

# CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE CAFÉS-CONCERTO

**António P. O. Carvalho**  
**Alberto L. A. P. Machado**

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
carvalho@fe.up.pt  
albertomachado@portugalmail.com

## Resumo

Este trabalho tem por objectivo principal dar ao arquitecto-projectista (pouco familiarizado com a acústica) uma ferramenta simples e fácil de utilizar que lhe permita numa fase inicial da concepção ter elementos de apoio para o projecto dum Café-Concerto. Tendo como base um conjunto de onze cafés-concerto caracterizados *in situ*, foi possível estimar que o previsível tempo de reverberação (TR) normalizado (isto é considerando metade da lotação máxima) destas salas ronda os 0,7 a 0,8 s para as bandas de frequência de 500 a 2k Hz. Determinou-se que o  $\Delta TR$  Máximo previsível (diferença entre o TR da sala com lotação esgotada e o TR da sala sem audiência), atinge valores médios da ordem dos 0,4 s para as mesmas bandas de frequências pelo que é possível estimar que o TR normalizado se situe entre os 0,7 e os  $0,8 \pm 0,2$  s, consoante a sala se encontre completamente lotada ou vazia.

**Palavras-chave:** Café-Concerto, Tempo de Reverberação, Correção Acústica.

## Abstract

The goal of this work is to equip the project-architect with a tool easy to use, which supports him with helpful elements in the early stages of the conceptual phase of projecting Music-Clubs (rooms with a full capacity under 250 people, with live music or acting shows, with the possibility of consuming drinks or even light meals). Based on the eleven music-clubs studied in this work, it was possible to predict that the normalized reverberation time (RT) of these rooms (that is considering half of the room capacity) goes about 0.7 to 0.8 s for 500 to 2k Hz frequency bands. Considering that the predicted  $\Delta RT$  Maximum (difference between the RT with a full capacity room and the empty room RT), reaches average values of 0.4 s for the same frequencies, it is possible to predict that the normalized RT is about 0.7 or  $0.8 \pm 0.2$  s, depending on the room being full or empty.

**Keywords:** Music-Clubs, Reverberation Time, Acoustic Correction.

## 1 Introdução

### 1.1 Objectivos

Este trabalho tem como objectivo principal dar ao arquitecto-projectista (pouco familiarizado com a acústica) uma ferramenta, simples e fácil de utilizar, que lhe permita numa fase inicial da concepção ter elementos de apoio para o exercício de projectar um Café-concerto. Para tal, é determinante entender qual a importância e influência das características arquitectónicas na criação de um espaço

“acústico”, no sentido de permitir a determinação de princípios de base para a criação ou correcção destes mesmos espaços acústicos.

No âmbito deste trabalho considera-se “*café-concerto*” como sendo uma pequena sala de espectáculos, com uma lotação não superior a 250 pessoas (sentadas e/ou em pé), onde exista a possibilidade de consumo de bebidas e/ou algumas refeições ligeiras, enquanto se assiste por exemplo a um espectáculo musical, pequenas peças de teatro ou dança.

## 1.2 Amostra

Foram feitas visitas a onze cafés-concerto (Figuras 1 a 11 e Tabela 1), durante as quais se procedia ao preenchimento da ficha de trabalho e se assistia ao decorrer de um espectáculo.



Figura 1 – Vista do palco do Café-Concerto do ESMAE (Porto).



Figura 2 - Café-concerto *Santiago Alquimista* (Lisboa).



Figura 3 - Café-Concerto do C.C. Vila Flôr (Guimarães).



Figura 4 - Vista para o palco do Café-Concerto *Servartes* (Porto).



Figura 5 - Café-Concerto da Casa das Artes (V. N. Famalicão).



Figura 6 - O palco do *Hotfive* visto do balcão (Porto).



Figura 7 - Interior do Piano-Bar do Clube Literário do Porto.



Figura 8 - Vista do palco do *Tertúlia Castelense* (Maia).



Figura 9 - Café-concerto *Onda Jazz* (Lisboa).



Figura 10 - Vista do palco do *Hot Club Portugal* (Lisboa).



Figura 11 - Zona de concertos do *Plano B* (Porto).

A Tabela 1 lista os cafés-concerto estudados e os seus parâmetros arquitectónicos mais significativos (*Altura, Área, Volume*). Se se abstraírem os dois primeiros casos devido ao seu pé-direito duplo (ES e SA), a média de *Alturas* ronda os 3,10 m. Em relação à *Área* (superfície relativa ao rés-do-chão) a média anda pelos 140 m<sup>2</sup>, e se não se tiver em conta os objectos de estudo CP e HP devido às suas reduzidas dimensões, pode-se constatar que a média sobe então para cerca de 170 m<sup>2</sup>. No que diz respeito ao *Volume* e do mesmo modo que com a *Altura*, não tendo em conta os dois espaços com pé-direito duplo (ES e SA), surge um *Volume* médio de cerca de 345 m<sup>3</sup>.

Tabela 1 - Dimensões dos cafés-concerto em análise.

Código	Denominação (Local)	Altura média (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
ES	ESMAE (Porto)	7,20*	219	916
SA	Santiago Alquimista (Lisboa)	10,00*	318	1723
VF	C.C. Vila Flôr (Guimarães)	3,30	185	560
SV	Servartes (Porto)	2,75	100	275
CA	C.C. Casa das Artes (V. N. Famalicão)	3,50	150	550
HF	Hotfive, Jazz & Blues (Porto)	4,05	115	322
CP	Clube Literário do Porto	3,30	52	170
TC	Tertúlia Castelêense (Maia)	3,00	126	377
OJ	Onda Jazz (Lisboa)	2,85	141	402
HP	Hot Club Portugal (Lisboa)	2,10	46	97
PB	Plano B (Porto)	4,90	71	220
	Média	4,27	138	510
	Mediana	3,30	126	377
	Desvio-Padrão	2,34	80	462

\* pé-direito duplo

### 1.3 Metodologia

A aproximação ao trabalho começou com o desenvolvimento de uma “ficha de trabalho” respeitante ao levantamento arquitectónico do local (áreas e volumetrias, materiais constituintes das várias superfícies, mobiliário, lotação e número de pessoas presentes) e a uma avaliação acústica segundo uma escala numérica escolhida pelo autor, e utilizada para atribuir uma classificação subjectiva em vários parâmetros acústicos durante a realização de um espectáculo (é uma avaliação subjectiva pois diz respeito unicamente à opinião e percepção do autor).

Para o cálculo do tempo de reverberação previsto em cada um dos espaços estudados foi usada a fórmula de Sabine.

## 2 Valores Obtidos

No que diz respeito às avaliações acústicas subjectivas (Tabela 2) notou-se que de uma maneira geral, o *Ruído Exterior* assumiu sempre valores muito baixos, sendo por isso difícil encontrar algum tipo de relação com outros parâmetros que poderiam por ventura estar directamente ligados a este como por exemplo a *Intensidade do Som*. De igual modo o *Ruído Interior* não parece ter tido nos casos estudados correlação com parâmetros como *Intensidade do Som*, *Reverberância* ou mesmo *Eco*. Outros parâmetros como *Clareza do Discurso Musical*, *Reverberância*, *Direccionalidade*, *Envolvimento* e *Impressão Geral* oscilam entre valores bastante próximos, numa relação de alguma previsibilidade dado o tipo de avaliação a que se refere cada um destes.

Apesar da elevada média presente nos valores de alguns dos parâmetros (*Intensidade do Som, Clareza do Discurso Musical, etc.*), quanto menor for o valor do seu Desvio-Padrão, menor é a divergência entre os valores obtidos para as salas, e consequentemente mais representativo esse valor médio do parâmetro se apresenta (como por exemplo com a *Intensidade do Som* ou *Equilíbrio Tímbrico*).

Tabela 2 - Resumo estatístico da avaliação acústica subjectiva (*RE – Ruído Exterior, RI – Ruído Interior, IS – Intensidade do Som, CDM - Clareza do Discurso Musical, Re – Reverberância, Ec – Eco, I - Intimidade, D – Direccionalidade, En – Envolvimento, ET - Equilíbrio Tímbrico, IG - Impressão Geral*).

Parâmetros #	Parâmetros acústicos subjectivos *										
	RE	RI	IS	CDM	Re	Ec	I	D	En	ET	IG
Média	1,2	2,7	5,0	4,8	4,5	1,4	5,2	4,6	4,7	3,7	4,8
Mediana	1	2	5	5	5	1	5	4	5	4	5
Desvio-Padrão	0,6	1,2	0,6	1,4	1,0	1,2	1,3	1,6	1,0	0,7	1,3

\* escala de 1 a 7, onde 1 corresponde a *pouco/baixo* e 7 a *muito/elevado*

# relativos à amostra de 11 cafés-concerto

### 3 Análise de Resultados

#### 3.1 Análise global

Nas Tabelas 3 e 4, estão presentes os valores estatísticos de resumo correspondentes aos TR previstos nos vários cafés-concerto (referentes a cada uma das três bandas de frequências estudadas e a média aritmética). Na Tabela 3 encontram-se os dados relativos aos TR calculados com o número de pessoas que se encontravam a assistir ao espectáculo realizado no café-concerto aquando da avaliação acústica (denominado *Tempo de Reverberação Registado*), incluindo o número de empregados presentes no local em estudo. Na Tabela 4 estão presentes os parâmetros relativos aos valores de previsão dos TR admitindo o número de pessoas presentes na sala sempre idêntico a metade da lotação da mesma (denominado *Tempo de Reverberação Normalizado*).

Tabela 3 - Tempo de Reverberação Registado.

Tempo de Reverberação Registado (s) #				
Parâmetro +	500 Hz	1 kHz	2 kHz	média
Média	0,7	0,7	0,7	0,7
Mediana	0,6	0,6	0,6	0,6
Desvio-padrão	0,4	0,4	0,5	0,4

# Previsão feita a partir da Fórmula de Sabine

+ relativos à amostra de 11 cafés-concerto

Tabela 4 - Tempo de Reverberação Normalizado.

Tempo de Reverberação Normalizado (s) #*				
Parâmetro +	500 Hz	1 kHz	2 kHz	média
Média	0,8	0,7	0,7	0,7
Mediana	0,8	0,7	0,7	0,7
Desvio-padrão	0,4	0,5	0,5	0,5

\* Considerando 50% da lotação ocupada

#### 3.2 Correlação entre Parâmetros

Foram usados modelos matemáticos simples (funções lineares, polinomiais do 2º grau e exponenciais) e modelos gerais lineares para correlacionar os parâmetros arquitectónicos e acústicos. O domínio de validade destas expressões está relacionado com o intervalo que compreende aproximadamente os

valores máximos e mínimos para cada parâmetro, do conjunto de objectos de estudo seleccionados para este trabalho.

### 3.2.1 Relação entre Tempos de Reverberação e Parâmetros Arquitectónicos

Neste ponto incluem-se as Figuras 12 a 14 relativas as correlações entre os parâmetros arquitectónicos *Altura*, *Volume* e *Superfície*, com o *TR normalizado*. Elas foram efectuadas com os valores médios das três bandas de frequências anteriormente citadas e o grau de fiabilidade é bastante elevado, variando entre os 75% e os 85%. É possível observar que é nas bandas dos 1 e 2 kHz que se encontram os graus de fiabilidade mais elevados em todos os casos.

Nas Tabelas 5 e 6 podem ser consultadas as fórmulas de previsão do *TR normalizado* usando valores médios e para cada uma das três bandas de frequências com modelos matemáticos simples.

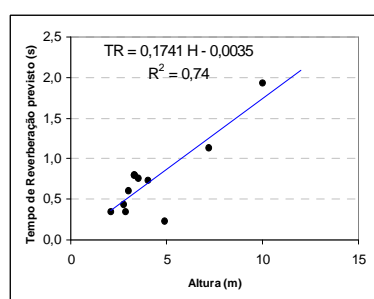


Figura 12 - Correlação entre o *TR Normalizado médio* (500, 1k, 2k Hz) e a *Altura*.

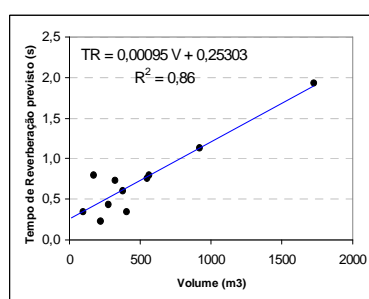


Figura 13 - Correlação entre o *TR Normalizado médio* (500, 1k, 2k Hz) e o *Volume*.

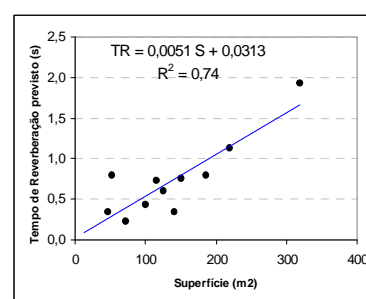


Figura 14 - Correlação entre o *TR Normalizado médio* (500, 1k, 2k Hz) e a *Superfície*.

Tabela 5 – Fórmulas de previsão dos valores de *TR normalizado médio* usando modelos simples.

TR médio (s) = 0,1741 H - 0,0035	R <sup>2</sup> = 0,74
TR médio (s) = 0,0051 S + 0,0313	R <sup>2</sup> = 0,74
TR médio (s) = 0,00095 V + 0,23503	R <sup>2</sup> = 0,86

H - *Altura* (m), S - *Superfície* (m<sup>2</sup>), V - *Volume* (m<sup>3</sup>)

Tabela 6 – Fórmulas de previsão dos valores de *TR normalizado* (metade da lotação) para as três bandas de frequências.

500 Hz	TR (s) = 0,1531 H + 0,1283	R <sup>2</sup> = 0,67
	TR (s) = 0,0045 S + 0,1563	R <sup>2</sup> = 0,67
	TR (s) = 0,00086 V + 0,3454	R <sup>2</sup> = 0,81
1 kHz	TR (s) = 0,1707 H - 0,0313	R <sup>2</sup> = 0,76
	TR (s) = 0,0051 S - 0,0044	R <sup>2</sup> = 0,77
	TR (s) = 0,00093 V + 0,224	R <sup>2</sup> = 0,87
2 kHz	TR (s) = 0,1986 H - 0,1077	R <sup>2</sup> = 0,76
	TR (s) = 0,0058 S - 0,0582	R <sup>2</sup> = 0,75
	TR (s) = 0,0011 V + 0,1897	R <sup>2</sup> = 0,87

### 3.2.2 Relação entre Parâmetros Arquitectónicos e Parâmetros Acústicos Subjectivos

Nas correlações entre os parâmetros arquitectónicos e acústicos subjectivos e como seria de esperar dada a subjectividade destes parâmetros, os valores de  $R^2$  são muito baixos, com valores de fiabilidade dos modelos a oscilarem entre os 10% e os 20%, o que significa que 80 a 90% da variabilidade do fenómeno é explicada por outros factores que não a *Altura*, *Superfície* ou *Volume*.

### 3.3 Modelos Gerais Lineares

Para complementar os anteriores modelos simples foram estudados modelos gerais lineares entre os parâmetros arquitectónicos e os *TR normalizados*. Apresentam-se nas Tabelas 7 a 9 os resultados relativos às correlações entre os três parâmetros arquitectónicos (*Altura*, *Superfície* e *Volume*) com os restantes parâmetros conduzindo sempre a valores de  $R^2$  mais elevados do que nas correlações conseguidas com os modelos matemáticos simples, elevando deste modo o grau de fiabilidade dos mesmos.

Tabela 7 – Fórmulas de previsão dos valores de *TR normalizado* usando modelos gerais lineares.

$TR\ 500 = 0,68760 - 0,05070 H - 0,00459 S + 0,00186 V$	$R^2 = 0,84$
$TR\ 1k = 0,23672 - 0,01793 H - 0,00088 S + 0,00099 V$	$R^2 = 0,87$
$TR\ 2k = 0,38502 - 0,00589 H - 0,00345 S + 0,00168 V$	$R^2 = 0,89$

H - *Altura* (m), S - *Superfície* (m<sup>2</sup>) e V - *Volume* (m<sup>3</sup>)

Tabela 8 – Valores dos  $R^2$  dos Modelos Gerais Lineares com H+S+V e os parâmetros acústicos subjectivos (*RE – Ruído Exterior*, *RI – Ruído Interior*, *IS – Intensidade do Som*, *CDM - Clareza do Discurso Musical*, *Re – Reverberância*, *Ec – Eco*, *I – Intimidade*, *D – Direccionalidade*, *En – Envolvimento*, *ET - Equilíbrio Tímbrico*, *IG - Impressão Geral*).

RE	RI	IS	CDM	Re	Ec	I	D	En	ET	IG
0,28	0,32	0,20	0,11	0,44	0,91	0,15	0,25	0,11	0,12	0,08

Tabela 9 – Fórmulas de previsão dos parâmetros acústicos subjectivos com os melhores  $R^2$  (cf. Tab. 8).

$Eco = 2,00873 - 0,23190 H - 0,02552 S + 0,00760 V$	$R^2 = 0,91$
$Reverberância = 6,56771 - 0,69946 H - 0,02160 S + 0,00757 V$	$R^2 = 0,44$
$Ruído Interior = 2,55937 - 0,33399 H + 0,01909 S - 0,00206 V$	$R^2 = 0,32$

H - *Altura* (m), S - *Superfície* (m<sup>2</sup>) e V - *Volume* (m<sup>3</sup>)

### 3.4 Efeito da Absorção Sonora da Audiência

De modo a quantificar o efeito da absorção sonora da audiência na variação dos TR previstos, são aqui apresentadas duas situações distintas: *TR sem audiência* e *TR com lotação esgotada*.

Na Tabela 10 podem ser observados os resumos estatísticos principais dos resultados para as três bandas de frequência seguidos da sua média aritmética, para ambos os casos (*sem audiência* e *com lotação esgotada*). Nesse quadro existe ainda um conjunto de colunas dedicadas à média entre ambas as situações, de modo a que possa ser conhecida a variação prevista dos TR provocada exclusivamente pela audiência. Os cafés-concerto podem ver os seus TR previstos oscilar mais de 1 s consoante o número de pessoas presentes em determinado espectáculo.

Nas Figuras 15 a 23 podem ser comparadas as linhas de tendência das correlações entre os previstos TR (nas bandas de frequências 500 a 2k Hz) *sem audiência* e *com lotação esgotada*, respectivamente

com os parâmetros arquitectónicos *Altura*, *Superfície* e *Volume*. As fórmulas de previsão estão presentes nas Tabelas 11 a 13.

Tabela 10 – Efeito da absorção sonora da audiência (# previsão feita a partir da Fórmula de Sabine)

Parâmetro *	TR sem audiência (s) #				TR com lotação esgotada (s) #				$\Delta$ TR Máximo (s) (TR sem aud. - TR lot. esg.)			
	500 Hz	1k Hz	2k Hz	média	500 Hz	1k Hz	2k Hz	média	500 Hz	1k Hz	2k Hz	média
	Média	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5
Mediana	1,1	0,9	1,0	1,0	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
Desvio-Padrão	0,7	0,7	0,8	0,7	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4

\* relativos à amostra de 11 cafés-concerto

Tabela 11 – Fórmulas de previsão dos valores de *TR sem audiência* e com *lotação esgotada*, na sua correlação com a *Altura*, nas três bandas de frequências.

500 Hz	TR s.a. = 0,2224 H + 0,0719	$R^2 = 0,63$
	TR l.e. = 0,1208 H + 0,0835	$R^2 = 0,73$
1 kHz	TR s.a. = 0,2532 H - 0,1427	$R^2 = 0,76$
	TR l.e. = 0,1334 H - 0,0031	$R^2 = 0,78$
2 kHz	TR s.a. = 0,2623 H - 0,1263	$R^2 = 0,73$
	TR l.e. = 0,1361 H - 0,0078	$R^2 = 0,76$

s.a. - sem audiência, l.e. - *lotação esgotada* e H - *Altura* (m)

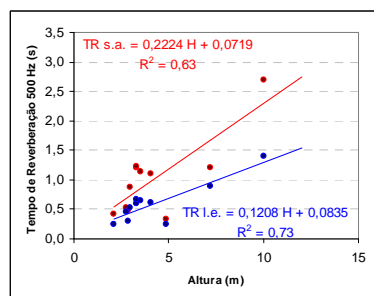


Figura 15 - Relação "*TR 500 Hz sem audiência vs Altura*" e "*TR 500 Hz lotação esgotada vs Altura*".

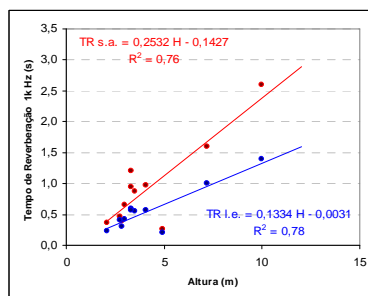


Figura 16 - Relação "*TR 1 kHz sem audiência vs Altura*" e "*TR 1 kHz lotação esgotada vs Altura*".

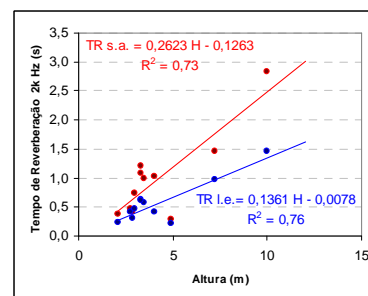


Figura 17 - Relação "*TR 2 kHz sem audiência vs Altura*" e "*TR 2 kHz lotação esgotada vs Altura*".

Tabela 12 – Fórmulas de previsão dos valores de *TR sem audiência* e com *lotação esgotada*, na sua correlação com a *Superfície*, nas três bandas de frequências.

500 Hz	TR s.a. = 0,0067 S + 0,0972	$R^2 = 0,66$
	TR l.e. = 0,00352 S + 0,11169	$R^2 = 0,72$
1 kHz	TR s.a. = 0,0075 S - 0,1041	$R^2 = 0,78$
	TR l.e. = 0,00391 S + 0,02509	$R^2 = 0,78$
2 kHz	TR s.a. = 0,009 S - 0,2256	$R^2 = 0,75$
	TR l.e. = 0,00467 S - 0,09313	$R^2 = 0,74$

s.a. - sem audiência, l.e. - *lotação esgotada* e S - *Superfície* (m<sup>2</sup>)

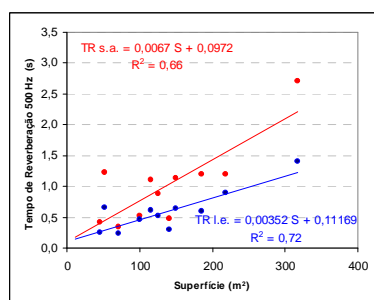


Figura 18 - Relação "TR 500 Hz sem audiência vs Superfície" e "TR 500 Hz lotação esgotada vs Superfície".

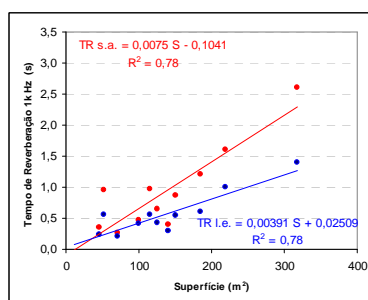


Figura 19 - Relação "TR 1 kHz sem audiência vs Superfície" e "TR 1 kHz lotação esgotada vs Superfície".

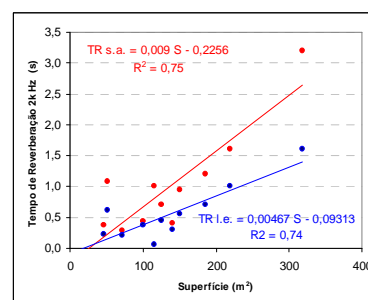


Figura 20 - Relação "TR 2 kHz sem audiência vs Superfície" e "TR 2 kHz lotação esgotada vs Superfície".

Tabela 13 – Fórmulas de previsão dos valores de TR sem audiência e com lotação esgotada, na sua correlação com o Volume, nas três bandas de frequências.

500 Hz	TR s.a. = 0,0013 V + 0,3808	$R^2 = 0,78$
	TR l.e. = 0,00065 V + 0,26519	$R^2 = 0,83$
1 kHz	TR s.a. = 0,0014 V + 0,2371	$R^2 = 0,86$
	TR l.e. = 0,00071 V + 0,20199	$R^2 = 0,87$
2 kHz	TR s.a. = 0,0017 V + 0,1602	$R^2 = 0,88$
	TR l.e. = 0,00087 V + 0,11058	$R^2 = 0,85$

s.a. - sem audiência, l.e. - lotação esgotada e V - Volume ( $m^3$ )

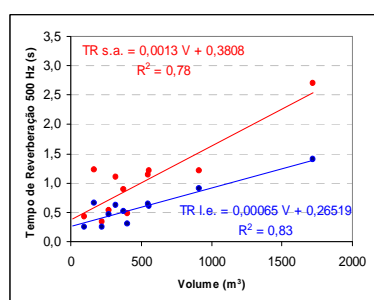


Figura 21 - Relação "TR 500 Hz sem audiência vs Volume" e "TR 500 Hz lotação esgotada vs Volume".

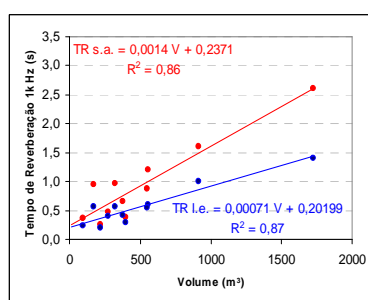


Figura 22 - Relação "TR 1 kHz sem audiência vs Volume" e "TR 1 kHz lotação esgotada vs Volume".

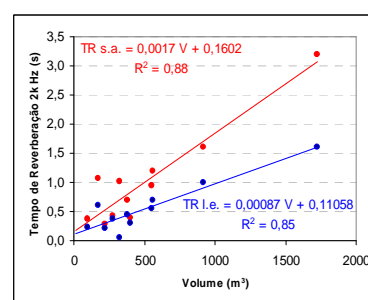


Figura 23 - Relação "TR 2 kHz sem audiência vs Volume" e "TR 2 kHz lotação esgotada vs Volume".



## 4 Aplicação

### 4.1 Introdução

Este capítulo tem como propósito utilizar a informação anteriormente produzida e aplicá-la de forma concreta ou seja, ainda no processo de ante-projecto arquitectónico para um café-concerto, verificar em que medida a aplicação destas *regras* podem aconselhar ou conduzir a dimensões e ou volumetrias diferentes do esquema original.

Tendo consciência de que em muitos casos a alteração às dimensões do projecto poderá não ser desejável ou mesmo viável (por exemplo em reabilitações de espaços existentes, ou mesmo projectos de áreas condicionadas), o arquitecto estará ainda assim alertado para possíveis resultados acústicos não desejáveis, podendo nestes casos precaver-se, incluindo no seu projecto os materiais ou sistemas indicados para a correcção acústica, para que se possa aproximar dos valores que se considerem ideais para o caso em particular.

Os TR estão estreitamente relacionados com a geometria e características de absorção sonora do espaço. Tendo em conta as díspares consequências da reverberação, torna-se evidente a utilidade de ter valores ideais para os TR consoante o uso pretendido para determinado espaço, ou consoante o tipo de espectáculo que se pretenda escutar nesse local. Apresenta-se na Tabela 14 uma proposta de indicação sobre os *TR ideais* consoante o uso possível para os Cafés-Concerto (baseada em [1] e [2]).

Tabela 14 - Tempos de Reverberação Ideais de acordo com o uso (para a banda de 1 kHz).

Tipo de uso	Exemplos	Tempo de Reverberação Ideal (s)	
		Intervalo	Valor de referência
Palavra	Declamações, pequenas peças	0,9 - 1,1	1,0
Música (inst. electroacústicos)	Bandas de <i>Blues</i> ou <i>Jazz</i>	1,0 - 1,3	1,1
Música de câmara, canto lírico	Voz acompanhada ao piano	1,5 - 1,7	1,6
Música (inst. acústicos)	Recitais de piano, harpa, etc.	1,3 - 1,7	1,5

### 4.2 Casos de Estudo

#### 4.2.1 Caracterização de Duas Situações

No processo de projectar arquitectonicamente um café-concerto, podem surgir vulgarmente um de dois cenários de trabalho com que o profissional tem de lidar:

- *Projectos com Condicionantes Arquitectónicas (PCCA)*;
- *Projectos sem Condicionantes Arquitectónicas (PSCA)*.

O PCCA abarca a grande generalidade das situações e diz respeito a um qualquer tipo de pré-existência no local para o qual se vai projectar, e que de uma forma ou outra condiciona a *Superfície*, a *Altura*, em suma a volumetria disponível para projecto. Também englobadas neste ponto estão desde as recuperações ou reabilitações, para o mesmo ou para uso diferente, até à loja livre da cave, rés-do-chão ou outro piso, numa construção nova que logo à partida confina e limita com exactidão as áreas disponíveis para o projecto.

O PSCA é menos vulgar. O projecto nasce especificamente para o fim em questão e como tal o projectista tem a total liberdade para jogar com as superfícies, as áreas e as alturas.

#### 4.2.2 Projectos com condicionantes Arquitectónicas (PCCA)

Na Tabela 15 encontra-se um organograma de estudo, onde estão organizadas as áreas e posições aproximadas das várias zonas constituintes de um estudo para um café-concerto de um só piso. Acrescentam-se a esses dados o pé-direito máximo possível para esse espaço de 4 m. Pode-se deste modo utilizar como referência a Tabela 15, sabendo neste caso específico que, apesar de não ser possível aumentar as dimensões da área ou de altura acima dos 4 m, pode-se recorrer à utilização de tectos falsos, e assim reduzir a altura do espaço e consequentemente o seu volume, se tal for conveniente.

Tabela 15 - Quadro de análise e esquema de áreas para exemplo de Café-Concerto em estudo.

Área do Rés-do-chão	153 m <sup>2</sup>	
Volume total	612 m <sup>3</sup>	
Materiais das superfícies: Paredes, Tecto, Pavimento e Palco	<i>a definir</i>	

Sabendo de antemão que estando o propósito deste espaço principalmente relacionado com, por exemplo, concertos de *blues* ou *jazz*, deve então procurar conseguir-se TR da ordem dos 1,6 s (Tabela 14). Com base nas expressões alcançadas nos subcapítulos 3.2.1 e 3.3, admitindo que este espaço fosse revestido e mobilado com materiais acusticamente semelhantes aos da amostra deste estudo, pode-se prever para este local os TR apresentados na Tabela 16. De notar que neste caso específico, os valores obtidos a partir das expressões simples são muito semelhantes aos do modelo geral linear.

Tabela 16 - Valores dos parâmetros respeitantes ao esquema de estudo (considerando 50% da lotação).

Valor do parâmetro	TR 500 Hz (Expressões da Tabela 6)	Resultado	Modelo Geral Linear	
			Expressão da Tabela 5	ΔTR
H = 4 m	TR (s) = 0,1531 H + 0,1283	TR = 0,7 s	TR 500 Hz = 0,9 s	± 0,2 s
S = 153 m <sup>2</sup>	TR (s) = 0,0045 S + 0,1563	TR = 0,8 s		
V = 612 m <sup>3</sup>	TR (s) = 0,00086 V + 0,3454	TR = 0,9 s		

Valor do parâmetro	TR 1 kHz (Expressões da Tabela 6)	Resultado	Modelo Geral Linear	
			Expressão da Tabela 5	ΔTR
H = 4 m	TR (s) = 0,1707 H - 0,0313	TR = 0,7 s	TR 1 kHz = 0,6 s	± 0,2 s
S = 153 m <sup>2</sup>	TR (s) = 0,0051 S - 0,0044	TR = 0,8 s		
V = 612 m <sup>3</sup>	TR (s) = 0,00093 V + 0,224	TR = 0,8 s		

Valor do parâmetro	TR 2 kHz (Expressões da Tabela 6)	Resultado	Modelo Geral Linear	
			Expressão da Tabela 5	ΔTR
H = 4 m	TR (s) = 0,1986 H - 0,1077	TR = 0,7 s	TR 2 kHz = 0,9 s	± 0,2 s
S = 153 m <sup>2</sup>	TR (s) = 0,0058 S - 0,0582	TR = 0,8 s		
V = 612 m <sup>3</sup>	TR (s) = 0,0011 V + 0,1897	TR = 0,9 s		

Pode-se assim antever que o TR no objecto de estudo se situaria num intervalo entre os 0,6 e os 0,9 s ou seja, bastante abaixo do que seria desejável (salvaguardando que o mobiliário e revestimento das suas superfícies interiores seja feito com materiais idênticos aos da amostra).

Este cálculo serviria para alertar o arquitecto projectista para o tipo de materiais a utilizar nas superfícies do café-concerto, devendo promover neste caso materiais com coeficientes de absorção sonora mais baixos de modo a aproximar-se do TR desejado. A escolha deveria recair então em materiais que de acordo com as nossas necessidades acústicas provocassem uma diminuição da absorção sonora, tais como lajetas de pedra, peças cerâmicas, betão aparente ou com pintura, painéis de vidro (ou espelhos), ou seja materiais cuja superfície seja pouco absorvente de modo a promover a reverberação do espaço.

A nível do mobiliário deve evitar-se cadeiras ou bancos com estofos espessos (embora isto ajude a tornar o espaço acusticamente menos alterável com a lotação presente) e, no caso de ser necessária a utilização de cortinas ou almofadas, procurar que estas não sejam pesadas (isto é cuja massa superficial não seja muito elevada). No que diz respeito ao restante mobiliário, a escolha de materiais com superfícies em vidro, metálicas, e preferencialmente sem reentrâncias ou buracos, ajudariam certamente a elevar o TR.

#### 4.2.3 Projectos sem condicionantes Arquitectónicas (PSCA)

Neste exemplo não existem agora limitações arquitectónicas ao projecto e o objectivo é cumprir da melhor forma possível a sua função como Café-Concerto para um determinado tipo de espectáculo (por hipótese, concertos de piano na maioria do seu tempo).

Consultando a Tabela 14 o *TR ideal de referência* (aos 1 kHz) será entre os 1,3 e 1,7 s, e como tal o objectivo do projecto é conseguir que mediante a sua geometria esses valores sejam atingidos. Para tal, de modo a permitir uma ideia (ou um intervalo de valores) da volumetria aproximada pode recorrer-se as expressões apresentadas na Tabela 6 (na Tabela 17 é apresentada a fórmula sistematizada) substituindo o TR pelos valores que procuramos atingir, ou seja 1,3 e 1,7 s.

Pode conseguir-se uma aproximação aos valores da *superfície*, recorrendo também a uma sistematização da fórmula apresentada na Tabela 5, de modo a obter um intervalo que cumpra as condicionantes relativas ao TR.

Tabela 17 - Valores dos parâmetros arquitectónicos para um intervalo específico de TR para as três bandas de frequência.

Intervalo de valores pretendido *	Expressão sistematizada da Tabela 6 para os 500 Hz	Intervalo desejável (valores aproximados)
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$V (m^3) = 1162,7906 TR - 401,6279$	$V (m^3) = [1080 - 1600]$
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$S (m^2) = 222,2222 TR - 34,7333$	$S (m^2) = [250 - 350]$

Intervalo de valores pretendido *	Expressão sistematizada da Tabela 6 para os 1 kHz	Intervalo desejável (valores aproximados)
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$V (m^3) = 1075,2688 TR - 240,8602$	$V (m^3) = [1130 - 1600]$
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$S (m^2) = 196,0784 TR + 0,8627$	$S (m^2) = [250 - 340]$

Intervalo de valores pretendido *	Expressão sistematizada da Tabela 6 para os 2 kHz	Intervalo desejável (valores aproximados)
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$V (m^3) = 909,0909 TR - 0,1897$	$V (m^3) = [1150 - 1575]$
TR (s) = [1,3 – 1,7]	$S (m^2) = 172,4137 TR - 1,0034$	$S (m^2) = [215 - 300]$

\* cf. Tabela 14

Tendo como base os intervalos desejáveis aproximados indicados na Tabela 17, optando um *Volume* de, por exemplo, 1200 m<sup>3</sup> e uma *Superfície* de 280 m<sup>2</sup> (ambos situados nos intervalos previstos para as três bandas de frequências), através de uma divisão do *Volume* pela *Superfície* chegar-se-ia à altura média indicada de 4,3 m.

Os intervalos estabelecidos na Tabela 17 providenciam valores de referência dentro dos quais se podem esperar o TR pretendido ou pelo menos a sua proximidade. No entanto deve ter-se presente que apesar dos valores relativos à variabilidade das correlações que justificam as expressões utilizadas, serem consideravelmente elevados ( $R^2 \approx 70$  a 90%) estes são baseados numa amostra, com revestimentos superficiais interiores e mobiliário específicos. Como tal devem ser encarados unicamente como mais um método auxiliar no processo de concepção do espaço.

Ao contrário do caso de estudo descrito no ponto 4.2.2 neste caso, através da volumetria escolhida, assegura-se a proximidade a um determinado intervalo de TR (previsíveis).

## 5 Conclusões

A *Intensidade do Som* é de entre os parâmetros acústicos subjectivos analisados aquele que numericamente mais se destaca, atingindo um valor médio elevado (5,0 em 7). Parâmetros como *Clareza do Discurso Musical*, *Intimidade* ou ainda *Direccionalidade* apresentam valores médios a rondar também os 5,0 mas tem simultaneamente alguns dos valores de desvio-padrão mais elevados, significando deste modo que as salas divergem muito entre si.

O *TR normalizado* (isto é considerando metade da lotação) previsível para este tipo de salas ronda os 0,7 a 0,8 s para as frequências de 500 a 2k Hz. Considerando que o  $\Delta$ TR Máximo previsível (diferença entre o TR da sala com lotação esgotada e o TR da sala sem audiência), atinge valores médios da ordem dos 0,4 s para as mesmas bandas de frequências, é possível estimar que o *TR normalizado* se situe entre os 0,7 e os  $0,8 \pm 0,2$  s, consoante a sala se encontre lotada ou vazia.

Com base no estudo efectuado, deve ainda ser mencionado que apesar de ser expectável uma relação directamente proporcional entre as dimensões geométricas mais importantes e os valores de TR, esta manifestou-se com variabilidade elevada ( $R^2 \approx 0,75$ ), atestando a importância das pequenas diferenças encontradas no revestimento das superfícies interiores das várias salas (e que justificam, pelo menos parcialmente, os cerca de 25% não explicados pelas expressões de previsão).

O relacionamento da informação acústica e arquitectónica recolhida em onze cafés-concerto, possibilitou alcançar expressões de previsão do comportamento dos TR, através de parâmetros geométricos simples. Com o recurso a estas expressões, podem ser obtidas indicações importantes sobre as geometrias aconselhadas no sentido de obter aproximadamente determinado TR específico.

Por outro lado, quando existem limitações em termos de dimensões em fase de anteprojecto, há também a possibilidade de prever o TR para a geometria em questão e ainda, de acordo com as necessidades acústicas, prever o recurso a materiais ou sistemas de absorção sonora que coloquem o TR próximo do ideal.

## Referências

- [1] Silva, P., *Acústica de Edifícios*, ITE 8, LNEC, Lisboa 1978.
- [2] Cavanaugh, W. J. e Wilkes, J. A., *Architectural Acoustics: Principles and Practice*, John Wiley & Sons, Inc. 1999.