

A ACÚSTICA DO MUSEU DE SERRALVES (PORTO) ENTRE OUTROS MUSEUS MODERNOS

António P. O. Carvalho, Hélder Gonçalves

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
carvalho@fe.up.pt, helder.goncalvs@gmail.com

Resumo

Os museus "modernos" facilmente apresentam um mau comportamento acústico devido ao uso generalizado de revestimentos muito lisos e reflectores, pés-direitos elevados e volumes muito expressivos. Este trabalho estuda as necessidades específicas destes edifícios e recomenda valores ideais para os parâmetros com interesse (TR, L_{Aeq} ruído de fundo e RASTI). No Museu de Serralves (Porto) foi acusticamente caracterizado através de medições em várias salas (TR, L_{Aeq} e RASTI) e de inquéritos aos visitantes. Obtiveram-se valores de TR de cerca de 4 s, L_{Aeq} de 27 a 41 dB e RASTI de 0,4. Quando comparados com os valores ideais, verifica-se que as condições acústicas poderiam ser muito melhoradas, sendo para isso também apresentadas algumas sugestões. Foi ainda realizada uma comparação dos resultados com valores de outros museus modernos.

Palavras-chave: Museus, Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo, RASTI, Porto.

Abstract

Modern museums can easily have a bad acoustic behavior due to the widespread use of very smooth and reflective coatings, high-ceiling and very expressive volumes. This work studies the specific needs of these buildings and recommends optimal values for the parameters of interest (RT, L_{Aeq} background noise and RASTI). The Modern Art Museum of Serralves (Porto), was acoustically characterized by in situ measurements and a survey to visitors. The values obtained were RT about 4 s, L_{Aeq} -bgn between 27 to 41 dB and RASTI of 0.4. When compared with the ideal values, the interior acoustics could be improved, and some suggestions are presented. A comparison of results with other modern museums is also shown.

Keywords: Museums, Reverberation Time, Background Noise, RASTI, Porto.

PACS no. 4355Gx, 43.55Fw

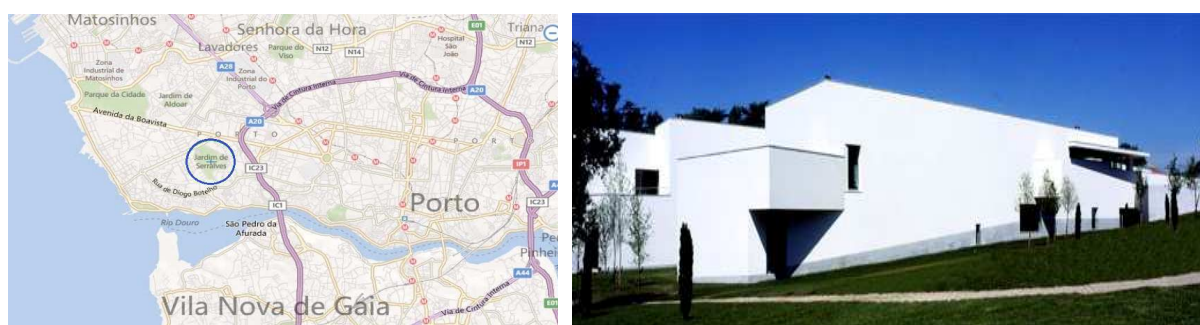
1 Introdução - Os museus modernos e o museu de Serralves

Os Museus ditos Modernos, na terminologia deste estudo, são aqueles que se caracterizam por possuir uma tipologia construtiva posterior a meados do século XX, considerados edifícios da geração do betão armado, enquadrados nos estilos arquitectónicos *moderno* e *pós-moderno*. Geralmente estão instalados em edifícios construídos especificamente para o efeito. O facto de os museus serem também cada vez mais procurados pela sociedade e de tenderem a ser locais agradáveis de permanecer independentemente do motivo, juntamente com a elevada motivação das instituições museológicas em

captar público, leva a que as necessidades de conforto em museus sejam cada vez maiores, sendo que a qualidade acústica do edifício deverá ser uma prioridade.

O Museu de Serralves situa-se na cidade do Porto (Portugal) e é um exemplo típico de museu moderno (Figura 1). O edifício (1999) é da autoria do arquitecto Álvaro Siza Vieira com três pisos (de área total 12.670 m²) com 14 salas de exposições (divididas pelo piso 1 e piso 3 que ocupam 4.485 m²), quase na totalidade com pé direito duplo. O edifício possui ainda diversos espaços para reservas de obras de arte, cafetaria e restaurante, esplanada, livraria, biblioteca e auditório (Figuras 2 a 5).

As salas de exposição são amplas e livres de paredes divisórias no seu interior (Figuras 3 a 5). No entanto, e devido às exigências das exposições temporárias, são habitualmente criadas paredes e mesmo fechadas janelas através de painéis de gesso cartonado. As paredes são revestidas com gesso cartonado, os pavimentos são, geralmente, em soalho de madeira maciça à excepção de duas salas (sala 12 e 13) em que o pavimento é em mármore. Os tectos são maioritariamente revestidos por painéis de gesso cartonado, havendo algumas zonas com o material acústico *Wilhelmi Álvaro*, ambos com uma caixa-de-ar muito reduzida (≈ 5 cm).



Figuras 1 e 2 – Localização (esq.) e vista ext., Museu de Arte Contemporânea de Serralves (dir.). [1, 2]



Figuras 3, 4 e 5 – Salas de exposição (11, 12 e 14) do Museu de Serralves, Porto. [2]

2 Acústica de Museus Modernos

2.1 A Arquitectura e a Acústica

A Arquitectura em museus costuma ser uma preocupação, contudo, a sua acústica apresenta também uma especial importância, pois estes edifícios estão pensados para serem locais bastante movimentados, mas em que deve reinar o silêncio, particularmente nas salas de exposição. A ligação entre ambas as artes reside na relação entre a geometria e os materiais. Por esse motivo, as alterações

arquitectónicas que os museus têm sofrido ao longo da História tiveram também grandes repercussões nas características acústicas destes locais.

A acústica dos museus modernos sofre de grandes fragilidades advindas das características da arquitectura da geração do betão armado, que na sua génese é constituída por superfícies lisas rectilíneas ou curvilíneas, muito reflectoras, paredes exteriores de reduzida espessura (face a edifícios mais antigos), grandes vãos e envidraçados, pé-direito elevados e uso de materiais pétreos e cerâmicos vitrificados. A situação agrava-se ainda com a à grande afluência de pessoas, normal nestes espaços, e que permite facilmente gerar elevados níveis de ruído de fundo. Assim, as características geométricas das salas de exposição, dos seus materiais e as próprias condições de uso destes espaços, permitem que facilmente apresentem elevada reverberação e problemas associados, tais como ausência de inteligibilidade (importante nas visitas guiadas), ecos, ou elevado ruído de fundo, motivados pelo campo sonoro originado pela componente directa e a componente reverberada (de elevada expressão).

2.2 Valores Recomendados

A caracterização das necessidades acústicas em museus é realizada por meio dos parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação (TR), níveis de Ruído de Fundo e dos valores do RASTI ou STI. Porém, o tempo de reverberação é o parâmetro mais sensível, dadas as características destes edifícios, e por isso é fundamental entender as suas variações ao longo das frequências, que poderão ser significativas. Estas variações devem-se ao facto de este tipo de edifícios, geralmente com grande volume, serem muito sensíveis à reverberação e pelos materiais que os revestem serem, normalmente, menos absorventes nas baixas frequências.

Deste modo, apresenta-se na Tabela 1 a margem de valores de Tempo de Reverberação aconselhados para museus para cada frequência. Esta gama de valores pretende enquadrar as necessidades acústicas dos museus, que poderão em casos de existência de sistemas multimédia optar pelo valor de 1,0 s e em outras circunstâncias pelo valor de 1,4 s. Nas frequências mais baixas os valores poderão ainda ser um pouco superiores, pois o ouvido humano possui menor sensibilidade auditiva nessas frequências. Recomenda-se ainda que os valores do tempo de reverberação, mesmo que enquadrados nos valores aconselhados, devam estar em concordância com as expectativas dos visitantes, ou seja, salas maiores deverão possuir uma reverberação ligeiramente superior que salas mais pequenas, pois será essa a sensação que os visitantes subjectivamente esperam encontrar.

O estudo das necessidades relativas aos níveis de ruído de fundo realizado neste trabalho levaram a que se recomendem valores de nível sonoro máximos de 40 dB(A), que deverá corresponder a níveis de incomodidade máximos avaliados 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 adoptem os valores de Tempo de Reverberação e de Ruído de Fundo atrás propostos.

Tabela 1 - Valores propostos para Tempos de Reverberação (TR) ideais em museus “modernos”.

Frequência (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	Média [500, 1k]	Média [500, 1k, 2k]
TR ideais (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

3 Medições

3.1 Metodologia

Com o intuito de caracterizar as condições de incomodidade do ruído ambiente e a perceptibilidade da palavra do Museu de Serralves foi realizada a caracterização acústica objectiva das salas de exposição através de medições *in situ* do Tempo de Reverberação (TR), dos níveis de Ruído de Fundo e do RASTI. Para isso foram seleccionadas três salas representativas, a sala 11, 12 e 14, respectivamente com 1.760, 1.350 e 1.070 m³ (Figuras 3, 4 e 5).

As medições tiveram lugar em Abril de 2012 e foram realizadas pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com recurso a um sonómetro *B&K* 2260, uma fonte sonora *B&K* 4224 e um Analisador de RASTI *B&K* 3361.

3.2 Tempo de Reverberação

Os valores do tempo de reverberação foram medidos em três pontos por sala [4] e por banda de oitava entre 125 e 4k Hz e resultaram em valores de TR [500, 1k, 2k] entre 3,8 e 4,1 s (Figura 6). A sala que se mostrou com piores condições de reverberação foi a sala 11, apresentando as salas 12 e 14 o mesmo valor 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).

As medições 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 (Figura 6). O decréscimo nas altas frequências é justificado pela atenuação do ar nessas frequências devido aos grandes volumes das salas.

Apesar das variações existentes no tempo de reverberação ao longo do espectro de frequências, a análise dos desvios-padrão mostra uma uniformização generalizada destes tempos pelos vários pontos de medição e garante a fiabilidade dos valores medidos.

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

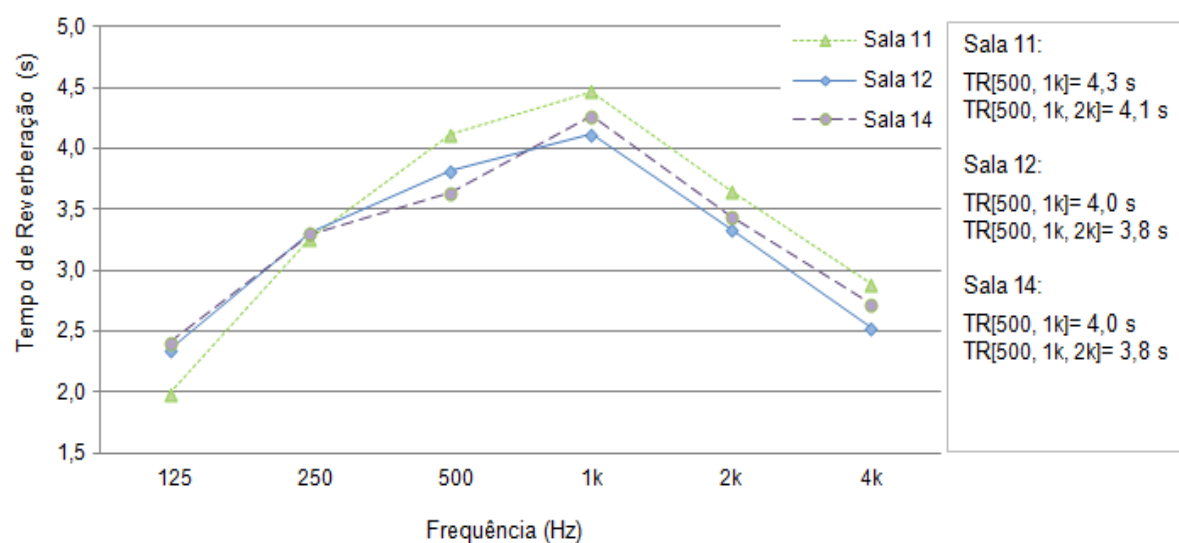


Figura 6 – Tempo de Reverberação por banda de oitava entre 125 e 4k Hz nas salas 11, 12 e 14.

3.3 Ruído de Fundo

3.3.1 Método

A medição do ruído de fundo foi efectuada por duas fases, a primeira com o museu fechado ao público, com os equipamentos condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) activados e depois desactivados; a segunda fase foi realizada com o museu aberto ao público e com os equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) activados.

A medição foi realizada num ponto por sala [2] por bandas de oitava dos 16 aos 8k Hz, numa duração aproximada de 10 min., com apenas duas pessoas nas salas na primeira fase e na segunda fase com cerca de 15 a 20 pessoas na sala 11, cerca de 12 a 15 pessoas na sala 12 e 4 a 5 pessoas na sala 14.

3.3.2 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 (Figura 7), permitem verificar que o nível sonoro de ruído de fundo nas salas é muito variável em frequência, apresentando pouca importância as baixas frequências e realçando-se fundamentalmente as médias frequências e um pouco as altas. A análise da influência da entrada em funcionamento do sistema de AVAC revelou acréscimos nas salas 11, 12 e 14, respectivamente de 9,0/2,2/1,3 dB(A), apresentando-se a sala 11 com o maior nível sonoro de ruído de fundo.

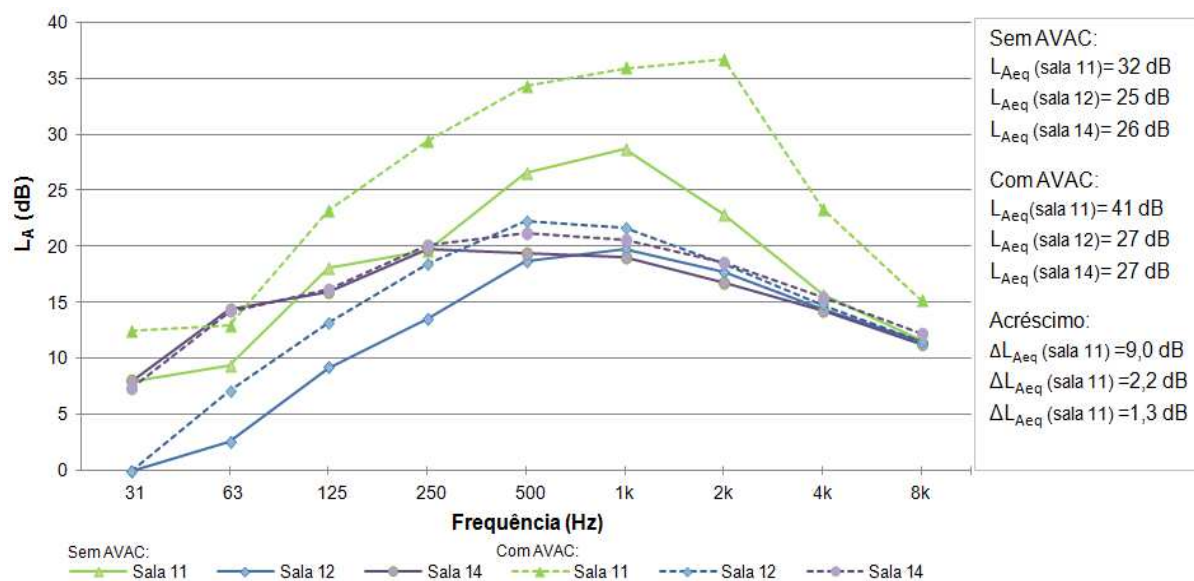


Figura 7 – Nível sonoro de ruído de fundo, com e sem sistema de AVAC no Museu de Serralves.

3.3.3 Ruído de Fundo com visitantes

As medições do ruído de fundo realizadas com o edifício aberto ao público (Tabela 2) revelaram um comportamento diferente, pois o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) resultou em valores significativamente superiores (entre 61 e 66 dB). De notar que existe ainda uma variação significativa do ruído ao longo do tempo verificada pelos valores de L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} e valores de pico (L_{Amax}) excessivamente elevados para o ambiente que seria pretendido. Com isto verificam-se acréscimos de nível sonoro, entre a situação sem visitantes e com visitantes (com AVAC ligado), entre 25 e 36dB(A).

Tabela 2 – Nível sonoro de ruído de fundo com visitantes no Museu de Serralves.

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

3.3.4 Curvas de Incomodidade

Foram também avaliadas as curvas de incomodidade NC (*Noise Criterion*) e NR (*Noise Rating*) com o ruído de AVC, e que resultaram nos valores da Tabela 3, dos quais se observam diferenças significativas nos resultados e que 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.

Tabela 3 – Valores das curvas NC e NR para as salas 11, 12 e 14 do Museu de Serralves.

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

3.4 RASTI (*R*apid *S*peech *T*ransmission *I*ndex)

As medições de RASTI foram feitas em seis pontos por sala e três leituras em cada [2]. Os resultados obtidos nas salas 11, 12 e 14 foram, respectivamente, de 0,40, 0,42, e 0,45, mostrando que a inteligibilidade nas salas 11 e 12 é *pobre* e na sala 14 é *aceitável*.

A explicação para a presença destes valores, consideravelmente baixos, tem como origem a falta de absorção sonora das salas verificada pelos elevados tempos de reverberação, e como consequência, verifica-se que aquando da emissão dum sinal sonoro (como pode ser a voz humana), este tende a demorar a extinguir-se, facilitando o mascaramento desse sinal. No caso particular dum 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; 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.

Tabela 4 – Valores médios do RASTI obtidos nas salas 11, 12 e 14 do Museu de Serralves.

Sala	11	12	14
RASTI médio	0,40	0,42	0,45

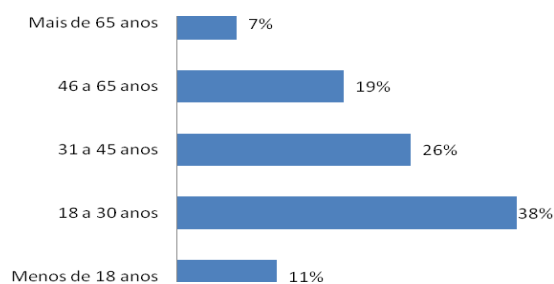
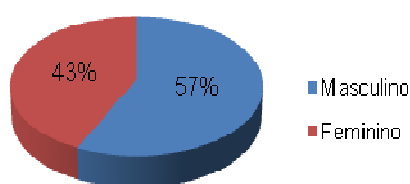
4 Análise Acústica Subjectiva

Com o objectivo de estudar a qualidade acústica do Museu de Serralves sob parâmetros subjectivos foi realizada uma análise acústica subjectiva com recurso à aplicação de um questionário a um grupo de pessoas representativo da população.

O questionário realizado seguiu as recomendações da Norma Portuguesa NP 4476 (“Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos”) e foi formulado em três etapas, apresentando três perguntas de carácter sócio-demográfico, oito perguntas vocacionadas

para a acústica e uma pergunta acerca da motivação que levou os inquiridos ao Museu de Serralves. As respostas foram cotadas numa *escala de Likert* de 5 pontos.

O questionário foi aplicado num sistema de entrevista pessoal e individual realizado à saída da visita das salas de exposição, com o intuito de perceber a opinião subjectiva 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. Assim, foi possível também controlar a amostra, sendo o público-alvo mulheres ou homens de qualquer nacionalidade, com idade mínima de 16 anos. A amostra recolhida contou assim com 135 inquiridos (100 portugueses e 35 estrangeiros) solicitados voluntariamente sem informação dos resultados obtidos por parâmetros acústicos objectivos. 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).



Figuras 8 e 9 – Distribuição dos inquiridos pelo género (esq.) e pela faixa etária (dir.).

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

- 78 % mostra interesse pelo silêncio em museus;
- 41% afirma sentir muito ruído;
- 20% sente-se incomodado com o ruído das máquinas fotográficas;
- 41% mostra-se incomodados pelo ruído dos outros visitantes;
- 25% diz não perceber claramente o guia;
- 45% afirma ouvir “ecos” nas salas de exposição;
- 33% admite que o ruído dos passos é intenso.
- O número de pessoas que visita o museu pelas exposições é próximo daquele que lá vai para visitar e contemplar o edifício.

Os números em análise revelam realmente que a situação acústica actual do museu não é a ideal. Pelas respostas observa-se ainda que as opiniões acerca da acústica em museus são ainda muito divididas, notando-se que esta subjectividade se deve ao conjunto da soma de vários factores, entre outros, ao nível cultural, a sensibilidade para a acústica ainda muito recente e à diferença dos padrões de qualidade de cada um.

5 Análise Comparativa Com Outros Museus

5.1 Tempo de Reverberação

Por forma a analisar o comportamento acústico do Museu de Serralves face a outros museus modernos foram comparados os valores medidos neste museu com os valores referentes ao Museu Nacional da

Islândia (Reiquejavique) [3] e ao Novo Museu da Acrópole (Atenas) [4]. Na Tabela 5 estão apresentadas as características dos museus comparados, podendo-se verificar que compreendem salas de exposição entre cerca de 100 m³ e cerca de 10000 m³.

Os valores dos TR [500, 1k, 2k] dos museus em análise variam entre 1,5 e 4,1 s, com a média desses tempos correspondente a 2,6 s, verificando-se portanto uma grande divergência nos diversos valores de tempo de reverberação, tal como é ilustrado na Figura 10. Dos três, o Museu de Serralves é o que apresenta os valores de tempo de reverberação das salas de exposição mais elevados e visivelmente superiores aos dos restantes museus.

Os valores referentes ao museu da Islândia devem-se à preocupação com o ambiente sonoro tida em conta nas obras de reabilitação que sofreu em 2004 e, no caso do museu grego, este foi construído de raiz (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 projecto.

Tabela 5 – Características dos museus modernos a comparar.

Museu	V _{aprox.} (m ³)	TR [500, 1k, 2k] (s)	Média do TR (s)
Museu Nacional da Islândia			
Sala em Arco	115	1,7	1,6
Galeria Nacional de Fotografia	1450	1,5	
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 de Serralves (Porto)			
Sala 11	1760	4,1	3,9
Sala 12	1350	3,8	
Sala 14	1070	3,8	

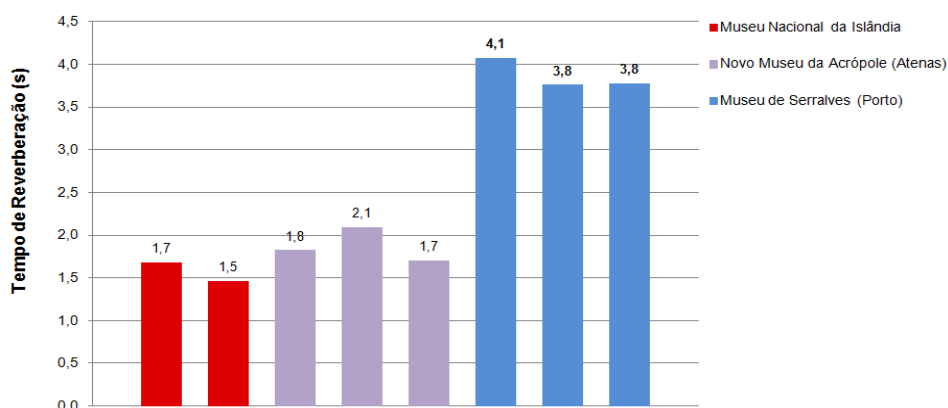


Figura 10 – Valores dos Tempos de Reverberação médios [500, 1k, 2k] em vários museus modernos.

5.2 Ruído de Fundo

Foram também avaliados comparativamente os valores dos níveis sonoros contínuos equivalentes de ruído de fundo do Museu de Serralves com os do Museu Nacional da Islândia (Figura 11) correspondentes à situação em que os museus estão fechados ao público e têm os equipamentos de condicionamento Termo-Higrométricos (AVAC) ligados. Daí pode verificar-se que os níveis sonoros contínuos equivalentes das salas dos dois museus situam-se entre 27 e 44 dB, que representa uma

margem bastante para estes valores. Se comparados os dois museus, verifica-se que o Museu de Serralves é o que apresenta, em geral, níveis sonoros inferiores.

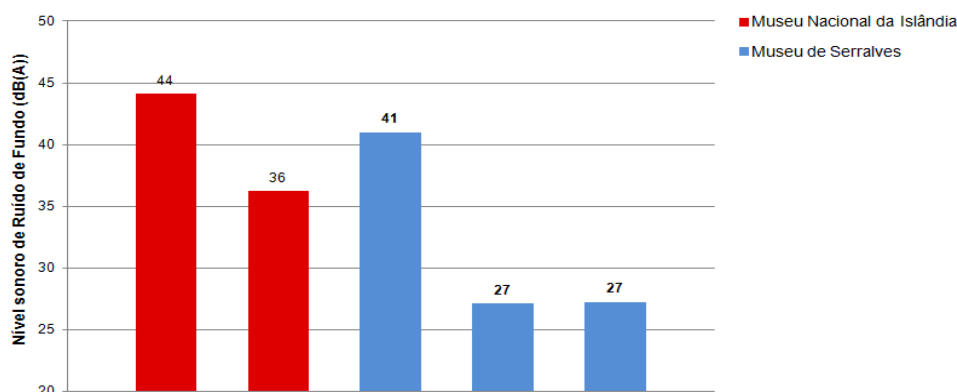


Figura 11 – Valores dos níveis sonoros do Ruído de Fundo no Museu Nacional da Islândia e no Museu de Serralves (sem pessoas e com sistemas de AVAC ligados).

6 Sugestões de Correção Acústica

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 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 estes problemas deve-se ao facto de o Museu de Serralves possuir elevados pés-direitos, 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 arquitectura repleta de revestimentos de superfícies muito lisas e reflectoras com baixos coeficientes de absorção sonora sem que haja significativos elementos absorventes.

O défice de absorção sonora observado abrange todo o espectro, embora as frequências intermédias (500, 1k e 2k Hz) apresentem valores mais significativos.

Com base nos problemas identificados, pretendeu-se também apresentar algumas sugestões de possível melhoria do comportamento acústico através de intervenções de carácter de correção acústica actuando no sentido de reduzir os valores do tempo de reverberação das salas para valores mais próximos dos ideais, por aumento da absorção sonora nestas salas.

A selecção dos materiais a usar teve como critérios: o desempenho acústico, o valor estético, as condições de iluminação, espessura dos materiais, facilidade de aplicação e de manutenção. Foram seleccionados para comparação técnico-acústica-económica os sistemas de tectos *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*.

Sendo a sala 11 a que apresenta as piores condições acústicas apenas são aqui apresentadas as conclusões relativas à mesma (ver restantes em [2]). Devido às características estéticas e geométricas desta sala optou-se por intervir apenas nos tectos (área de 268 m²), substituindo o actual gesso cartonado pelas várias propostas (Tabela 6 e Figura 12).

Percebe-se pela Figura 13 (e Tabela 6) que a 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.

Apresentam-se ainda duas propostas adicionais que englobam conjuntamente o sistema *BASWAphon* e painéis *Jocavi* de correcção da frequência dos 125 Hz aplicados numa área de 33 m², pretendendo corrigir um défice de absorção do sistema *BASWAphon* nessa frequência. Devido à localização destes painéis (local J na Figura 12) foi considerado no cálculo um factor de redução do coeficiente de absorção de 50%, que representa uma estimativa da perda de eficiência dos painéis pelo facto de existirem algumas barreiras físicas à chegada do som aos mesmos.

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*, representando uma redução de cerca de 3 s entre o TR medido e previsto [500, 1k, 2k].

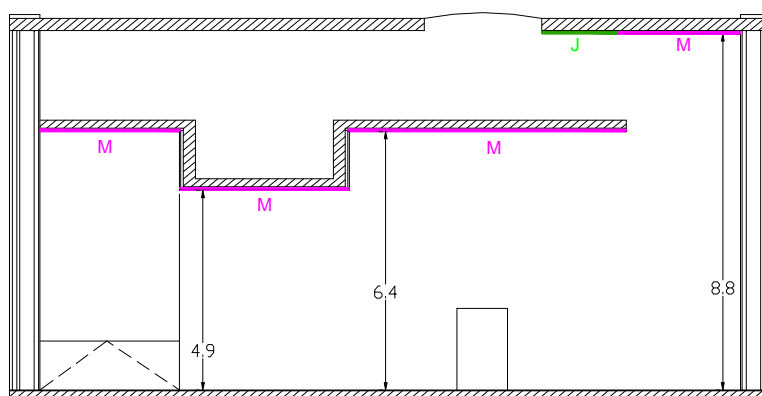


Figura 12 – Corte da intervenção na sala 11 (a roxo os diversos materiais (M) e a verde os painéis *Jocavi* (J)).

Tabela 6 – Situação actual e prevista para os valores do tempo de reverberação [500, 1k, 2k] na sala 11 para as várias sugestões de correcção acústica.

Material/Sistema	TR previsto (s)							TR medido (s)	Δ TR (s) (=medido-previsto)
	125	250	500	1k	2k	4k	Média [500, 1k, 2k]		
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
<i>Situação Actual</i>	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)

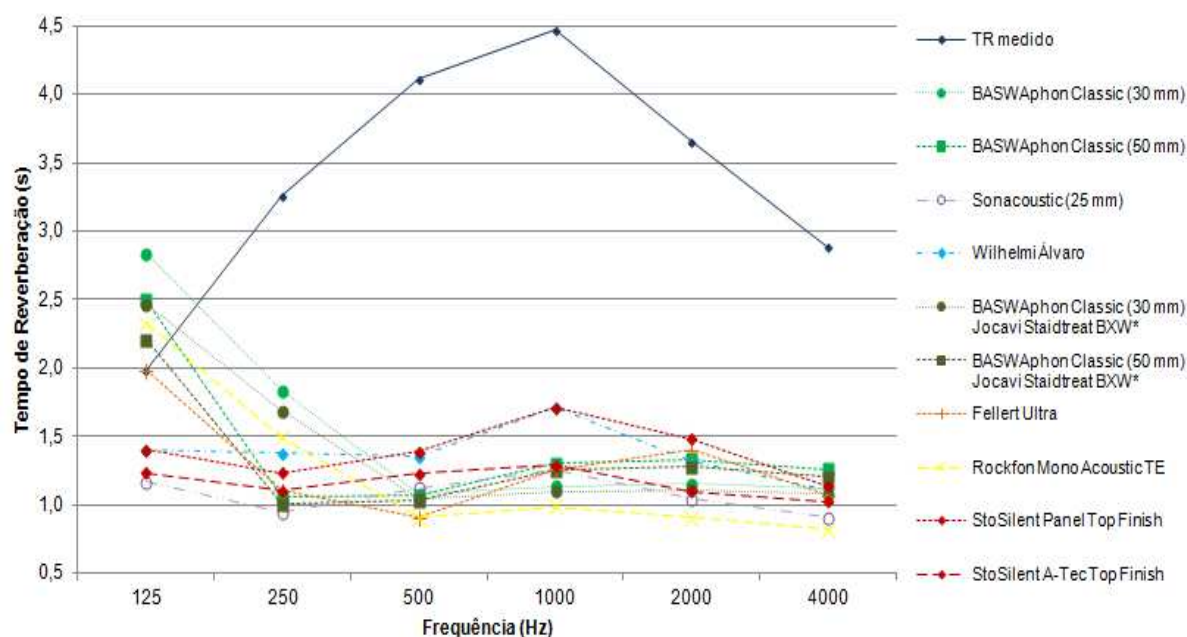


Figura 13 – Espectros dos valores do tempo de reverberação medidos e previstos na sala 11 para as várias propostas de correção acústica.

Tabela 7 – Estimativa orçamental para as propostas de correção acústica da sala 11.

Material/Sistema	Custo (€)	Material/Sistema	Custo (€)
BASWaphon Classic (30 mm)	41 200	StoSilent Panel Top Finish	33 500
BASWaphon Classic (50 mm)	42 300	StoSilent A-TEC Top Finish	34 800
Sonacoustic (25 mm)	24 500	BASWaphon Classic (30 mm)	60 500
Wilhelmi Álvaro	32 200	Jocavi Staidtreat BXW	
Fellert Ultra	29 400	BASWaphon Classic (50 mm)	61 500
Rockfon Mono Acoustic TE	26 800	Jocavi Staidtreat BXW	

Para se perceber a ordem de grandeza do valor associado a esta intervenção foi realizada uma breve análise económica das várias soluções (Tabela 7), de onde se observa que a solução *Sonacoustic* para além de ser a melhor solução tecnico-acústica é também a proposta notavelmente mais económica.

Com um carácter não definitivo e intuito de criar condições acústicas variáveis, útil em muitas exposições temporárias, ou mesmo para atenuar as condições existentes, pode ainda recorrer-se a outras soluções como cortinas com características acústicas, carpetes ou tecidos. Nesse sentido foi estudada a substituição das cortinas existentes (telas *Blackout*) por cortinas *Acoustic Curtain Whisper* da empresa suíça *Annette Douglas Textiles AG* [5] com aspecto idêntico, que se aplicadas na área total das janelas permitem obter uma redução do TR medido [500, 1k, 2k] em 0,6 s na sala 11 (e 1,5 s na sala 12), correspondendo estes valores à situação em que estão completamente fechadas. Esta solução representa ainda um custo de 1.100 € (tendo esta redução um custo, por segundo de tempo de reverberação diminuído, significativamente inferior a qualquer outra solução atrás referida).

Outra solução que poderiam ainda ter algum interesse é o uso de carpetes pesadas nos percursos de circulação das pessoas, ou distribuídas aleatoriamente pelas salas (vulgar em museus e muito frequente em bibliotecas e outros espaços em que a acústica é um factor preponderante), que possuem uma elevada absorção permitindo melhorias acústicas com alguma expressão, eliminando também o ruído dos passos das pessoas que por elas caminham. O estudo dessa solução mostrou uma redução dos

valores do tempo de reverberação de 0,7 e 1,2 s para áreas respectivas de 25 m² (9% da área total do pavimento) e 50 m² (19% da área total do pavimento). Os preços destas soluções são muito variáveis.

7 Conclusões

A Tabela 8 resume os valores medidos no Museu de Serralves e compara-os face aos ideais. Os valores de TR [500, 1k, 2k] são elevados (≈ 4 s) em relação aos valores recomendados ($< 1,4$ s) e aos valores existentes noutros museus modernos. Isto acontece devido aos grandes volumes das salas, elevados pé-direito e à existência de superfícies muito reflectoras em toda a envolvente das salas.

Relativamente ao ruído de fundo existem duas situações distintas, quando o museu está fechado os valores são baixos, estando ajustados aos valores recomendados. No entanto, quando está aberto ao público os valores medidos mostram um claro desajuste dos níveis pretendidos.

Os valores de RASTI são 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. Por outro lado, estes valores revelam boas condições de privacidade nas conversas entre visitantes.

A análise acústica subjectiva realizada através de questionários vem comprovar que a situação acústica actual do museu não é a ideal.

A melhoria das condições acústicas do Museu de Serralves poderá ser conseguida através do aumento 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 soluções estudadas, a melhor opção é a aplicação dum material tipo *Sonacoustic* (nos tectos), com um custo aproximado de 25.000 € por exemplo para a sala 11 que permitiria reduzir o TR médio para cerca de 1,1 s.

Tabela 8 – Valores medidos no Museu de Serralves e recomendados para os parâmetros acústicos.

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

Referências

- [1] Sítio do Bing Maps. <http://www.bing.com/maps/>. Acedido em Março de 2012.
- [2] Gonçalves, H. *A Acústica de Museus Modernos. Estudo de caso, o Museu de Serralves (Porto)*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2012.
- [3] Jónsdóttir, G. *Museums Acoustics*, Universidade Técnica da Dinamarca (DTU), Dinamarca, 2006.
- [4] 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.
- [5] Sítio de Annette Douglas Textiles AG. <http://www.douglas-textiles.ch/index.php?id=120&L=1>. Acedido em Maio de 2012.