de projeto e as medições acústicas objetivas e subjetivas dos mesmos (após a sua construção), por forma a perceber-se a dificuldade de aplicação das medidas de correção acústica nestes espaços. Ainda com vista em testar os valores aconselhados neste trabalho, para os vários parâmetros acústicos, poderia ainda recorrer-se a modelação numérica ou aurealização.

Entende-se também que seria pertinente no futuro avaliar as condições acústicas de vários museus modernos e tradicionais segundo parâmetros acústicos objetivos e subjetivos de modo a permitir realizar uma comparação sólida entre as características acústicas dos dois tipos de museus. Com a avaliação acústica subjetiva nos diferentes museus poderia ainda perceber-se melhor a diferença existente na expectativa sonora que os visitantes têm para cada tipo de museu.

Um outro tema de desenvolvimento, e que surge como desafio, é a criação de materiais para aplicar sobre pavimentos de madeira com a função de reduzir o ruído calçado-pavimento que mantenham a estética original destes pavimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oliveira de Carvalho, A.P. *Acústica Ambiental e de Edifícios*, Edição 8.1. FEUP, Porto, 2011.
2. Amado, J. *Caracterização Acústica de Sinagogas. A Sinagoga Mekor Haim (Porto)*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2011.
3. Oliveira de Carvalho, A.P. *Influence of architectural features and styles on various acoustical measures in churches*, Ph. D. dissertation, Universidade da Florida, E.U.A., 1994.
4. Costa, A.E. *Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica*, Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, FEUP, Porto, 2009.
5. Durand, J.N.L. *Précis des leçons d'architecture*. Vol. 2. Librairie de l'Ecole polytechnique et Bernard, Paris, 1805.
6. Barranha, H.S. *Arquitectura de Museus de Arte Moderna e Contemporânea*. Ciências e Técnicas do Património, Revista da Faculdade de Letras, Porto, 2003.
7. Henrique, L. *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002.
8. Recuero Lopez, M. *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Paraninfo, Madrid, 1998.
9. Long, M. *Architectural Acoustics*. Elsevier, E.U.A., 2006.
10. Sítio do No Noise. <http://www.nonoise.org/library/envnoise/>. Acedido em Março de 2012.
11. Audição: Segurança higiene e saúde do trabalho. http://higiene-segurancatrabalho.dashofer.pt/library/8f14e45fcee167a5a36dedd4bea25437/images/chap_8_022.jpg. Acedido em Fevereiro de 2012.
12. Isbert, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Barcelona, 1998.
13. Martins da Silva, P. *Acústica de Edifícios, ITE 8*. LNEC, Lisboa, 1998.
14. Sítio de Audiophile Club of Athens. <http://www.aca.gr/index/forums/fen/hiend2?row=528>. Acedido em Fevereiro de 2012.
15. Gonzalez, C.G.,Recuero Lopez. *Acustica Arquitectonica*. Benzal, Madrid, 1993.
16. Andrews, M. *How does background noise affect our concentration?* Scientific American Mind, 2010.
17. Pereira, R.N. *Caracterização Acústica de Salas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Física Tecnológica, IST, Lisboa, 2010.
18. Sítio do International Council of Museums. <http://icom.museum/who-we-are/the-vision/museum-definition.html>. Acedido em Março de 2012.
19. Sítio do Sistema Brasileiro de Museus. http://www.museus.gov.br/sbm/oqueemuseu_apresentacao.htm. Acedido em Março de 2012.
20. Pérez, X. *Turismo Cultural, uma visão antropológica*. Vol. 2. PASOS, Revista de Turismo y Patrimonio Cultural, Tenerife (Espanha), 2009.
21. Antropologia e Museus. http://ceaa_novo.usfp.pt/files/artigos/ANTROPOlogicas07/ANTROPO07-09.pdf. Acedido em Março de 2012.

22. Caldeira, P. *Introdução às fontes de informação*, 2ª edição. Autêntica Editora, Brasil, 2008.
23. Sítio de Beautiful-Libraries. <http://www.beautiful-libraries.com/7200-1.html>. Acedido em Março de 2012.
24. Kiefer, F. *Paradigmas brasileiros na arquitectura de museus*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
25. Sítio dos Museus das Minas e do Metal. <http://www.mmm.org.br/index.php?p=8&c=779&pa=pf&pf=580>. Acedido em Março de 2012.
26. Sítio de Museos vivos (Argentina). <http://museosvivos.educ.ar/?p=630>. Acedido em Março de 2012.
27. Sítio de Hotels Firenze: Galleria degli uffizi. http://www.hotelsfirenze.eu/img/galleria_degli_uffizi.jpg. Acedido em Março de 2012.
28. Sítio de The monsieur "k": Museu do Louvre. <http://themonseieurk.files.wordpress.com/2011/04/le-louvre1.jpg>. Acedido em março de 2012.
29. Planta do museu idealizado por Étienne-Louis Boullée. <http://archiveofaffinities.tumblr.com/post/3553718480/etienne-louis-boullee-plan-for-a-museum>. Acedido em Março de 2012.
30. Museus da cidade do Porto. <http://cct.portodigital.pt/gen.pl?p=outroslocaisavisitar&sid=cct.sections/1111103&fokey=cct.museus/1&coleccaoid=cct.coleccao/2>. Acedido em Março de 2012.
31. Sítio do ISCET. <http://www.iscet.pt/news/alunos-do-iscet-realizam-visita-ao-museu-soares-do-reis>. Acedido em Março de 2012.
32. Sítio do e-architect. http://www.e-architect.co.uk/new_york/moma_new_york.htm. Acedido em Março de 2012.
33. Sítio de Articles web: Museum of Modern Art. <http://www.articlesweb.org/technology/museum-of-modern-art>. Acedido em Março de 2012.
34. Sítio do ezimut: Casa-Museu Amália Rodrigues. http://www.ezimut.com/pois/casa-museu-amalia-rodrigues/attachment/amalia_1. Acedido em Março de 2012.
35. Sítio do Virtual Tourist: Casa-Museu Amália Rodrigues. <http://members.virtualtourist.com/m/p/m/1f319f/>. Acedido em Março de 2012.
36. Sítio de Aarhus na Dinamarca. http://www.aarhus.world-guides.com/aarhus_photos.html. Acedido em Março de 2012.
37. Pes, J.,E. Sharpe. *Exhibition and museum attendance figures 2010*, No. 223. The Art Newspaper, Londres, 2010.
38. Duarte, R.B.,A.P. Pinheiro. *Iconicidade, contexto e intervenções patrimoniais: qualidades comunicativas e expositivas dos Museus*. Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.
39. Sítio do Department for the Culture Media and Sport do Reino Unido. http://www.culture.gov.uk/what_we_do/research_and_statistics/3375.aspx. Acedido em Março de 2012.
40. Sítio do Paris by Click. <http://www.parisbyclick.com/travel/gallery/Louvre-Museum.jpg>. Acedido em Março de 2012.

41. Sítio do Sun Sail Sea: Museu do Louvre. <http://www.sunsailsea.com/179/visit-museum-du-louvre-paris.html>. Acedido em Março de 2012.
42. Sítio do Shafe: Materiais e Técnicas. [http://www.shafe.co.uk/art/materials_and_techniques_\(building_materials\)_15-3-2004.asp](http://www.shafe.co.uk/art/materials_and_techniques_(building_materials)_15-3-2004.asp). Acedido em Março de 2012.
43. Sítio de Lycée Jean Moulin: Museu Guggenheim Bilbao. <http://lycee-jean-moulin-english-website.wikidot.com/tiffany-b-s-ideal-job>. Acedido em Março de 2012.
44. Sítio da Arts Journal. http://www.artsjournal.com/mt4/mt-search.cgi?blog_id=47&tag=Guggenheim%20Bilbao&limit=20&IncludeBlogs=47. Acedido em Março de 2012.
45. Sítio do Instituto dos Museus e da Conservação. <http://www.imc-ip.pt/pt-PT/recursos/estatisticas/ContentDetail.aspx>. Acedido em Março de 2012.
46. Sítio do Viva-agenda: Museu do Chiado. <http://www.viva-agenda.com/local/121/Museu+do+Chiado+-+Museu+Nacional+de+Arte+Contempor%C3%A2nea+>. Acedido em Março de 2012.
47. Sítio do Museu Nacional de Arte Contemporânea: Museu do Chiado. <http://www.museudochiado-ipmuseus.pt/pt/node/3?image=3>. Acedido em Março de 2012.
48. Sítio do Museu da Arte e da Arqueologia do Vale do Côa. <http://www.arte-coa.pt/>. Acedido em Março de 2012.
49. Dakota Audio Inc. *Exhibit Acoustics*. Dakota do Norte (E.U.A), 2008.
50. Jónsdóttir, G. *Museums Acoustics*, Universidade Técnica da Dinamarca (DTU), Dinamarca, 2006.
51. Tombazis, A.N., *et al.* *Museums- Energy Efficiency and Sustainability in Retrofitted and New Museum Buildings Handbook*. Irlanda, Universidade de Dublin, 2004.
52. *Architectural Acoustics: Architectural and Electroacoustic Design of Interactive Museums and Hall of Fame. 145th Meeting: Acoustical Society of America*, 2003, Nashville, E.U.A.
53. Sítio da École d'architecture de Grenoble. http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/deletr/Isol_Acoust.pdf. Acedido em Março de 2012.
54. Sítio do Município de Valencia (Espanha). [http://www.valencia.es/ayuntamiento/maparuido.nsf/0/2DA5A0944E8C6365C12574390034A8AA/\\$FILE/Decreto%202662004%20correccion%20edificaciones.pdf?OpenElement&=lang=1](http://www.valencia.es/ayuntamiento/maparuido.nsf/0/2DA5A0944E8C6365C12574390034A8AA/$FILE/Decreto%202662004%20correccion%20edificaciones.pdf?OpenElement&=lang=1). Acedido em Março de 2012.
55. John Miller, *Comunicação privada (email)*, 19/03/2012.
56. Marshall Long, *Comunicação privada (email)*, 19/03/2012.
57. Gregory Miller, *Comunicação privada (email)*, 25/04/2012.
58. Higini Arau, *Comunicação privada (email)*, 19/05/2012.
59. Daniel Commins, *Comunicação privada (email)*, 15/05/2012.
60. Octávio Inácio, *Comunicação privada (email)*, 29/05/2012.
61. Decreto-Lei 96/2008 de 1 de Julho. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*.

62. Steeneken, H.J.M. *Standardisation of Performance Criteria and Assessments Methods for Speech Communication*. Convenor of ISO/TC159/SC5/WG3, CEN/TC122/WG 8, Project leader IEC/TC100 60268-16,
63. Barry Lord, G.D. Lord. *The Manual of Museum Exhibitions*. Altamira Press, E.U.A., 2001.
64. Norma Francesa NF S 30-001. *Acoustique - Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques*, 2000.
65. Sítio Engineering Toolbox - Curvas NR. http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html. Acedido em Março de 2012.
66. Fundação de Serralves. *Serralves*. ASA Editores e Fundação de Serralves, Porto, 2002.
67. Sítio do Bing Maps. <http://www.bing.com/maps/>. Acedido em Março de 2012.
68. Sítio da Fundação de Serralves. <http://www.serralves.pt/>. Acedido em Março de 2012.
69. Fernandes, J., Malagamba D. *Álvaro Siza: Museu de Arte Contemporânea de Serralves (Porto)*. Ediciones Polígrafa, Barcelona, 2001.
70. Sítio do The Pritzker Architecture Prize: Álvaro Siza. <http://www.pritzkerprize.com/1992/bio>. Acedido em Março de 2012.
71. Sítio de Álvaro Siza. <http://alvarosizavieira.com/>. Acedido em Março de 2012.
72. Fundação de Serralves. *Alvaro Siza: On Display*. Fundação de Serralves, Porto, 2005.
73. Sítio da Commins Acoustics Workshop. <http://www.comminsacoustics.com/>. Acedido em Março de 2012.
74. Sítio da Absorber Engenharia. <http://www.absorber.pt/>. Acedido em Março de 2012.
75. Commins, D., et al. *The Serralves Auditorium and Museum in Porto with concealed Alvaro Acoustics*. 2002.
76. Conde Santos L., et al. *Alvaro: A new "invisible" absorbing material*. EURONOISE 2001, European Acoustics Association, Patras, Grécia.
77. Álvaro Siza. *Planta do Piso 3*. Projecto de Arquitectura do Museu de Serralves. Porto, 1999.
78. Álvaro Siza. *Planta do Piso 1*. Projecto de Arquitectura do Museu de Serralves. Porto, 1999.
79. Norma Portuguesa NP 4476. *Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*. IPQ, 2008.
80. Sítio da Social Research Methods. <http://www.socialresearchmethods.net/kb/scallik.php>. Acedido em Abril de 2012.
81. Sítio da STO (Grécia) - Novo Museu da Acrópole. http://www.stohellas.gr/65431_GR-StoHellas-Néa.htm?newsId=11&web_title=04.11. Acedido em Maio de 2012.
82. Garcia, L. *A Acústica de Museus Tradicionais - Estudo de caso, o Museu Nacional Soares dos Reis (Porto)*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2012.
83. Sítio da S.T.I.E.R - Catálogo do produto BASWaphon. <http://stier-acustica.com/Ficheiros.ashx?i=547>. Acedido em Maio de 2012.
84. Sítio da S.T.I.E.R - Catálogo do produto Sonacoustic. <http://stier-acustica.com/Ficheiros.ashx?i=2600>. Acedido em Maio de 2012.

85. Sítio da Acustekpro - Catálogo do produto Fellert. <http://www.acustekpro.com/media/1434/fellert-1001pdf>. Acedido em Maio de 2012.
86. Sítio da Rockfon - Catálogo do produto Mono Acoustic TE. http://products.rockfon.co.uk/media/712757/datasheet_uk_mono_acoustic_te_02-2011.pdf. Acedido em Maio de 2012.
87. Sítio da STO - Catálogo do StoSilent. http://www.sto.co.uk/115976_EN-Products_ystems-Seamless_System.htm. Acedido em Maio de 2012.
88. Sítio da STO (Grécia). http://www.stohellas.gr/52999_GR-Έργα-Συστήματα_ακουστικής_-_ηχοαπορρόφηση.htm. Acedido em Maio de 2012.
89. Sítio de Annette Douglas Textiles AG. <http://www.douglas-textiles.ch/index.php?id=120&L=1>. Acedido em Maio de 2012.
90. Sítio da Jocavi - Catálogo do produto Staidtreat BXW. <http://www.jocaviacousticpanels.com/pt/produtos/sint.BXW/index.htm>. Acedido em Maio de 2012.

ANEXOS

ANEXO I

INQUÉRITO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DO MUSEU DE SERRALVES EM LÍNGUA PORTUGUESA:



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROJECTO DE INVESTIGAÇÃO EM ACÚSTICA DE MUSEUS
INQUÉRITO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA
 Com o apoio de **SERRALVES**



Se preferir poderá realizar este inquérito através de: <http://www.surveymonkey.com/s/3QV9H6L>

Dia da visita
 Terça ☐ Quarta ☐ Quinta ☐ Sexta ☐ Sábado ☐ Domingo ☐

Género
 Masculino ☐ Feminino ☐

Faixa Etária
 Menos de 18 anos ☐ 18 a 30 anos ☐ 31 a 45 anos ☐ 46 a 65 anos ☐ Mais de 65 anos ☐

Questionário

	Muito	Pouco	Indiferente	Concordo	
	1	2	3	Pouco	Muito
	1	2	3	4	5
1 Aprecio o silêncio nos museus	☐	☐	☐	☐	☐
2 Sinto muito ruído nas salas deste museu	☐	☐	☐	☐	☐
3 O ruído das máquinas fotográficas é incomodo	☐	☐	☐	☐	☐
4 O ruído dos visitantes incomoda-me	☐	☐	☐	☐	☐
5 Percebo claramente o guia	☐	☐	☐	☐	☐
6 Consigo perceber a conversa dos outros visitantes	☐	☐	☐	☐	☐
7 Oíço ecos nas salas de exposição	☐	☐	☐	☐	☐
8 O ruído dos passos das pessoas é intenso	☐	☐	☐	☐	☐

9 Indique o que mais lhe agrada neste museu.

Exposições	Biblioteca	Ambiente sonoro	Restaurante Bar	Edifício	Iluminação artificial	Luz natural
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Obrigado pela disponibilidade!

ANEXO II

INQUÉRITO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DO MUSEU DE SERRALVES EM LÍNGUA INGLESA:



FEUP
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA

Faculty of Engineering of University of Porto

ACOUSTIC RESEARCH IN MUSEUMS

SURVEY OF ACOUSTICS QUALITY

with the support of **SERRALVES**

If you prefer you can do it through: <http://www.surveymonkey.com/s/H3HP5MG>

Day of visit
 Tuesday ☐ Wednesday ☐ Thursday ☐ Friday ☐ Saturday ☐ Sunday ☐

Gender
 Male ☐ Female ☐

Age group
 Less than 18 years ☐ 18 to 30 years ☐ 31 to 43 years ☐ 44 to 55 years ☐ Over 55 years ☐



Questions

	Disagree		Indifferent	Agree	
	Very	Little		Little	Very
	1	2	3	4	5
1 I appreciate the silence in museums	☐	☐	☐	☐	☐
2 I feel a lot of noise in the halls of this museum	☐	☐	☐	☐	☐
3 The noise of the cameras is cumbersome	☐	☐	☐	☐	☐
4 The noise of the visitors is nuisance	☐	☐	☐	☐	☐
5 I hear the guide clearly	☐	☐	☐	☐	☐
6 I can understand the conversation of other visitors	☐	☐	☐	☐	☐
7 I hear echoes in the showrooms	☐	☐	☐	☐	☐
8 The sound of footsteps is intense	☐	☐	☐	☐	☐

9 Indicate what you like best in this museum.

Exhibitions
☐

Library
☐

Sound Environment
☐

Restaurant Bar
☐

Building
☐

Artificial Lighting
☐

Natural Light
☐

Thank You!