

ANÁLISE ACÚSTICA DE AUDITÓRIOS DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

E. Alves¹, A. Velosa¹, J. Gomes², C. Aquino²

¹Universidade de Aveiro

edwardalves@ua.pt, avelosa@ua.pt

²Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico da Guarda

jafurtado@ipg.pt, aquino@ipg.pt

Resumo

Pretende-se com este trabalho estudar a qualidade acústica de um conjunto de auditórios da Universidade de Aveiro focando num conjunto de parâmetros mensuráveis e objectivos (T60; EDT; D50 e C80). A sua época de construção foi tida em consideração como ponto fulcral na análise dos mesmos. Neste trabalho analisaram-se 5 auditórios da Universidade de Aveiro (do mais antigo, o auditório do Edifício 3, até ao mais recente, o auditório do Complexo Pedagógico), sendo que apenas um apresentava um estudo acústico (auditório da Reitoria). Utilizaram-se duas metodologias distintas de medição: Interrupted noise e Impulse Response para a obtenção dos parâmetros. Nas medições com base na resposta impulsiva (Impulse Response) foi utilizado um sistema de baixo custo. Os valores de T60 obtidos variam entre 0.56s e 2.08s enquanto que os valores de T30, T20 e EDT variam entre: 2.10s e 0.60s; 0.76s e 2.08s; 0.62s e 1.95s, respectivamente. Os valores de D50 e C80 obtidos variam entre 34.12% e 70.93%; 0.74dB e 8.56dB respectivamente. Foi possível concluir sobre os resultados obtidos, caracterizaram-se os auditórios a nível acústico, analisaram-se e compararam-se métodos de medição e propuseram-se soluções construtivas para alguns auditórios.

Palavras-chave: Tempo de reverberação, definição, clareza, resposta impulsiva, curva de decaimento.

Abstract

The main purpose of this work was to study the acoustic quality of a group of auditoriums at the University of Aveiro focusing on measurable and objective parameters. Whilst studying the group of auditoriums, a main factor that was kept in mind was their age and building time. In this work 5 auditoriums at the University of Aveiro were analysed, from the oldest to the most recent (auditorium of Edifício 3 and auditorium of Complexo Pedagógico, respectively), and only one of them had been acoustically studied (auditorium of Reitoria). Two distinct methods were applied for measuring the parameters: Interrupted noise and Impulse Response. For the latter a low cost system was used. The results for T60 vary between 0.56s and 2.08s while T30, T20 and EDT vary between 2.10s and 0.60s; 0.76s and 2.08s; 0.62s and 1.95s respectively. As for D50 and C80 the results obtained vary between 34.12% and 70.93%; 0.74dB and 8.56dB, respectively. It was possible to reach a conclusion based on the results of the measurements, the auditoriums were acoustically characterized, both measurement methods were analysed and compared and acoustic solutions were provided when needed.

Keywords: reverberation time, definition, clarity, impulse response, decay curve.

1 Introdução

Este trabalho tem como objectivo principal a caracterização acústica de alguns auditórios de diferentes departamentos da Universidade de Aveiro construídos em alturas distintas. É necessário conhecer, à priori, as funções para as quais os auditórios foram construídos. Só assim será possível reconhecer se a sala apresenta boas condições acústicas ou não. Quando nos referimos à qualidade sonora ou às boas condições acústicas de uma sala associamos estes conceitos a um conjunto de atributos acústicos subjectivos que venham de encontro às expectativas da experiência acústica do ouvinte.

Os auditórios estudados foram: Auditório do Edifício 3; Auditório do Departamento de Matemática; Auditório do CEFASI; Auditório do Complexo Pedagógico e o Auditório da Reitoria.

Para caracterizar os auditórios recorreu-se a alguns parâmetros objectivos que se correlacionam com parâmetros subjectivos. Os parâmetros objectivos analisados foram: T60; C80 e D50. Existem intervalos e valores óptimos para estes parâmetros.

- T60 [1.0s – 1.6s]
- D50 $\geq 65\%$
- C80 $\geq 6\text{dB}$

Utilizaram-se duas metodologias distintas de medição: Interrupted noise e Impulse Response para a obtenção dos parâmetros. Nas medições com base na resposta impulsiva (Impulse Response) foi utilizado um sistema de baixo custo.

Apresentam-se na seguinte tabela os volumes e áreas de superfície de cada auditório:

Tabela 1 – Volumes e áreas de superfície de cada auditório.

Auditório	Volume (m ³)	A _{paredes} (m ²)	A _{planta} (m ²)
Complexo Pedagógico (23.1.7)	655.46	106.66	156.30
C.E.F.A.S.I. (12.2.7)	285.3	98.45	89.50
Matemática (11.1.10)	336.40	105.60	103.48
Edifício III	291.70	104.36	125.70
Reitoria	3072.64	645.25	466.80

2 Medições

Obteve-se o tempo de reverberação (T_{60}), através de dois métodos distintos enquanto que os restantes parâmetros (ED, D50, C80) foram obtidos por apenas um método. Foi possível analisar os auditórios com base no tempo de reverberação medido bem como proceder à caracterização dos mesmos.

2.1 Ruído Interrompido

Para a realização deste tipo de medição recorre-se à emissão de um sinal de ruído de vasto ou curto espectro até que o campo sonoro estabilize; nesta altura a fonte é desligada e são medidos os tempos de reverberação para cada frequência. É importante assegurar que o ruído exterior, e em alguns casos ruídos na própria sala, não influenciem a medição. Como exemplo temos o auditório do Departamento de Matemática onde foi necessário desligar a ventilação que provocava uma perturbação nas baixas frequências.

Através desta metodologia obteve-se o tempo de reverberação das salas em estudo. A determinação do tempo de reverberação com base na curva de decaimento é feita directamente no sonómetro e segue o indicado na norma sendo registado uma linha (“least-square fit line”) que se ajusta à curva de decaimento no intervalo de 5 a 30dB (correspondendo a determinação do T_{30}) e com base nessa mesma linha é calculado o tempo de reverberação.

2.2 Resposta Impulsiva

No caso específico destas medições recorreu-se à emissão de um sinal de varrimento de senos (maximum-length sequence signal, tone sweep) e na captação do sinal amplificado bem como do sinal directo. O recurso a sinais de varrimento pode impor uma melhoria no rácio sinal-ruído contudo para a utilização destes sinais é necessário garantir os requisitos de espectro e direccionalidade da fonte, algo que estava limitado á partida dado que a fonte é de utilização corrente. O sinal de varrimento de senos não é mais que um sinal que se inicia nas baixas frequências e progride para as frequências mais altas. Regista-se os sinais e é possível obter a resposta impulsiva através de um processo comparativo entre o sinal captado e sinal directo.

Obtido a resposta impulsiva da sala, para cada medição, determina-se a curva de decaimento através do método de Schroeder também conhecido como “Integrated impulse response method” e os parâmetros D50; C80; EDT e LF. Quanto ao tempo de reverberação este valor poderá ser calculado, com base no decaimento entre -5dB e -35dB considerando a linha de regressão linear adaptada para este intervalo.

Com base nos parâmetros é possível concluir sobre a qualidade acústica da sala.

Nas medições acompanhadas pelo Professor Furtado Gomes e Aquino Monteiro (método do ruído interrompido) foi utilizado um sistema da Bruel.

- Analisador de ruído 2260 Bruel & Kjaer
- Calibrador sonoro 4231
- Software noise explorer 7815
- Cabo de ligação AO 1442
- Mala de transporte KE 0371

- Tripé UA 0801
- Programa para acústica de edifícios BZ 7204
- Software Qualifier 7830
- Fonte sonora omnidireccional 4296
- Mala de transporte KE 0365
- Amplificador de potência 2716
- Mala de transporte KE 0364
- Tripé da fonte sonora omnidireccional 4296
- Cabos de ligação AO 0523, AQ 0621 e AQ 0622
- Transmissão dados sem fios
- Receptor SR4000
- Transmissor PT4000

Foram também realizadas medições (método da resposta impulsiva) recorrendo ao programa ACMUS para a determinação de um conjunto de parâmetros. Para tal foi necessário:

- Computador Portátil (com o programa instalado) Intel Core 2 duo.
- Interface áudio “Edirol USB Interface UA-3”.
- Microfone omnidireccional Nady
- Amplificador QSC 2 canais 250W rms (só foi utilizado um canal)
- Coluna Kustom 8Ω 150 W
- Cabos cânone-jack e cânone-canone

3 Resultados

3.1 Ruído Interrompido

Após um conjunto de medições obtiveram-se os seguintes resultados para cada auditório sendo apresentados na forma de tabela e gráfico nas bandas centrais de 500 Hz a 2000Hz. Apresentam-se alguns intervalos de referência de tempos de reverberação consoante o volume da sala.

Tabela 2 - Valores médios dos tempos de reverberação para cada auditório nas bandas de frequência central 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

Tempos de Reverberação			
Auditórios	Bandas de Frequência (Hz)		
	500	1000	2000
Matemática	2.08	1.44	1.31
Complexo Pedagógico	1.92	1.85	1.38
Edifício 3	1.09	0.98	0.77
C.E.F.A.S.I.	1.00	0.65	0.56
Reitoria	1.08	1.27	1.27

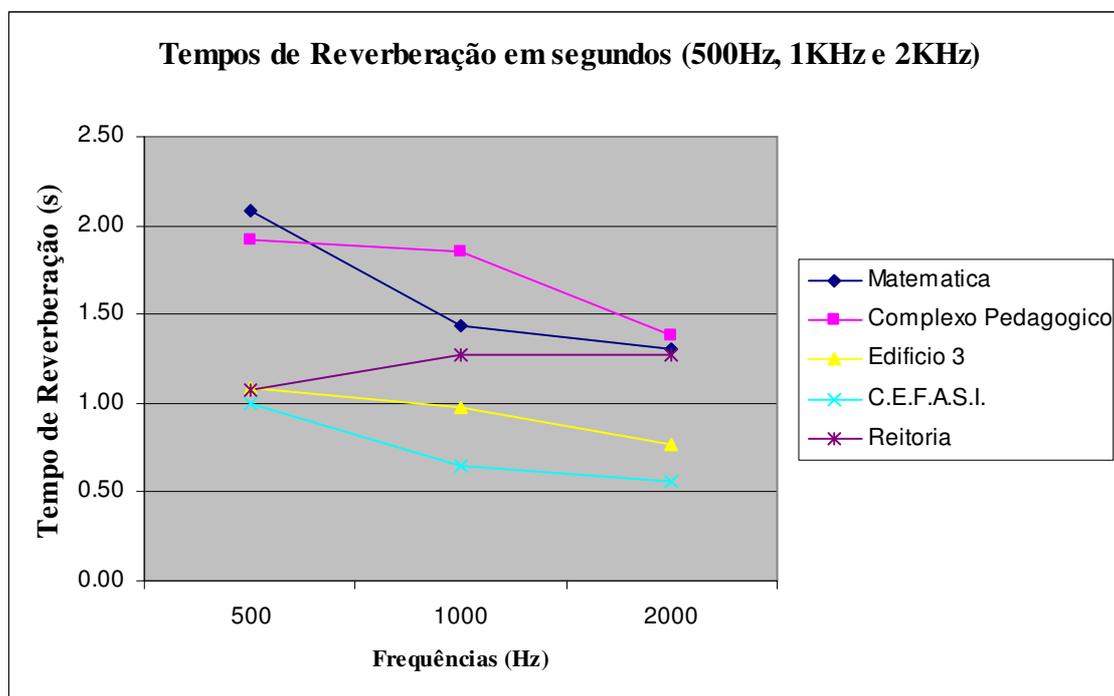


Figura 1 - Gráfico dos valores médios dos tempos de reverberação (s) para cada auditório nas bandas de frequência central 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

3.2 Resposta Impulsiva

Apresentam-se os resultados obtidos das medições em tabelas nas bandas centrais de 500 Hz a 2000Hz para cada auditório.

Tabela.3 - Valores médios do parâmetro D50 (%) para cada auditório

D50 [%]			
Departamentos	Bandas de Frequência (Hz)		
	500	1000	2000
Matemática	38.47	41.54	51.80
Complexo Pedagógico	34.12	37.85	48.57
Edifício 3	54.46	57.44	62.67
C.E.F.A.S.I.	61.44	70.93	71.07
Reitoria	63.29	70.05	66.11

Tabela 4 - Valores médios do parâmetro C80 (dB) para cada auditório

C80 [dB]			
Departamentos	Bandas de Frequência (Hz)		
	500	1000	2000
Matemática	0.74	3.04	2.77
Complexo Pedagógico	-0.74	0.14	1.91
Edifício 3	3.73	4.19	4.56
C.E.F.A.S.I.	4.02	8.56	7.74
Reitoria	4.08	4.54	5.53

Tabela 5 - Valores médios do parâmetro T30 (s) para cada auditório

T30 [s]			
Departamentos	Bandas de Frequência (Hz)		
	500	1000	2000
Matemática	1.90	1.50	1.22
Complexo Pedagógico	2.06	1.82	1.41
Edifício 3	1.04	0.93	0.78
C.E.F.A.S.I.	0.93	3.52	0.65
Reitoria	1.16	1.19	1.12

Os valores de T60 obtidos recorrendo à medição com ruído interrompido variam entre 0.56s e 2.08s nas banda central de frequências, enquanto que os valores de T30 obtidos pela método da reposta impulsiva, variam entre: 0.65 e 3.52. Os valores de D50 e C80 obtidos variam entre 34.12% e 70.93%; 0.74dB e 8.56dB respectivamente.

Os valores do tempo de reverberação encontram-se dentro do intervalo desejável, para a frequência de 1000Hz, nos auditórios da reitoria e do Departamento de Matemática. É importante referir que no auditório do CEFASI o valor obtido para o tempo de reverberação para a frequência de 1000Hz é extremamente elevado comparativamente aos restantes auditórios. Quanto aos parâmetros D50 e C80, para a frequência de 1000Hz, apenas o auditório do CEFASI apresenta valores ideais.

Os melhores comportamentos verificaram-se no Auditório da Reitoria e do CEFASI.

Por outro lado, os auditórios onde os resultados não foram satisfatórios foram o auditório do Complexo Pedagógico e o auditório do Edifício 3 pois os valores obtidos para o tempo de reverberação no auditório do Complexo Pedagógico são superiores ao intervalo de referência ideal enquanto que no auditório do edifício 3 os tempos de reverberação medidos são inferiores ao intervalo de referência. Quanto aos parâmetros D50 e C80 os valores obtidos no auditório do Complexo pedagógico foram os mais baixos de todos.

4 Conclusões

Os tempos de reverberação obtidos estão fora do intervalo de referência para as frequências centrais com a exceção do auditório da Reitoria. É importante referir que o intervalo de referência do tempo de reverberação não entra em conta com o volume das salas dado que os volumes são muito próximos, sendo apenas o auditório da Reitoria aquele que possui um volume muito superior aos restantes. O intervalo de referência utilizado é bastante abrangente sendo que quanto maior o volume da sala mais

próximo deverá estar o valor do tempo de reverberação ideal do máximo do intervalo. No auditório do Departamento de Matemática e do Complexo Pedagógico obteve-se valores de tempos de reverberação acima do intervalo de referência como se pode constatar, enquanto que nos auditórios do Edifício 3 e do C.E.F.A.S.I. os valores de tempos de reverberação foram inferiores aos do intervalo de referência. Conclui-se que apenas o auditório da reitoria apresenta tempos de reverberação adequados para a finalidade de declamação da palavra falada. Quanto aos restantes auditórios, propõe-se intervenções no sentido de: diminuir os tempos de reverberação no caso dos auditórios do Departamento de Matemática e do Complexo Pedagógico e, eventualmente aumentar os tempos de reverberação no caso dos auditórios do Edifício 3 e do C.E.F.A.S.I., visto que apresentam volumes mais pequenos e os tempos de reverberação medidos são muito baixos, não estando dentro do intervalo de referência próximo do valor mínimo como seria de esperar Concluindo sobre as metodologias aplicadas verificou-se que as maiores discrepâncias de valores do tempo de reverberação nas bandas centrais estavam associados quase sempre à frequência de 500Hz.

Após a análise e caracterização dos auditórios concluiu-se que um conjunto de intervenções no sentido de reabilitar e melhorar as qualidades acústicas dos auditórios do Departamento de Matemática e do Complexo Pedagógico seria importante.

Como tal determinou-se que seria necessário diminuir o tempo de reverberação e aumentar as reflexões úteis nos auditórios do Departamento de Matemática e do Complexo Pedagógico colocando materiais com maior capacidade de absorção. Recorrer a alterações na geometria das salas para diminuir o tempo de reverberação foi uma opção que se descartou dado que esse tipo de intervenção é mais dispendioso e moroso. Propõe-se assim que nos auditórios do Departamento de Matemática e do Complexo Pedagógico, sejam alteradas as cadeiras para cadeiras revestidas com materiais com capacidade de absorção média (medium upholstered seats), diminuindo os tempos de reverberação e proporcionando mais conforto aos utilizadores destes espaços. Outra solução passaria por revestir as paredes com materiais com maior capacidade de absorção, reduzindo assim os custos da intervenção. No caso do auditório do Departamento de Matemática a solução mais económica seria alterar a alcatifa mural para uma mais grossa não influenciando na estética da sala.

No caso dos auditórios do Edifício 3 e do C.E.F.A.S.I. intervenções no sentido de aumentar o tempo de reverberação poderiam passar por retirar material absorvente das paredes, nomeadamente alcatifa mural. Contudo esta solução não é imperativa visto que o tempo de reverberação medido nestas salas de volume mais pequeno pode ser mais baixo desde que as reflexões úteis sejam maximizadas.

Não é necessário intervir no auditório da Reitoria visto que os tempos de reverberação obtidos estavam no intervalo de referência. Este resultado deriva com certeza do facto de que este auditório foi objecto de um estudo acústico, o que não sucedeu com os restantes.

Agradecimentos

Queria agradecer à professora Ana Velosa, aos professores J. A. Furtado Gomes e Carlos Aquino Monteiro, ao mestre Luís Sousa, ao Bengt-Inge Dalenback e ao Fernando Iazzetta .

Referências

- [1] Bruno S. Masiero; Fernando Iazzetta; “Estudo e Implementação de Métodos de Medição de Resposta Impulsiva em Salas de Pequeno Porte”, 2004.
- [2] ISO 3382; “Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters”, 1997.

- [3] Iazzetta F.; Figueiredo F. L.; Masiero B. S.; 2004 “Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical” Acoustica, 2004
- [4] Sabine, W. C.;. “Reverbaration”. Collected papers on acoustics Cambridge MA: Harvard UP,rpt. Dover, 1964.
- [5] Bistafa S. R.; ACÚSTICA ARQUITETÔNICA: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica 2004.
- [6] Beranek, L. L. Music, Acoustics and Architecture. USA: Wiley, 1962