

COMPARAÇÃO ENTRE A ACÚSTICA EM IGREJAS CATÓLICAS E EM MESQUITAS

CÂNDIDO GUILHERME MONTEIRO

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 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

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 - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

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.

Aos meus Pais e Irmão

“O mais importante é não parar de questionar.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho de investigação não teria sido possível sem o incentivo e contributo de algumas pessoas que, embora tenham colaborado de maneiras diferentes, todas tiveram um papel importante no mesmo. Este espaço é dedicado a essas pessoas, às quais quero deixar aqui um sincero agradecimento.

Começarei por expressar a minha profunda gratidão e apreço ao meu orientador, Dr. António Pedro Oliveira de Carvalho, Professor do Departamento de Engenharia Civil da F.E.U.P., pelo seu inexcedível apoio, indicações e por todos os elementos bibliográficos facultados ao longo deste estudo.

Uma palavra de gratificação não poderia deixar de ser dada ao júri de avaliação da presente dissertação, pela disponibilidade e interesse em avaliar a mesma, nomeadamente: Professor Adalberto Quelhas da Silva França, Professor João Lopes Porto e Professor António Pedro Oliveira de Carvalho.

Gostava ainda de deixar um agradecimento mais geral a todos os professores que são hoje responsáveis, em grande parte, por todo o conhecimento científico que adquiri.

Aos meus colegas de curso, Diogo Botelho e Tadeu Raposo, com quem vivo há quase cinco anos, pelo apoio nas alturas de maior tensão e alegrias nos momentos de distração.

A todos os outros colegas e amigos que, de uma forma directa ou indirecta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Finalmente, agradeço de forma especial à minha família. Em primeiro lugar pela oportunidade que me deram de poder estudar e frequentar este curso de Mestrado. Também pelo apoio incondicional com a dose certa de paciência e ainda pelas muitas horas subtraídas à sua companhia.

RESUMO

O presente trabalho aborda o tema da acústica embora não de uma forma geral mas sim direccionado para dois tipos específicos de locais de culto: as igrejas Católicas e as mesquitas.

Não se pretende concluir este estudo elegendo um dos locais como o que apresenta melhor acústica, uma vez que isso é impossível de ser feito. A finalidade é compreender e caracterizar a acústica das igrejas e das mesquitas, de forma a poder-se comparar alguns aspectos.

O objectivo não passou por efectuar medições acústicas nestes locais, com estilos arquitectónicos e épocas construtivas tão diferentes, mas sim identificar o desempenho acústico dos mesmos e estabelecer um paralelismo, com o intuito de encontrar as semelhanças e diferenças da acústica em ambos.

As igrejas e as mesquitas tratam-se de locais de culto com bastantes diferenças, desde a religião praticada no seu interior, ao tipo de ocupação, decoração e estilos arquitectónicos.

Neste estudo é feita uma análise correspondente à variação de parâmetros acústicos objectivos com alguns parâmetros arquitectónicos dos locais em causa. Para isso foram utilizados o tempo de reverberação, a claridade (C_{50} e C_{80}) e o STI (e RASTI), como parâmetros acústicos e o volume total, a área total, o comprimento máximo, a altura máxima e a largura média, como parâmetros arquitectónicos.

A obtenção desta informação relativa às igrejas Católicas e mesquitas teve como base alguma bibliografia já disponível, da qual se destacam as medições do tempo de reverberação (RT) e claridade (C_{80}) feitas por Oliveira de Carvalho (1994) em quarenta e uma igrejas, as medições do RASTI em trinta e uma igrejas feitas por Margarida Lencastre (1998), e as medições de RT, C_{50} e STI feitas por Adel Abdou em vinte e uma mesquitas.

Para cada parâmetro acústico objectivo foram feitos gráficos de dispersão de pontos utilizando cada um dos parâmetros arquitectónicos em análise, e aproximados a linhas de tendência com o objectivo de encontrar as melhores correlações possíveis entre os parâmetros em jogo.

Após todo este procedimento, foi estabelecida a comparação acústica entre as igrejas Católicas e as mesquitas através do confronto de dados, análise paralela de gráficos representativos da variação dos parâmetros acústicos objectivos e ainda da discussão de alguns aspectos considerados relevantes para a compreensão da variabilidade desses parâmetros.

PALAVRAS-CHAVE: acústica, igrejas, mesquitas, parâmetros acústicos objectivos, RASTI, tempo de reverberação, claridade.

ABSTRACT

This work reports on acoustics, not in a general way but directed to two specific worship places: Catholic churches and mosques.

It isn't the goal of this work to select one of these places as the one with the best acoustic behaviour, because that is impossible. The reason is to understand and describe the acoustics in both churches and mosques, to compare some aspects.

The purpose was not to proceed with acoustical field measurements in these places, with architectural styles and construction age so different, but identify the acoustical performance of those places and go on with a parallelism between them, trying to find the similarities and differences on their acoustics.

Churches and mosques are both worship places but with many differences. They have different official religions, occupation modes, decoration and architectural styles.

In the present study it is analysed the variability between objective acoustical parameters and some architectural parameters. It was used the reverberation time, the clarity (C_{50} and C_{80}) and the STI (or RASTI), as acoustical parameters and the total volume, total area, maximum length, maximum high and average width, as architectural parameters.

This information about Catholic churches and mosques was based on available literature from which stands out the measurements of reverberation time (RT) and clarity (C_{80}) made by Oliveira de Carvalho (1994) in forty one churches, the RASTI measurements in thirty one churches made by Margarida Lencastre (1998), and the RT, C_{50} and STI measurements made by Adel Abdou in twenty one mosques.

For each one of the objective acoustical parameters dispersion charts were made using each one of architectural parameters and regression lines were created with the purpose of find the best possible correlations among the parameters in study.

After all these proceeds, an acoustical comparison between Catholic churches and mosques was established using data crossing, parallel analysis of charts with variability of objective acoustic parameters and also the discussion of some important and relevant points to the comprehension of those parameters variability.

KEYWORDS: acoustics, churches, mosques, objective acoustical parameters, architectural parameters, RASTI, reverberation time, clarity.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	1
1.2. FORMULAÇÃO DA TESE	2
1.3. OBJECTIVOS	3
1.4. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	3
1.5. BREVE DESCRIÇÃO DO TRABALHO	6
 2. A IGREJA CATÓLICA E AS MESQUITAS: NOTA HISTÓRICA	 9
2.1. O CATOLICISMO E O ISLAMISMO: SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS	9
2.1.1. O CATOLICISMO	9
2.1.2. O ISLAMISMO	10
2.1.3. PONTOS COMUNS ENTRE AS RELIGIÕES	11
2.2. A ARQUITECTURA DOS LOCAIS DE CULTO	11
2.2.1. AS IGREJAS CATÓLICAS E A SUA CLASSIFICAÇÃO	11
2.2.2. AS MESQUITAS E A SUA ARQUITECTURA	24
2.3. CONCEITO E OBJECTIVOS DE UMA “BOA ACÚSTICA”: A PALAVRA E A MÚSICA	32
2.3.1. OBJECTIVOS ACÚSTICOS NAS IGREJAS CATÓLICAS	32
2.3.2. OBJECTIVOS ACÚSTICOS NAS MESQUITAS	34
 3. MÉTODO	 37
3.1. SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO ESTATÍSTICA	37
3.1.1. SELECÇÃO DAS IGREJAS CATÓLICAS E RESPECTIVA CARACTERIZAÇÃO	37
3.1.2. SELECÇÃO DAS MESQUITAS E RESPECTIVA CARACTERIZAÇÃO	41
3.2. METODOLOGIA DE TRABALHO	43
3.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROCEDIMENTO	43
3.2.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO	44

3.2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS MEDIDOS	45
--	----

4. RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS E PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

49

4.1. OBJECTIVOS	49
-----------------------	----

4.2. PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	49
---------------------------------------	----

4.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS	56
---------------------------------	----

4.4. CORRELAÇÃO ENTRE TEMPO DE REVERBERAÇÃO E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS ..	57
--	----

4.4.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO NAS IGREJAS CATÓLICAS	57
--	----

4.4.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO NAS MESQUITAS	62
--	----

4.5. CORRELAÇÃO ENTRE A CLARIDADE E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	67
---	----

4.5.1. CLARIDADE NAS IGREJAS CATÓLICAS	67
--	----

4.5.2. CLARIDADE NAS MESQUITAS	71
--------------------------------------	----

4.6. CORRELAÇÃO ENTRE RAST/STI E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	75
--	----

4.6.1. RASTI NAS IGREJAS CATÓLICAS	75
--	----

4.6.2. STI NAS MESQUITAS	81
--------------------------------	----

5. CONCLUSÕES

87

5.1. CONCLUSÕES GERAIS	87
------------------------------	----

5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	88
----------------------------------	----

5.3. CLARIDADE (C_{50} E C_{80})	91
--	----

5.4. RASTI / STI	93
------------------------	----

6. PISTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

97

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
----------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Catedral de Winchester (Reino Unido): vista exterior.....	13
Fig. 2.2 – Catedral de Winchester (Reino Unido): planta	13
Fig. 2.3 – Igreja de Santa Constanza (Roma): vista exterior	14
Fig. 2.4 – Igreja de Santa Constanza (Roma): planta.....	14
Fig. 2.5 – Igreja do Salvador Paço de Sousa (Penafiel): fachada românica típica.....	15
Fig. 2.6 – Igreja Românica de Sousa (Felgueiras).....	16
Fig. 2.7 – Igreja Românica de Airões (Felgueiras).....	16
Fig. 2.8 – Esquema estrutural de uma catedral Gótica com identificação dos elementos principais....	17
Fig. 2.9 – Mosteiro da Batalha (Santa Maria da Vitória)	17
Fig. 2.10 – Mosteiro dos Jerónimos	18
Fig. 2.11 – Pormenor de uma janela no Convento de Cristo	18
Fig. 2.12 – Catedral de Florença.....	19
Fig. 2.13 – Basilica de S. Pedro (Roma).....	19
Fig. 2.14 – Claustro de D. João III (Tomar).....	20
Fig. 2.15 – Sé de Leiria	20
Fig. 2.16 – Igreja de San Carlino alle Quattro Fontane (Roma)	21
Fig. 2.17 – Igreja de Val-de-Grâce (Paris)	21
Fig. 2.18 – Convento de Mafra.....	21
Fig. 2.19 – Igreja de Madeleine (Paris): vista exterior.....	22
Fig. 2.20 – Igreja de Madeleine (Paris): interior	22
Fig. 2.21 – Igreja dos Terceiros Franciscanos (Porto).....	23
Fig. 2.22 – Igreja Saint Louis Abbey (Missouri, EUA)	24
Fig. 2.23 – Igreja de Hyvinkää (Finlândia)	24
Fig. 2.24 – Perspectiva axonométrica e planta da Mesquita Umayyad (Síria)	25
Fig. 2.25 – Planta e alçado da Mesquita Haseki (Istambul, Turquia)	25
Fig. 2.26 – Cúpula da Mesquita <i>al-Qubbah al-Sakhrah</i> (Mt. Moriah, Jerusalém).....	26
Fig. 2.27 – Arcos da mesquita de Córdoba (Espanha)	26
Fig. 2.28 – Arcos da mesquita Koutoubia (Marrocos).....	26
Fig. 2.29 – Mesquita Hassan II (Casablanca)	27
Fig. 2.30 – Pormenor do minarete (Casablanca)	27
Fig. 2.31 – Mihrab da Mesquita Sultan Hassan (Cairo)	28

Fig. 2.32 – Minbar da Mesquita Muhammed Ali (Cairo).....	28
Fig. 2.33 – Vista interior da mesquita Sultan Hassan (Cairo, Egipto) com pormenor do <i>mihrab</i> e <i>minbar</i> localizados na parede <i>qibla</i> , assim como o <i>dikka</i> em frente a estes elementos	29
Fig. 2.34 – Pormenor da decoração de um lintel (Mesquita al-Ghouri, Cairo).....	30
Fig. 2.35 – Caligrafia presente no interior de uma mesquita (Mesquita An-Nahdhah, Singapura).....	30
Fig. 2.36 – Mesquita Al-Abbas (Iémen): vista exterior	31
Fig. 2.37 – Mesquita Al-Abbas (Iémen): vista interior	31
Fig. 2.38 – Mesquita do Profeta (Medina)	31
Fig. 2.39 – Mesquita em espaço aberto (Jeddah).....	31
Fig. 2.40 – Exemplos de tempos de reverberação recomendados em função do volume dos espaços	33
Fig. 3.1 – Posição típica dos receptores e fontes sonoras nas igrejas (vista em planta)	43
Fig. 3.2 – Posição típica dos receptores e fontes sonoras nas mesquitas (vista em planta)	44
Fig. 3.3 – Sonómetro Bruel & Kjaer tipo 2231	44
Fig. 3.4 – Sistema computadorizado usando o MLSSA.....	45
Fig. 4.1 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, relativamente aos grupos de igrejas	58
Fig. 4.2 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Volume Total (V) nas 41 igrejas Católicas	59
Fig. 4.3 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Área Total (S) nas 41 igrejas Católicas	60
Fig. 4.4 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Altura Máxima (H) nas 41 igrejas Católicas	61
Fig. 4.5 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Comprimento Máximo (L) nas 41 igrejas Católicas	61
Fig. 4.6 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Largura Média (W) nas 41 igrejas Católicas	61
Fig. 4.7 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, relativamente aos grupos de mesquitas	62
Fig. 4.8 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, com o Volume Total (V) das mesquitas	63
Fig. 4.9 – Linha de variação do Tempo de Reverberação, RT, com a média do Volume Total (V) de cada grupo de mesquitas	63
Fig. 4.10 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, com a média do Volume Total (V) de cada grupo de mesquitas	65

Fig. 4.11 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT , e a média da Área Total (S) de cada grupo de mesquitas.....	65
Fig. 4.12 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT , e a média da Altura Máxima (H) de cada grupo de mesquitas.....	65
Fig. 4.13 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT , e a média do Comprimento Máximo (L) de cada grupo de mesquitas.....	66
Fig. 4.14 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT , e a média da Largura Média (W) de cada grupo de mesquitas.....	66
Fig. 4.15 – Variação da Claridade, C_{80} , relativamente aos grupos de igrejas	67
Fig. 4.16 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Volume Total, V , em igrejas Católicas	68
Fig. 4.17 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Área Total, S , em igrejas Católicas	69
Fig. 4.18 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Altura Máxima, H , em igrejas Católicas	70
Fig. 4.19 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Comprimento Máximo, L , em igrejas Católicas.....	70
Fig. 4.20 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Largura Média, W , em igrejas Católicas	70
Fig. 4.21 – Variação da Claridade, C_{50} , relativamente aos grupos de mesquitas	71
Fig. 4.22 – Variação da Claridade, C_{50} , com o Volume Total, V , das mesquitas	72
Fig. 4.23 – Linha de variação da Claridade, C_{50} , com a média do Volume Total, V , de cada grupo de mesquitas.....	72
Fig. 4.24 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média do Volume Total, V , de cada grupo de mesquitas	73
Fig. 4.25 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Área Total, S , de cada grupo de mesquitas	74
Fig. 4.26 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Altura Máxima, H , de cada grupo de mesquitas	74
Fig. 4.27 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média do Comprimento Máximo, L , de cada grupo de mesquitas.....	74
Fig. 4.28 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Largura Média, W , de cada grupo de mesquitas	75
Fig. 4.29 – Correlação linear entre RASTI e a Altura Máxima, H , em igrejas Católicas.....	77
Fig. 4.30 – Correlação linear entre RASTI e a Largura Média, W , em igrejas Católicas.....	78
Fig. 4.31 – Correlação linear entre RASTI e a Área Total, S , em igrejas Católicas	80
Fig. 4.32 – Correlação linear entre RASTI e a Largura Média, W , em igrejas Católicas.....	81
Fig. 4.33 – Correlação linear entre STI e a Altura Máxima, H , nas mesquitas	83

Fig. 4.34 – Correlação linear entre STI e a Largura Média, W, nas mesquitas	84
Fig. 4.35 – Correlação linear entre STI e o Volume Total, V, nas mesquitas	86
Fig. 4.36 – Correlação linear entre STI e a Área Total, S, nas mesquitas	86
Fig. 5.1 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com o Volume Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas	89
Fig. 5.2 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Área Total, S, nas mesquitas e igrejas Católicas	89
Fig. 5.3 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Altura Máxima, H, nas mesquitas e igrejas Católicas	89
Fig. 5.4 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com o Comprimento Máximo, L, nas mesquitas e igrejas Católicas	90
Fig. 5.5 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Largura Média, W, nas mesquitas e igrejas Católicas	90
Fig. 5.6 – Diferença entre comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com o Volume Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	91
Fig. 5.7 – Diferença entre comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Área Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	91
Fig. 5.8 – Diferença entre comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Altura Máxima, H, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	92
Fig. 5.9 – Diferença entre comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com o Comprimento Máximo, H, nas mesquitas e igrejas Católicas	92
Fig. 5.10 – Diferença entre comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Largura Média, W, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	92
Fig. 5.11 – Diferença entre comportamento do STI/RASTI com o Volume Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	94
Fig. 5.12 – Diferença entre comportamento do STI/RASTI com a Área Total, S, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	94
Fig. 5.13 – Diferença entre comportamento do STI/RASTI com a Altura Máxima, H, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	94
Fig. 5.14 – Diferença entre comportamento do STI/RASTI com o Comprimento Máximo, L, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	95
Fig. 5.15 – Diferença entre comportamento do STI/RASTI com a Largura Média, W, nas mesquitas e igrejas Católicas.....	95

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Estilos arquitectónicos das igrejas estudadas	15
Quadro 3.1 – Localização e Classificação das igrejas Católicas para análise dos parâmetros RT e C_{80}	38
Quadro 3.2 – Localização e Classificação das igrejas Católicas para análise do RASTI	40
Quadro 3.3 – Caracterização das mesquitas estudadas	42
Quadro 4.1 – Descrição dos parâmetros arquitectónicos usados	50
Quadro 4.2 – Parâmetros arquitectónicos das igrejas Católicas para análise do RASTI.....	50
Quadro 4.3 – Parâmetros arquitectónicos das igrejas Católicas para análise dos parâmetros RT e C_{80}	52
Quadro 4.4 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos na amostra de 31 igrejas para análise do RASTI.....	54
Quadro 4.5 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos na amostra de 41 igrejas para análise dos parâmetros RT e C_{80}	54
Quadro 4.6 – Parâmetros arquitectónicos das mesquitas estudadas	55
Quadro 4.7 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos nas mesquitas	56
Quadro 4.8 – Descrição dos parâmetros acústicos usados	56
Quadro 4.9 – Número de igrejas e mesquitas por grupo	57
Quadro 4.10 – Valores médios do Tempo de Reverberação, RT, por grupos de igrejas.....	58
Quadro 4.11 – Duas melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e Volume Total, V, nas igrejas.....	59
Quadro 4.12 – Melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e os parâmetros arquitectónicos das igrejas.....	60
Quadro 4.13 – Valores médios do Tempo de Reverberação, RT, por grupos de mesquitas.....	62
Quadro 4.14 – Valores médios de cada parâmetro arquitectónico, para cada grupo de mesquitas.....	64
Quadro 4.15 – Melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e os parâmetros arquitectónicos das mesquitas.....	64
Quadro 4.16 – Valores médios da Claridade, C_{80} , por grupos de igrejas.....	67
Quadro 4.17 – Duas melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{80} , e Volume Total, V, nas igrejas	68
Quadro 4.18 – Melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{80} , e os parâmetros arquitectónicos das igrejas	69

Quadro 4.19 – Valores médios da Claridade, C_{50} , por grupos de mesquitas	71
Quadro 4.20 – Melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{50} , e os parâmetros arquitectónicos das mesquitas	73
Quadro 4.21 – Conversão do RASTI numa escala de inteligibilidade da palavra	75
Quadro 4.22 – Valores do RASTI médio com fonte sonora no altar (SRS desligado) das 31 igrejas Católicas.....	76
Quadro 4.23 – Regressões lineares para correlação entre RASTI médio (SRS desligado) e os parâmetros arquitectónicos das 31 igrejas Católicas	77
Quadro 4.24 – Valores do RASTI médio com fonte sonora no altar (SRS ligado) das 31 igrejas Católicas.....	79
Quadro 4.25 – Regressões lineares para correlação entre RASTI médio (SRS ligado) e os parâmetros arquitectónicos das 31 igrejas Católicas	80
Quadro 4.26 – Valores do STI médio em 21 mesquitas com o SRS desligado.....	82
Quadro 4.27 – Regressões lineares para correlação entre STI médio (SRS desligado) e os parâmetros arquitectónicos das 21 mesquitas	83
Quadro 4.28 – Valores do STI médio em 21 mesquitas com o SRS ligado	84
Quadro 4.29 – Regressões lineares para correlação entre STI médio (SRS ligado) e os parâmetros arquitectónicos das 21 mesquitas	85
Quadro 5.1 – Quadro estatístico relativo à inteligibilidade da palavra nas igrejas e mesquitas (SRS desligado)	93
Quadro 5.2 – Quadro estatístico relativo à inteligibilidade da palavra nas igrejas e mesquitas (SRS ligado)	96

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RASTI – Rapid Speech Transmission Index

STI – Speech Transmission Index

SRS – Sound Reinforcement System

RT – reverberation time (tempo de reverberação) [s]

L – nível de pressão sonora [dB]

C₈₀ – Claridade 80 ms [dB]

C₅₀ – Claridade 50 ms [dB]

L – comprimento máximo [m]

W – largura média [m]

H – altura máxima [m]

S – área total [m²]

V – volume total [m³]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

A Acústica é o ramo da Física onde se analisam e estudam os fenómenos de emissão, propagação e percepção das ondas sonoras. Por outras palavras, pode-se dizer que é a ciência que estuda a produção, transmissão e efeitos do som.

A complexidade deste campo levou à criação de algumas vertentes da acústica, estando algumas delas relacionadas de forma mais directa com a Engenharia Civil, tais como a Acústica Arquitectónica ou a Acústica de Edifícios. Esta foi introduzida e abordada pelo físico americano Wallace Clement Sabine (1868-1919), no final do século XIX e início do século XX, obtendo maior ênfase com os seus trabalhos na Universidade de Harvard.

O estudo da Acústica de Edifícios pretende sobretudo salvaguardar condições de conforto acústico (ausência de ruído) necessárias ao usufruto do espaço ocupado, mas também, nalguns casos particulares, contribuir para aperfeiçoar a qualidade da própria função acústica do edifício, como é por exemplo em salas de concerto, locais de culto ou auditórios.

Com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e para assegurar os requisitos de qualidade no ambiente exterior e nos edifícios, o estudo da acústica tem vindo a assumir maior importância com o passar dos anos, nomeadamente na Engenharia Civil. No entanto, este ramo caracteriza-se em Portugal por alguma falta de rigor tanto por parte dos técnicos como por parte das entidades fiscalizadoras.

Apesar de pouco desenvolvida, a investigação e estudos acústicos têm incidido maioritariamente sobre alguns tipos de edifícios públicos, onde uma boa solução acústica é difícil de idealizar ou onde a acústica toma um papel de extrema importância, como é o caso das salas de audiência de tribunais, salas de congressos, grandes auditórios, anfiteatros, salas de aulas, igrejas, entre outros.

O presente trabalho foca o tema da acústica em locais de culto, não se restringindo apenas a igrejas mas abordando também as mesquitas. Trata-se, portanto, de uma comparação entre a acústica em ambos os tipos de edifícios. Ao contrário de muitos casos, tanto as igrejas como as mesquitas são de fácil acessibilidade, o que se torna vantajoso no ponto de vista de execução de testes para o estudo em causa.

Hoje em dia existe a possibilidade de recorrer ao uso de instalações sonoras, embora tenha-se vindo a demonstrar que o desempenho acústico das igrejas e mesquitas tanto na óptica da musicalidade como na inteligibilidade da palavra pode ser muito beneficiado com a arquitectura (forma e materiais).

Em ambos os locais, não só o discurso como também a música¹ devem possuir uma boa acústica. Neste tipo de espaços não é possível deslocar constantemente painéis acústicos móveis e outros materiais uma vez que, por exemplo nas igrejas o discurso e a música existem, muitas vezes, quase em simultâneo. Por essa razão a sua arquitectura, divisão de áreas e revestimentos (que determinam o modo como o som é perceptível nos espaços assim como o seu modo de transmissão para os espaços adjacentes) devem ser estudados e idealizados com cuidado antes da sua construção, evitando muitos problemas desde logo. Há sempre a possibilidade de resolver alguns deles numa fase inicial do projecto a baixo custo, contudo as alterações correctivas feitas após o fim da construção e início de utilização serão mais dispendiosas e nem sempre possíveis de se concretizarem (o que acontece nos projectos de reabilitação de edifícios).

Desta maneira, todos os estudos e investigações feitas neste campo contribuem de forma importante para futuros projectos de acústica em certos tipos de edifícios, podendo servir de auxílio ou mesmo ser determinantes no alcance do êxito relativamente às soluções acústicas pretendidas.

É de salientar o trabalho já feito em Portugal relativo à acústica de igrejas, nomeadamente por A. P. Oliveira Carvalho (1994) que deu início à investigação neste campo, A. Morgado (1996) e M. Lencastre (1998), inserido no programa de investigação em “Acústica de Igrejas” desenvolvido no Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Outros trabalhos importantes foram feitos fora do país, como por exemplo o de Martellotta (2001) e Desarnauds (2002).

Quanto à acústica em mesquitas salienta-se o estudo feito por Adel Abdou, onde foi usada uma amostra de vinte e uma mesquitas localizadas na Arábia Saudita e medidos parâmetros acústicos como o tempo de reverberação, a claridade e o RASTI. Nota ainda para as medições e análises feitas por Riziq N. Hammad a alguns parâmetros acústicos objectivos, como o tempo de reverberação e o RASTI em trinta mesquitas localizadas em Amman, Jordânia. Destacam-se, por último, os resultados obtidos no projecto CAHRISMA (*Conservation of the Acoustical Heritage by the Revival and Identification of the Sinan's Mosques Acoustics*), que estudou, entre outras coisas, parâmetros acústicos nalgumas mesquitas em Istambul. Outras investigações relevantes foram feitas neste campo, utilizando as mesquitas como local de análise, tendo grande parte delas culminado com a redacção de dissertações de mestrado e doutoramento.

1.2. FORMULAÇÃO DA TESE

As teses que se pretenderam provar com este estudo foram:

- é possível caracterizar, de forma objectiva, as igrejas e as mesquitas relativamente à sua acústica através da medição de parâmetros acústicos;
- pode-se estabelecer uma comparação acústica entre igrejas, entre mesquitas e entre ambos os espaços através da comparação dos valores desses parâmetros;
- é possível relacionar os parâmetros acústicos medidos em cada espaço com a arquitectura dos mesmos;
- é possível avaliar como as características acústicas variam inter igrejas, mesquitas e entre ambos os locais, quer quanto a parâmetros acústicos objectivos quer quanto a parâmetros arquitectónicos.

¹ De salientar que entende-se por música nas mesquitas como a citação “cantada” de algumas passagens do Corão e não no sentido instrumental.

1.3. OBJECTIVOS

A análise da acústica nos locais de culto pode ser dividida em duas áreas principais distintas: o fenómeno físico objectivo e a resposta subjectiva em auditores.

O objectivo principal deste trabalho passa por uma análise objectiva, utilizando alguns parâmetros acústicos e arquitectónicos de cada um dos edifícios em estudo de forma a compreender a correlação entre ambos os tipos de parâmetros nos dois locais observados. Neste estudo comparativo a medição dos diversos parâmetros utilizados não se engloba no âmbito do trabalho, pelo que os valores usados são fruto de registos feitos em investigações anteriores.

Os parâmetros acústicos objectivos permitem dar a conhecer algumas características acústicas e estabelecer uma relação entre estas e a arquitectura interior tanto das igrejas Católicas como das mesquitas, a fim de ser possível entender que aspectos arquitectónicos permitem caracterizar a acústica num local face ao outro. Desta forma, pretende-se também neste estudo estabelecer relações matemáticas e encontrar fórmulas elementares que possam vir a constituir um outro instrumento de trabalho para projectistas e investigadores na antevisão das condições acústicas em projectos de igrejas e mesquitas.

Tratando-se de um trabalho que tem como finalidade estabelecer um paralelismo/comparação entre a acústica em dois locais, foi necessário logo de início eleger uma amostra que contemplasse um número suficiente de igrejas Católicas e mesquitas de forma a que as conclusões tiradas neste estudo fossem credíveis, úteis e extensíveis a outros casos existentes no mundo. Assim, foram seleccionadas um total de cinquenta e quatro igrejas Católicas portuguesas e vinte e uma mesquitas localizadas na Arábia Saudita.

Foram registados alguns valores relativos tanto às igrejas como às mesquitas escolhidas, dado que possuem estilos arquitectónicos característicos de diferentes épocas, dimensões dos espaços variados (área, volume, comprimento, altura e largura), materiais construtivos e decorativos diversos e ainda estados de conservação diferentes.

Pode-se dizer que o propósito final deste projecto de investigação é dar mais um contributo em toda a investigação referente à acústica de lugares religiosos, nomeadamente igrejas Católicas e mesquitas.

Contudo, torna-se importante dar continuação a este importante trabalho de forma a não se dissipar toda a informação e conhecimento já adquirido e a contribuir para melhorar as soluções acústicas e construção destes locais. Um projecto acústico perfeito é uma meta quase impossível de alcançar, embora hoje em dia, com todo o conhecimento existente nesta área e todo o equipamento criado para melhorar o desempenho acústico dos edifícios, a procura pela optimização se tenha tornado cada vez mais forte e alcançável.

1.4. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O comportamento acústico de igrejas, não sendo um tema sobre o qual exista muita informação, conta já com alguns trabalhos nesta área.

A nível internacional é possível encontrar investigações neste campo desde 1952, quando P. H. Parkin e J. H. Taylor (Parkin e Taylor, 1952) analisaram alguns sistemas electro-acústicos instalados em diferentes épocas na Catedral de S. Paulo (Londres) e estudaram os resultados deles decorrentes para a inteligibilidade.

R. S. Shankland e H. K. Shankland (Shankland e Shankland, 1971) mediram e estudaram a acústica na Basílica de S. Pedro, em Roma, e compararam o seu comportamento acústico com o das Basílicas de S. João Luterano, S. Paulo Fora de Portas e Santa Maria Maior

Emmanuel G. Tzekakis (Tzekakis, 1975) estudou a variação do tempo de reverberação da Igreja de Jorge de Salónica (Grécia) para três situações diferentes: igreja ocupada, sem pessoas e sem pessoas nem bancadas.

Fearn R.W. (Fearn, 1975), desenvolveu um método para medir o tempo de reverberação e aplicou-o em igrejas espanholas, inglesas e francesas.

Outros trabalhos foram elaborados com o intuito de abordar a acústica de igrejas. Desde a medição de parâmetros acústicos, influência da arquitectura na acústica, tratamento de paredes para melhorias da inteligibilidade, desenvolvimento de sistemas sonoros até à propagação do som musical e a variação do tempo de reverberação em igrejas com mais ou menos pessoas no seu interior.

Quanto ao trabalho realizado no nosso país, destaca-se o projecto levado a cabo pelo orientador científico da presente dissertação, Oliveira de Carvalho (Carvalho, 1994), que consistiu no estudo de quarenta e uma igrejas Católicas portuguesas através de medições acústicas de parâmetros objectivos e posterior relacionamento destes com parâmetros arquitectónicos dos mesmos locais. O autor abordou ainda a temática da inteligibilidade da palavra em igrejas recorrendo ao RASTI. Este trabalho foi iniciado em 1992, com o apoio de várias entidades oficiais, e culminou com a publicação da Tese de Doutoramento do actual Professor Dr. Oliveira de Carvalho. Será nessa dissertação e no programa de investigação “Acústica de Igrejas”, levado a cabo pelo mesmo autor, que o presente trabalho se irá basear para a obtenção de valores dos parâmetros acústicos de igrejas.

Este trabalho foi complementado, mais tarde, com a dissertação de Mestrado de António Morgado (Morgado, 1996) em que foi analisada a acústica de trinta e seis das igrejas estudadas por Oliveira de Carvalho (1994), sendo agora usados parâmetros acústicos subjectivos para proceder a essa análise. Note-se que este trabalho retratava essencialmente o comportamento das igrejas relativamente à música, tendo ainda algumas curtas referências à inteligibilidade da palavra.

Destaca-se ainda os trabalhos de Margarida Lencastre (Lencastre, 1999), intitulado “A Inteligibilidade da Palavra em Igrejas Católicas, através de Análises de Carácter Objectivo e Subjectivo”, e de Anabela Pereira Carvalho (2005), com o título “Caracterização Acústica de Claustros Religiosos Históricos”, ambos realizados como requisito à obtenção do grau de Mestre em Construção de Edifícios. No primeiro foi medido o parâmetro objectivo RASTI e ainda realizados testes com discurso ao vivo (*PB Test*). Já no último, para além do RASTI, foram também medidos outros parâmetros objectivos, nomeadamente o tempo de reverberação.

Relativamente ao comportamento acústico de mesquitas a informação disponibilizada é um pouco mais restrita, em parte devido ao Islamismo não ser ter a predominância que o Catolicismo tem na religião a nível mundial.

O facto de Portugal ser um país onde praticamente não existem mesquitas talvez justifique o porquê de nunca se ter abordado aqui a acústica deste tipo de local de culto. Contudo, é possível encontrar alguns trabalhos a nível internacional respeitantes a este tema (embora escassos).

Destacam-se alguns projectos de investigação e dissertações (de mestrado e doutoramento) onde a abordagem relativa a este assunto é feita.

Riziq N. Hammad (Hammad, 1990) avalia o comportamento acústico de trinta mesquitas existentes na cidade de Amman, na Jordânia, através da análise dos resultados de ensaios de campo desenvolvidos, utilizando diferentes técnicas. Na avaliação utiliza o STI (*Speech Transmission Index*) e o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) entre outros parâmetros acústicos.

Em 1991 o mesmo Riziq Hammad publica, juntamente com Mohamed Abdelazeez e Ahmed Mustafa, um artigo intitulado “*Acoustics of King Abdullah Mosque*” onde avaliam o comportamento desta grande mesquita. Este estudo tem como objectivo perceber os problemas no desempenho acústico de uma mesquita recente, que por sua vez apresentava tempos de reverberação muito altos, pouca clareza no discurso e muito ruído de fundo.

Zerhan Karabiber apresenta no ASA/EAA/DAGA Meeting '99 em Berlim, Alemanha, um artigo relativo aos problemas comuns na acústica de mesquitas. O principal aspecto apontado é o tempo de reverberação elevado, comum nas mesquitas.

O projecto CAHRISMA, iniciado em 2000, trata-se de um Programa do 5º Quadro da Comissão Europeia (INCO-MED) e é direccionado para a cooperação entre os países da UE e os países do Mediterrâneo: Turquia, Dinamarca, Itália, Suíça, França e Malta. Foi concebido com o intuito de inovar o conceito de património acústico no campo da conservação arquitectónica. As mesquitas de Sinan² e as igrejas Bizantinas em Istambul, que são espaços de culto conhecidos pelas suas boas qualidades acústicas, foram escolhidos (três de cada) como os edifícios indicados à realização desse objectivo. A investigação é feita através de avaliações objectivas por medições (ou simulações computacionais) e avaliações subjectivas com recurso a inquéritos psico-acústicos. Fausti, Pompili, Prodi, Marsilio e Karabiber publicam vários artigos relativos aos resultados obtidos nas mesquitas, através do programa CAHRISMA.

Em 2002 Sheikh Muhammad Najmul Imam publica um artigo no Jornal da ASA intitulado “*Speech Intelligibility in the Community Mosques of Dhaka City*” que resulta da avaliação por ele feita à inteligibilidade da palavra através de parâmetros acústicos objectivos e subjectivos, nas mesquitas da capital de Bangladesh.

Adel A. Abdou (Abdou, 2003) faz um estudo acústico usando como amostra vinte e uma mesquitas sauditas com diferentes dimensões e características arquitectónicas. Neste trabalho são avaliados parâmetros acústicos objectivos como o tempo de reverberação, a clareza, o STI e o ruído de fundo. Avalia-se também o desempenho dos sistemas de altifalantes e a influência do ar condicionado na acústica global das mesquitas, assim como a diferença nas medições para os espaços ocupados ou vazios.

No mesmo ano, Adel Abdou investiga o desempenho acústico de mesquitas através de modelos de estudo computadorizados.

Levent Topaktaş (Topaktaş, 2003) intitula a sua dissertação de Doutoramento como “Propriedades Acústicas de Mesquitas Otomanas Clássicas: Simulação e Medições”. Neste trabalho o autor procedeu à medição e simulação acústica de quatro mesquitas em Istambul, todas construídas pelo famoso Arquitecto Sinan mas com diferentes propriedades e características arquitectónicas. Importantes parâmetros como tempo de reverberação, clareza e definição são estimados e comparados, sendo o objectivo analisar a veracidade ou a certeza das simulações.

² Koca Mimar Sinan Agha (1489-1588) foi um famoso arquitecto e engenheiro civil muçulmano, considerado como o melhor construtor islâmico de sempre. Destaca-se a sua capacidade para solucionar problemas espaciais de estruturas encimadas por cúpulas. Trabalhou para os sultões do Império Otomano: Selim I, Suleiman I, Selim II e Murad III.

Sentagi Utami (Utami, 2005) analisou a acústica de salas com cúpulas, fazendo uma aplicação especial à mesquita de Darussholah (Indonésia). Neste trabalho foi feito um modelo à escala 1:12 da respectiva mesquita e criada uma fonte idêntica à da voz humana de forma a obter medições das respostas ao impulso provocado pela mesma. A partir dessas respostas foram caracterizados os parâmetros acústicos.

Mais recentemente, já em 2007, Wasim Orfali (Orfali, 2007) apresentou a sua tese de Doutoramento intitulada “*Room Acoustic and Modern Electro-Acoustic Sound System Design during Constructing and Reconstructing Mosques*”. Neste trabalho é investigada a influência de elementos básicos, como as cúpulas, colunas e outras características comuns, no comportamento acústico no interior das mesquitas. Diferentes parâmetros acústicos foram testados e simulados para diferentes tipos de discurso e diferentes modos de oração, com o intuito de caracterizar a inteligibilidade do discurso.

Outros trabalhos foram realizados no âmbito da acústica de mesquitas, tendo uns mais relevância que outros ou sendo uns mais completos que outros. No entanto, na presente dissertação serão usadas as medições feitas por Adel Abdou nas vinte e uma mesquitas da Arábia Saudita para o estudo comparativo em causa.

1.5. BREVE DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Para um conhecimento geral da arquitectura dos locais de culto em estudo, nomeadamente as mesquitas, no Capítulo 2 é feita uma breve descrição histórica e arquitectónica destes tipos de edifícios, da sua origem, da sua função, das actividades desenvolvidas nos mesmos, nas religiões que lá se praticam e dos seus objectivos acústicos. Para além disso são ainda abordados os aspectos comuns entre as religiões praticadas em cada um dos espaços em análise. Note-se que este capítulo tem uma grande importância, não só para transmitir um conhecimento geral destes locais de culto, mas também pelo facto de aspectos como a localização dos oradores, o modo de discurso e as decorações arquitectónicas terem grande influência no desempenho acústico dos mesmos.

No capítulo seguinte é feita a selecção da população estatística, onde se incluíram as cinquenta e quatro igrejas Católicas e vinte e uma mesquitas cujas medições dos parâmetros acústicos já haviam sido realizadas em trabalhos anteriores. É também identificada a amostra com recurso a um quadro-resumo onde se especifica a sua localização, estilo arquitectónico e época construtiva. Ilustrou-se a posição geográfica da população estatística, embora numa escala continental, para melhor noção e reconhecimento da sua localização. Apesar das amostras serem limitadas em termos de disposição geográfica (igrejas portuguesas e mesquitas sauditas), consideram-se como representativas destes espaços de culto dado a sua abrangência histórica e arquitectónica.

Após esta identificação é descrito o método (procedimento) seguido para a realização do trabalho, apresentado o equipamento utilizado nas medições e explicados de forma sintetizada cada um dos parâmetros acústicos utilizados na comparação em causa. Para a caracterização acústica tanto das igrejas como das mesquitas foram utilizados apenas parâmetros objectivos, sendo usado o RASTI e STI para avaliação da inteligibilidade da palavra em vez de parâmetros subjectivos. Uma vez que não faz parte do âmbito deste trabalho a realização de medições acústicas, foi necessário restringir-se aos dados dos trabalhos de base. O facto de não existirem caracterizações acústicas subjectivas das mesquitas em estudo, levou a desprezar este tipo de parâmetros na execução dos trabalhos.

No Capítulo 4 são caracterizados os valores dos parâmetros acústicos das igrejas e mesquitas, procedendo-se posteriormente à tentativa de encontrar correlações entre os parâmetros acústicos objectivos e as características arquitectónicas dos locais em estudo, de forma a analisar a evolução desses parâmetros com os estilos e a arquitectura. Para tal, consideram-se algumas características geométricas, tais como o volume, a área, a altura, o comprimento e a largura, de forma a encontrar os parâmetros que apresentam melhor correlação com o Tempo de Reverberação, a Claridade e o STI/RASTI em cada um dos locais.

A dependência entre parâmetros será ilustrada com recurso a gráficos de dispersão de pontos e curvas de regressão, sendo usado o coeficiente de correlação de Pearson (R) e o coeficiente de correlação global (R^2) para caracterizar essa interdependência entre parâmetros. Com isto será possível, por exemplo, prever a diferença do tempo de reverberação médio de uma igreja Católica e uma mesquita quaisquer, a partir de algumas características geométricas das mesmas.

O capítulo seguinte engloba as conclusões deste trabalho. Por norma as notas conclusivas, apresentadas no final dos trabalhos, revelam bastante interesse na medida em que fazem um apanhado geral dos resultados obtidos e provados com a investigação. No entanto, a presente tese merece uma atenção redobrada para este capítulo, uma vez que é ele que intitula o tema do trabalho. De facto é nas conclusões que é feita a comparação global entre a acústica nos dois locais de culto em estudo, assim como a análise de cada um dos parâmetros em cada local.

Trata-se, portanto, de um espaço reservado a uma crítica pessoal por parte do autor a todos os valores e correlações obtidos no Capítulo 4, tendo grande relevância na medida em que sintetiza o trabalho no computo geral e permite uma compreensão mais clara das diferenças acústicas entre as igrejas Católicas e as mesquitas.

No último capítulo são feitas algumas considerações acerca de possíveis desenvolvimentos que poderão vir a ser realizados nesta temática e para este tipo de edifícios.

2

AS IGREJAS CATÓLICAS E AS MESQUITAS: NOTA HISTÓRICA

2.1. O CATOLICISMO E O ISLAMISMO: SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS

2.1.1. O CATOLICISMO

O termo Catolicismo provém do grego antigo *katholikós* (καθολικός) que traduzido significa “universal”. No entanto a palavra tem hoje o significado da fé ou religião católica. É a vertente do Cristianismo mais divulgada no mundo e baseia-se na crença de que Jesus foi o Messias enviado à Terra para redimir a Humanidade e restabelecer o nosso laço de união com Deus.

A primeira vez em que o termo “católico” foi usado para qualificar a Igreja foi no ano 105 d.C., numa carta de Santo Inácio, então bispo de Antioquia (actual Antaquia, na Turquia). No século II da Era Cristã, o termo foi empregue novamente em vários documentos, representando a ideia de que a fé cristã já se encontrava difundida por todo o mundo. No século IV d.C., Santo Agostinho usou a designação “católica” para diferenciar a doutrina “verdadeira” das outras seitas de fundamentação cristã que começavam a nascer. Mas foi somente no século XVI, mais precisamente após o Concílio de Trento³ (1545-1563), que a expressão “Igreja Católica” passou a designar exclusivamente a Igreja que tem como sede o Vaticano.

Os cristãos da maior parte das igrejas afirmam a sua fé “numa única santa Igreja católica e apostólica”. Esta afirmação refere-se à sua crença na unidade última de todas as igrejas sob um Deus e um Salvador. No entanto, neste contexto, a palavra *católico* é usada pelos crentes num sentido definitivo (isto é, universal), e não como o nome de um corpo religioso. Neste tipo de uso, a palavra é geralmente escrita com *c* minúsculo, enquanto que o *C* maiúsculo se refere ao sentido descrito anteriormente.

O Catolicismo compreendia, até meados do séc. XI, todas as dioceses nascidas da Sucessão dos Apóstolos. Mas, após o Cisma entre o Papa e o Patriarca de Constantinopla (data 1054), passou-se a denominar apenas Igreja Católica ao conjunto de dioceses (do Oriente e Ocidente) que seguiram a liderança do Papa e Igreja Ortodoxa às dioceses (apenas do Oriente) que seguiram a liderança do Patriarca de Constantinopla.

³ O Concílio de Trento foi convocado pelo Papa Paulo III e surgiu como reacção à Reforma Protestante (incitada pelo sacerdote alemão Martin Lutero) para assegurar a unidade de fé e a disciplina eclesiástica.

Em linhas gerais, podemos afirmar que o Catolicismo é uma doutrina intrinsecamente ligada ao Judaísmo. O seu livro sagrado é a Bíblia, dividida em Velho e Novo Testamento. Do Velho Testamento, que corresponde ao período anterior ao nascimento de Jesus, o Catolicismo aproveita não só o Pentateuco⁴, mas também agrega os chamados livros Deuterocanónicos⁵. Esses livros não são reconhecidos pelas religiões protestantes.

2.1.2. O ISLAMISMO

O Islamismo, também conhecido por Islão ou Islã, provém do árabe “الإسلام” (*al-islām*). Trata-se de uma religião monoteísta que surgiu na Península Arábica no século VII, baseada nos ensinamentos religiosos do profeta Muhammad ou Maomé (570-632) e numa escritura sagrada – o Corão. Esta religião acredita num Deus único, o qual denominam de Alá ou *Allah*.

O Corão define como sendo o objectivo mais importante da missão do profeta Maomé, depois da transmissão dos versículos do próprio Corão, a reformulação da vida dos indivíduos de acordo com a revelação divina e promovê-los, espiritual e materialmente, à luz dos versículos sagrados.

Segundo os muçulmanos, o Islamismo surge com a criação do Homem, ou seja, tendo como primeiro profeta Adão. Este fora profeta de inúmeros profetas de diferentes povos, tendo sido o último deles Maomé.

O profeta Maomé costumava sentar-se na sua casa com seus discípulos, e esses em volta dele em forma de um círculo. Todos corriam para essas reuniões e competiam em sentar-se o mais perto possível de Maomé, para maior aproveitamento das suas palavras.

Cerca de duzentos anos após Maomé, o Islão já se tinha difundido por todo o Médio Oriente, norte de África e Península Ibérica, bem como na direcção da antiga Pérsia e Índia. Mais tarde atingiu a Anatólia, os Balcãs e a África subsariana⁶. Recentes movimentos migratórios de populações muçulmanas no sentido da Europa e do continente americano levaram ao aparecimento de comunidades muçulmanas nestes territórios.

A congregação islâmica nas Mesquitas é uma resposta positiva aos problemas mais urgentes da humanidade, causados pela discriminação racial, os conflitos sociais e os preconceitos humanos. No ofício islâmico, em congregação, não há reis nem súbditos, não há pobres nem ricos, não há brancos nem negros. Não há primeira ou segunda classe, nem bancos dianteiros ou traseiros, nem assentos distintos. Todos os crentes ficam de pé e agem lado a lado, da maneira mais disciplinada e exemplar, longe de qualquer consideração mundana. No entanto é de salientar o facto de as mulheres serem separadas dos homens, tendo um local próprio no canto das mesquitas (ou num lugar elevado) para poderem assistir às orações. A lei islâmica ordena ao Homem que faça o bem e despreze o que é repreensível. É também obrigatório para os muçulmanos incutir o bom comportamento aos seus familiares e companheiros.

⁴ O Pentateuco inclui os cinco primeiros livros da Bíblia atribuídos a Moisés: Génesis, Êxodo, Levítico, Números e Deuterónimo. Os Judeus denominam-no por Torá, uma palavra de origem hebraica que significa ensinamento, instrução ou simplesmente Lei.

⁵ São Deuterocanónicos os seguintes livros bíblicos: Tobias, Judite, Macabeus I e II, Sabedoria, Eclesiástico e Baruc (ou Baruke). Encontram-se ainda alguns capítulos de Ester e Daniel.

⁶ A África subsariana corresponde à região do continente africano a sul do Deserto do Saara, ou seja, aos países que não pertencem ao Norte de África.

O *Imam* (ou *Imã*) é o líder espiritual, o guia no contexto islâmico, que tem a incumbência de dirigir as actividades superiores de uma mesquita. Este pode possuir família pois o Islão não obriga o celibato. A sua função primordial nas mesquitas é liderar os fiéis nas orações. É ele quem realiza os casamentos entre os muçulmanos, segundo os mandamentos e normas estabelecidas no contexto divino islâmico. O serviço fúnebre é também de sua alçada, consistindo este serviço em lavar o corpo do falecido, de perfumá-lo e envolvê-lo com mortalha.

As orações diárias prescritas ao muçulmano são em número de cinco, se não há possibilidade de realizá-las nas Mesquitas, podem ser efectuadas em qualquer lugar onde o fiel estiver quando a oração está no seu horário preceituado.

2.1.3. PONTOS COMUNS ENTRE AS RELIGIÕES

Os dois sub-capítulos anteriores pretendem dar a conhecer a origem, funcionamento e princípios base das duas religiões relacionadas com o presente estudo (embora não estejam relacionadas directamente, são estas as religiões praticadas nos locais abordados neste trabalho).

Pode-se dizer que, no geral, o Catolicismo e o Islamismo são religiões muito diferentes entre si. No entanto é interessante observar alguns pontos em comum entre ambas, ora vejamos:

- são religiões monoteístas, facto que na época em que tiveram origem não era vulgar;
- ambas adoram Jesus e Maria: ao contrário dos judeus, Maomé referenciou Jesus como Messias da casa de David; os muçulmanos admitem o nascimento de Jesus como sobrenatural e acreditam nos seus milagres (como referido no Corão);
- regem-se por um livro Sagrado: a Bíblia, no caso do Catolicismo, e o Corão, no caso do Islamismo;
- ambas apresentam uma divisão interna: no Catolicismo distinguem-se os “Católicos” dos “Ortodoxos” e no Islamismo há a divisão entre “Sunitas”, “Xiitas” e “Kharijitas”;
- utilizam espaços de culto apropriados para a realização das respectivas orações e outras práticas religiosas: as igrejas Católicas e as mesquitas (Islâmicas).

É sobre este último aspecto que todo o trabalho vai recair. De facto trata-se de dois locais bastante diferentes em geometria, construção e decoração, o que torna a acústica em cada um deles muito específica e própria.

2.2. A ARQUITECTURA DOS LOCAIS DE CULTO

2.2.1. AS IGREJAS CATÓLICAS E A SUA CLASSIFICAÇÃO

A palavra “igreja” tem mais que um sentido. Tanto pode estar associada a uma edificação como pode designar grupo de pessoas, embora se recorra apenas ao uso de letras minúsculas no primeiro caso e se inicie com maiúsculas no segundo.

De acordo com a Bíblia, a palavra “Igreja” é utilizada como referência a um agrupamento de cristãos e não a edificações ou templos. A origem da mesma provém do termo político e governamental grego *ekklesia* (ἐκκλησία) usado para anunciar uma assembleia nacional.

Já o vocábulo “igreja” tem como origem etimológica o termo grego *kyriake*. A palavra *kyriakon* (também grega) significa “do Senhor” e era utilizada para adjectivar as casas de culto Cristãs desde cerca do ano 300, principalmente no Oriente.

A arquitectura de Igrejas ou arquitectura eclesiástica refere-se à arquitectura de edifícios em igrejas cristãs. Tem evoluído ao longo dos cerca de dois mil anos de religião cristã, em parte através da inovação e por outro lado imitando outros estilos arquitectónicos, bem como dando resposta à evolução das crenças, hábitos e tradições locais.

As igrejas foram adaptadas inicialmente a partir doutros edifícios originalmente destinados a diferentes fins, mas, com a diversificação da arquitectura eclesiástica, vieram posteriormente a influenciar os edifícios seculares que têm muitas vezes imitado a arquitectura religiosa. No século XX, a utilização de novos materiais, tais como o betão, ou o uso de estilos simples teve o seu efeito sobre a concepção de igrejas e indiscutivelmente o fluxo de influência foi invertido.

A história da arquitectura de igrejas divide-se em períodos, em países (ou regiões) e pela origem religiosa. Esta questão é complicada por um lado pelo facto de edifícios construídos para um dado efeito poderem ter sido reutilizados para outro e por outro lado as mudanças na prática resultaram muitas vezes na alteração dos edifícios existentes. Há ainda dois aspectos que dificultam o traçado da história arquitectónica das igrejas, nomeadamente o facto de certos edifícios construídos por um grupo religioso poderem ter sido utilizados posteriormente por um grupo sucessor com diferentes propósitos e também o aparecimento de novas técnicas de construção que originaram alterações no estilo e dimensões.

O primeiro período dá-se durante a época em que a fé cristã era ilegal e as típicas igrejas não tiveram lugar. No início os cristãos oravam juntamente com os judeus em sinagogas e casas particulares. Após a separação de judeus e cristãos estes últimos continuaram a orar em casas particulares, na parte superior de prédios e em pátios cobertos.

Uma das primeiras residências adaptadas é em Dura, na Palestina, construída pouco depois de 200 d.C., quando duas salas foram convertidas apenas numa, mediante a supressão de uma parede, e uma plataforma de oração foi criada. À direita da entrada uma pequena sala foi criado um local de baptismo.

Como referido anteriormente, durante o período da perseguição romana aos cristãos, o culto mais regular teve lugar em residências privadas. Com a vitória do imperador romano Constantino na batalha de Ponte Milvian em 312 d.C., o Cristianismo tornou-se lícito e, em pouco depois, a religião privilegiada do Império Romano.

A construção das primeiras igrejas católicas aparece com a difusão do catolicismo pela Europa, tendo sido este local de culto a resposta encontrada para a satisfação espiritual de toda a massa populacional que havia sido convertida. A fé cristã começou a pronunciar-se em edifícios cuja arquitectura foi “moldada” de forma a corresponder aos princípios cívicos e imperiais. O mesmo aconteceu com as basílicas, onde um grande salão rectangular de reunião dos romanos se tornou (tanto no Oriente como no Ocidente) como o modelo de igreja, com uma nave central, corredores e, por vezes, galerias e janelas no topo. As basílicas pagãs tinham como foco a estátua do imperador, enquanto que as basílicas Cristãs substituíram o imperador por Deus como o rei dos céus. Na extremidade das basílicas foi colocado um altar, onde se sentava o bispo e o seu padre.

O tempo testemunhou a divisão do império Romano no século IV d.C. e, em seguida, no século V, ao colapso do Império Romano do Ocidente. Oriente e Ocidente, Roma e Bizâncio (cidade actualmente denominada Istambul) levaram os seus rumos distintos. A última divisão deu-se com a Grande Ruptura de 1054, mas a divergência havia começado muito antes disso. As igrejas ortodoxas eram frequentemente desenhadas, em planta, como uma cruz armada – a chamada cruz grega. Os seus interiores foram marcados pelo *iconostasis* – uma tela na qual estavam penduradas imagens sagradas e que dividiu o altar do corpo da igreja.

Em termos de tamanho e forma, as igrejas vão desde a pequena igreja paroquial de construção simples (apenas o suficiente grande para receber a congregação de uma pequena aldeia) à enorme e complicada catedral, onde está sediado um bispo. Nalgumas igrejas realizam-se pequenas cerimónias, enquanto que noutras as cerimónias são bastante complexas. Numas encontram-se desenhos e pinturas, noutras não. Assim, as igrejas variam na aparência, tendo sido planeadas para atender a um ou outro tipo de prática religiosa.

Todos os tipos de igrejas assentam em duas grandes categorias básicas, que as classificam quanto à forma da planta:

- igreja com transepto: é uma igreja em forma de cruz com o eixo longitudinal a atravessar ao centro desde um extremo (a entrada) até ao altar, na outra extremidade. A nave central da basílica é separada das naves laterais por duas fileiras de colunas que, regra geral, também envolvem o transepto. O transepto pode apresentar acabamento rectangular ou circular, em planta. A Catedral de Winchester⁷ (Figuras 2.1 e 2.2), situada na região de Hampshire (Reino Unido), é um exemplo perfeito de igreja Católica com este tipo de planta. É moldada como uma cruz, sendo a nave central interceptada numa extremidade pelo transepto.



Fig. 2.1 – Catedral de Winchester (Reino Unido): vista exterior

(sítio [1])

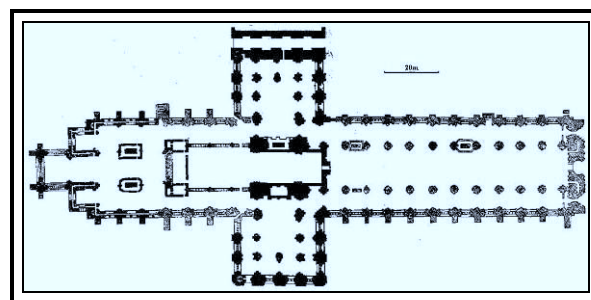


Fig. 2.2 – Catedral de Winchester (Reino Unido): planta

(sítio [2])

⁷ A Catedral de Winchester começou a ser construída no século XI mas as obras de expansão duraram até ao século XVI. A sua base foi um mosteiro fundado por monges Beneditinos no ano 642.

- igreja de planta central: de planta circular ou poligonal, tem um grande espaço central e é, normalmente, encimada por uma cúpula. A igreja Santa Costanza (Figuras 2.3 e 2.4), em Roma, é um exemplo de planta central, sendo constituída por um núcleo central (onde se localiza o altar) cilíndrico com cúpula rodeado por um deambulatório circular.



Fig. 2.3 – Igreja de Santa Costanza (Roma):
vista exterior
(sítio [3])

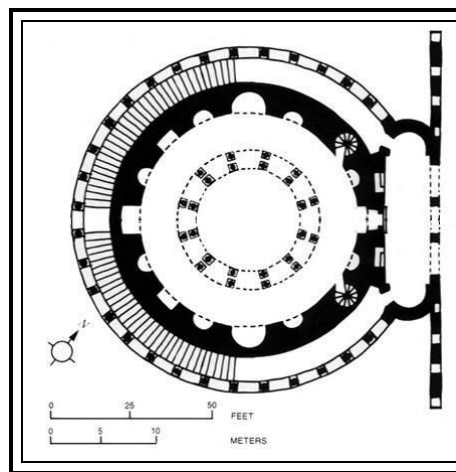


Fig. 2.4 – Igreja de Santa Costanza (Roma):
planta
(sítio [4])

Os dois tipos de igrejas acima mencionados representam extremos. Estas duas formas básicas são, por vezes, combinadas de muitas maneiras diferentes, em igrejas novas e medievais, e qualquer uma pode ser modulada como uma cruz através da adição do projecto de umas “asas” ou a combinação das duas formas básicas. A cruz pode ter a forma de um cruz grega (com braços de igual comprimento) ou uma cruz latina (com um braço mais longo, a nave central). Igrejas complexamente estruturadas podem ter salas separadas para o baptismo, armazenamento de material e para a administração. Podem ainda ter mais de um altar e capelas auxiliares.

Uma outra classificação pode ser feita para as igrejas, segundo o seu estilo arquitectónico, no subgrupo de seis categorias principais: Românico, Gótico, Renascimento, Barroco, Neoclássico e Contemporâneo. Os estilos arquitectónicos têm como função classificar períodos da história da arquitectura de acordo com as suas características físicas, técnicas e materiais, embora por vezes seja difícil atribuir um estilo específico a alguns edifícios dado que a sua construção atravessou diferentes épocas importantes ou foi obra de artistas com diferentes influências. Alguns estilos revelam maior importância face a outros, talvez pelo impacto que causaram ou pela adesão que tiveram.

Importa referir que existem muitos outros estilos arquitectónicos para além dos seis referidos, inclusive alguns próprios de Portugal, sendo que dois destes (Visigótico e Manuelino) integram-se na amostra de igrejas católicas usadas nesta investigação.

No Quadro 2.1 é possível observar de forma resumida as épocas marcadas por todos estes estilos arquitectónicos.

Quadro 2.1 – Estilos Arquitectónicos das igrejas estudadas

Estilo Architect.	Época	Estilo Architect.	Época
Visigótico	Século VI até XI	Renascimento	Século XVI até XVII
Românico	Século XII até XIII	Barroco	Século XVII até XVIII
Gótico	Século XIII até XV	Neoclássico	Século XVIII até XIX
Manuelino	Século XV até XVI	Contemporâneo	Século XX

A arte Românica, cuja representação típica são as basílicas de pedra com duas absides e torres redondas repletas de arcadas, estendeu-se do século XI à primeira metade do século XIII, sendo o estilo predominante na Idade Média.

Foi através das igrejas que o estilo Românico se desenvolveu em toda a sua plenitude. As formas básicas das igrejas Românicas são facilmente identificáveis: a fachada é simples, formada por um corpo cúbico central com duas torres nas laterais, finalizadas por tectos em coifa. Sobre a porta central está o óculo, abertura circular para iluminação e ventilação do interior (Fig. 2.5).



Fig. 2.5 – Igreja do Salvador Paço de Sousa (Penafiel): fachada românica típica

(sítio [5])

As arcadas repetem-se como elemento decorativo de janelas, portais e tímpanos. As colunas são finas e culminam em capitéis cúbicos trabalhados com figuras de vegetais e animais. No conjunto, as formas cúbicas dos muros e fachadas combinam com as cilíndricas das absides e colunas. Tem, por norma, um ou dois transeptos que cruzam a nave principal, formada por abóbadas de pedra.

As igrejas Românicas caracterizam-se por serem construções idênticas a fortalezas, feitas em pedra bruta, de paredes expostas quase sem reboco, com um número diminuto de janelas (em pequeno número para não comprometerem a estabilidade da construção) e interiores geralmente sombrios. Possuem ainda várias colunas no interior e contrafortes no exterior, proporcionando um reforço suplementar.

Em Portugal, o Românico foi implantado por volta do ano 1100, durante a administração do Conde D. Henrique, por monges franceses e durou até cerca do ano 1230. Foram reconstruídas várias igrejas nesse estilo durante a Reconquista com o intuito de reconverter as populações à fé cristã. Uma vez que a Reconquista começou a norte do país, actualmente não há vestígios deste estilo arquitectónico a sul de Lisboa. Contudo, as igrejas Românicas portuguesas fugiram um pouco ao estilo original assemelhando-se mais a grandes fortalezas devido às paredes grossas e poucas aberturas, como é mostrado nas Figuras 2.6 e 2.7.



Fig. 2.6 – Igreja Românica de Sousa (Felgueiras)

(sítio [6])

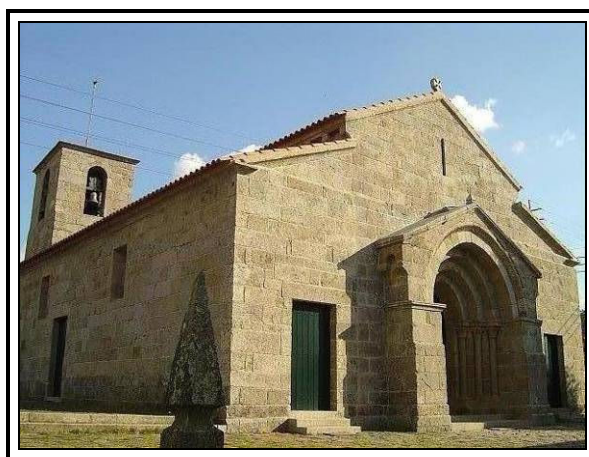


Fig. 2.7 – Igreja Românica de Airões (Felgueiras)

(sítio [6])

O Gótico surgiu em França, inserido num movimento geral abrangente a várias expressões artísticas, nos fins do século XII e expandiu-se pela Europa Ocidental, durante a Idade Média, até a inícios do século XVI. Este estilo ficou também conhecido como “Arte das Catedrais” uma vez que se desenvolveu fundamentalmente na arquitectura eclesiástica: igrejas, catedrais e mosteiros.

As construções Góticas foram verticalizadas e de certa maneira desmaterializadas, havendo um intenso cuidado com a distribuição da luz no espaço. A arquitectura de estilo Gótico surge assim de uma transformação estrutural importante da arquitectura românica. Dava especial importância à leveza estrutural e à iluminação das naves do interior do edifício, em contraposição à robustez e à deficiente iluminação interior das igrejas românicas. Esta arquitectura é marcada em especial pelo arco em ogiva (arco ogival ou arco quebrado).

Outras inovações foram introduzidas para além do arco em ogiva, nomeadamente nas abóbadas que passaram a ter nervura em pedra e enchimento de tijolo (abóbada de aresta), o que as tornou muito mais leves. Os contrafortes foram substituídos pelos arcos botantes: estruturas em forma de meio arco erguidas no exterior dos edifícios para apoiar as paredes, repartindo o peso destas e das colunas de forma a ser possível aumentar a altura das edificações. O pilar composto usado no estilo Românico é substituído por uma coluna lisa e redonda cuja massa, menos volumosa, facilita a passagem entre a nave central e as laterais, criando um espaço único. A utilização de rosáceas e vitrais pintados com cenas religiosas extraídas da Bíblia é abundante.

Um esquema estrutural de uma típica igreja Gótica é ilustrado na Fig. 2.8, onde são também identificados os elementos principais.

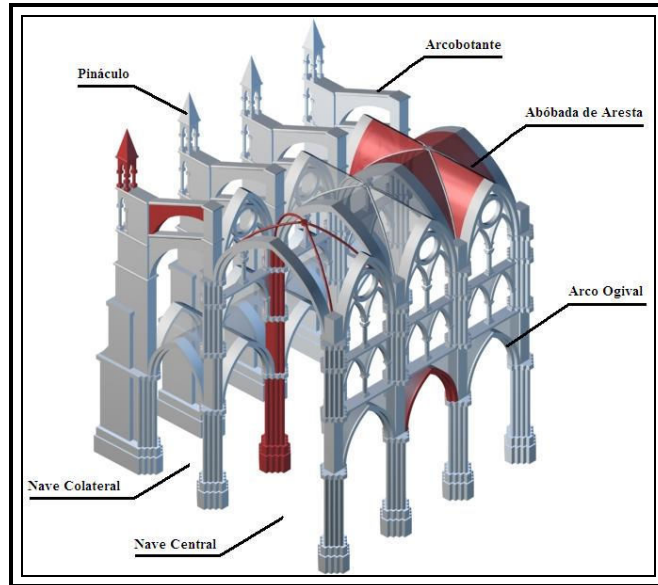


Fig. 2.8 – Esquema estrutural de uma catedral Gótica com identificação dos elementos principais

(sítio [7])

Em França e Inglaterra prevalecem as igrejas Góticas com torres truncadas (sem pontas), enquanto que na Alemanha predominam altas torres pontiagudas. Entre as catedrais Góticas francesas, destaca-se Notre Dame, em Paris (França) e entre as alemãs, a de Colónia, cuja construção começou em 1270 e prolongou-se por cinquenta e dois anos.

Em Portugal, o estilo Gótico surgiu por volta do ano de 1230 e durou até cerca de 1450. Chegou mais tarde a Portugal que no resto da Europa, concentrando-se fundamentalmente no centro do país.

O Mosteiro de Alcobaça e o Mosteiro de Santa Cruz (Coimbra) foram os primeiros edifícios Góticos a serem construídos em Portugal, contudo o Mosteiro da Batalha (Fig. 2.9) ultrapassa, em termos arquitectónicos, todos os outros edifícios nacionais da época.



Fig. 2.9 – Mosteiro da Batalha (Santa Maria da Vitória)

(sítio [8])

Entre finais do século XV e inícios do século XVI (1490-1520) desenvolve-se em Portugal uma arte denominada como Gótico-Manuelino ou, simplesmente, Manuelino. Este estilo integra-se no modo típico de construção do Gótico, conjugando elementos marítimos inspirados nos Descobrimentos Portugueses. Resulta, assim, na pretensão nacionalista de se diferenciar dos modelos estrangeiros, transportando para o espaço nacional elementos que faziam parte do quotidiano das viagens aventureiras à descoberta do mundo.

Desenvolve a tendência da abertura e homogeneização dos espaços interiores dos edifícios. As paredes exteriores e interiores são geralmente nuas, concentrando-se a decoração em determinados elementos estruturas como janelas, portas, arcos, tectos, abóbadas, pilares e colunas, arcos, nervuras, cornijas, platibandas e outros. Edifícios exemplares deste estilo são o Mosteiro dos Jerónimos (Fig. 2.10), o Convento de Cristo em Tomar (Fig. 2.11) e a Torre de Belém.



Fig. 2.10 – Mosteiro dos Jerónimos

(Sítio [9])



Fig. 2.11 – Pormenor de uma janela no Convento de Cristo

(sítio [10])

O Renascimento foi um movimento cultural marcante na Europa, considerado como um marco do final da Idade Média e o início da Idade Moderna. O termo Renascimento está ligado ao facto de, neste período, os eruditos europeus terem voltado a sua atenção para as grandes obras da antiguidade clássica, que consideravam terem sido esquecidas no decorrer da Idade Média. Foi nessas obras que encontraram as raízes das questões básicas que pretendiam desenvolver e respostas a alguns dos seus problemas, constituindo muitas vezes modelos para as obras que pretendiam criar. Não surgiu em todos os pontos do continente ao mesmo tempo. Começou em Itália, onde apresentou maior expressão, e difundiu-se pela Europa no decorrer dos séculos XV e XVI.

Nos inícios do século XV foi realizada uma competição em Florença para um projecto de telhado sobre a parte central da cruz da enorme e inacabada Catedral Gótica de Florença (Fig. 2.12). Foi ganha por Brunelleschi⁸, que se inspirou em cúpulas que tinha observado durante as suas viagens, como a da basílica de San Vitale (Ravenna, Itália) e a enorme cúpula do período romano que cobria o Panteão (Roma, Itália). Ele desenhou uma cúpula gigante, que é considerada como o primeiro grande edifício do período Renascentista. O seu estilo, em termos visuais, é nervurado e pontiagudo, puramente gótico. Foi o Renascimento na sua audácia e pelo facto de que ele olhou para antigas técnicas estruturais Romanas.

⁸ Filippo Brunelleschi (1377-1446) nasceu e morreu em Florença. Foi um arquitecto renascentista famoso, sendo a cúpula da catedral de Florença a sua obra mais conhecida.

Brunelleschi e outros como ele, desenvolveram uma paixão pelo estilo altamente refinado da arquitectura romana, em que as formas e decorações seguiam as regras de colocação e proporção que tinham sido desde há muito negligenciadas. Eles procuraram redescobrir e aplicar estas regras. Foi um período de teorização e experimentação arquitectónica. Brunelleschi construiu duas grandes igrejas em Florença demonstrando como o novo estilo poderia ser aplicado, a de San Lorenzo e a do Santo Espírito. São ensaios na Clássica, com fileiras de colunas cilíndricas, capitéis de ordem coríntia, entablamentos, arcos semi-circulares e capelas absidais.

A maior catedral desta época foi a Basílica de São Pedro em Roma (reconstrução), ilustrada na Fig. 2.13. O trabalho era resultado dos arquitectos Bramante, Rafael, Sangallo, Maderno e Miguel Ângelo com a sua gloriosa cúpula mais alta apenas 9 metros do que aquela que Brunelleschi tinha construído uma centena de anos antes em Florença. A cúpula é tanto um foco externo como interno. A cabeceira e os braços do transepto são idênticos, em forma, à cruz grega, recordando a planta de igrejas bizantinas. A nave foi, no entanto, um complemento.



Fig. 2.12 – Catedral de Florença

(sítio [11])



Fig. 2.13 – Basílica de S. Pedro (Roma)

(sítio [12])

A adopção da arquitectura Renascentista em Portugal foi dura. Foi introduzida por um arquitecto francês em 1517, e foi exercida até meados do ano de 1530 por arquitectos estrangeiros. Anos mais tarde o estilo evoluiu, de forma natural, mas lenta, para o Maneirismo (até 1650).

A Basílica de Nossa Senhora da Conceição, em Tomar, foi uma das primeiras igrejas num estilo Renascentista puro. A arquitectura simples e prática torna-a num dos mais significativos edifícios pré-Renascentistas de Portugal. Já no panorama da arquitectura maneirista, o melhor exemplo é o Claustro de D. João III no Convento de Cristo em Tomar (Fig. 2.14).

O arquitecto português mais conhecido na época era Afonso Álvares, que fez a Sé Catedral de Leiria (Fig. 2.15), a Sé de Portalegre e ainda a igreja de São Roque em Lisboa.



Fig. 2.14 – Claustro de D. João III (Tomar)

(sítio [13])



Fig. 2.15 – Sé de Leiria

(sítio [8])

O termo Barroco suspeita-se ser de origem portuguesa, advindo da palavra homónima que significa "pérola imperfeita". Este estilo tem origem em Itália e influenciou a arte europeia, consolidando-se desde o século XVII até à primeira metade do século XVIII. Foi inspirado no fervor religioso e no âmbito da Contra-Reforma, isto é, como reacção da Igreja Católica à insurgência do Protestantismo na Europa.

O Barroco surge associado às noções de irregularidade, desordem ou desequilíbrio, por oposição às normas do Classicismo (estatismo e rigidez). O efeito foi um estilo de arquitectura dinâmica em que as formas parecem ganhar vida por elas próprias, movendo-se e ondulando. Do ponto de vista formal recorreu à associação entre elementos rectos e elementos curvos, ao uso de formas dinâmicas, aos efeitos de luz e distorções ópticas, não passando despercebido aos espectadores. Privilegia uma arte cenográfica que destaca os aspectos decorativos (nomeadamente em altares e fachadas de igrejas) em detrimento das preocupações estruturais ou funcionais. Na verdade, trata-se de exaltar a fé, através do concurso das formas, convertendo os templos em locais atraentes para os fiéis.

Dentro dos principais artistas barrocos destacam-se o italiano Francesco Borromini (1599-1667), que construiu a igreja San Carlino alle Quattro Fontane (Fig. 2.16) e a igreja de Sant'Andrea delle Fratte (ambas em Roma), e o francês François Mansart (1598-1666), com obras importantes como a igreja de Val-de-Grâce (Fig. 2.17), em Paris, e *Château de Maisons* (Maisons-Lafitte).

Porém, como em Portugal as ideias de Martinho Lutero⁹ não eram seguidas, o Barroco não ficou muito ligado à cultura portuguesa. Portanto em vez de um novo estilo, passou-se directamente para um Barroco tardio logo que Portugal restaurou a sua independência, em 1640 – Arquitectura da Restauração (1640-1717). Foram tempos de dificuldades, com uma decadência económica e cultural, perdendo-se qualquer tipo de desejo por projectos grandiosos.

⁹ Ou Martin Luther (1483-1546), considerado o pai espiritual da Reforma Protestante.



Fig. 2.16 – Igreja de San Carlino alle Quattro Fontane
(Roma)

(sítio [14])



Fig. 2.17 – Igreja de Val-de-Grâce
(Paris)

(sítio [15])

Com a descoberta de ouro, diamantes e pedras preciosas no Brasil, nomeadamente em Minas Gerais (1697), deu-se o enriquecimento da coroa portuguesa. Portugal tornava-se assim no país mais próspero e rico da Europa, no século XVIII.

Para rivalizar com o rei francês Luís XVI, o rei D. João V mandou construir um grande número de edifícios luxuosos, recorrendo à contratação de arquitectos estrangeiros para projectarem os seus planos arrojados. Nasce desta forma o Barroco em Portugal (1717-1755).

Como exemplos desta arte, em Portugal, temos o espectacular Convento de Mafra (Fig. 2.18). Esta construção surgiu na tentativa de sintetizar a Basílica de São Pedro (Vaticano), a Igreja de Sant'Ignazio di Loyola (Roma) e o Palazzo Montecitorio, num só edifício. Isto deveu-se ao desejo do rei de ter a Cidade Eterna na região de Lisboa, relativamente perto do rio Tejo.



Fig. 2.18 – Convento de Mafra

(sítio [15])

Em Portugal, o Barroco evoluiu naturalmente para o Rococó. Foi desenvolvido principalmente no norte do país. Um exemplo dessa época é a obra do arquitecto italiano Nicolau Nasoni, a igreja e a Torre dos Clérigos no Porto.

Na segunda metade do século XVIII, por volta de 1750, surge na arte da Europa ocidental uma nova corrente estética, o Neoclassicismo. Nesta época viviam-se grandes mudanças (a nível social, filosófico, etc.), não havendo tempo suficiente para o homem as assimilar a ponto de gerar um novo estilo artístico que representasse esses valores. Por essa razão recorreu à equilibrada antiguidade clássica. Trata-se de uma reacção, por parte dos artistas intelectuais neoclássicos, aos excessos estilísticos (sensualidade e trivialidade) do Barroco e do Rococó, procurando substituí-los por um estilo com equilíbrio e proporção descendentes da cultura Clássica europeia e da antiguidade greco-romana. Este estilo floresceu em França e Inglaterra, sob a influência do arquitecto Palladio, e rapidamente se estendeu pelo resto dos países europeus, atingindo o seu apogeu em 1830. Surgiram os primeiros edifícios, em forma de templos gregos, as estátuas alegóricas e as pinturas de temas históricos. Derrubaram-se edifícios e largas avenidas foram traçadas de acordo com as formas monumentais da arquitectura renovada, ainda existentes nas mais importantes capitais da Europa.

Recuperando as formas e princípios estéticos da arte clássica, a arquitectura Neoclássica apresenta as seguintes características gerais: uso de materiais antigos (pedra, mármore, granito, madeiras) sem rejeitar os modernos (ladrilho cerâmico e ferro fundido); uso de técnicas avançadas, preferindo os sistemas construtivos simples; utilização de formas regulares, geométricas e simétricas para as plantas de edifícios; construções volumosas e maciças que evidenciavam a pureza formal e estrutural; a abóbada de berço e as cúpulas foram utilizadas para cobrir grandes áreas; aplicaram-se as formas clássicas na estrutura dos edifícios (ordens arquitectónicos, frontões triangulares, entablamentos direitos, decoração simples, planimetria das fachadas, acentuação do corpo central da fachada, etc.). A decoração foi contida e austera, tratando-se de uma decoração fundamentalmente estrutural. Recorreu-se à pintura mural e ao relevo em estuque. Nos espaços interiores singrava a organização.

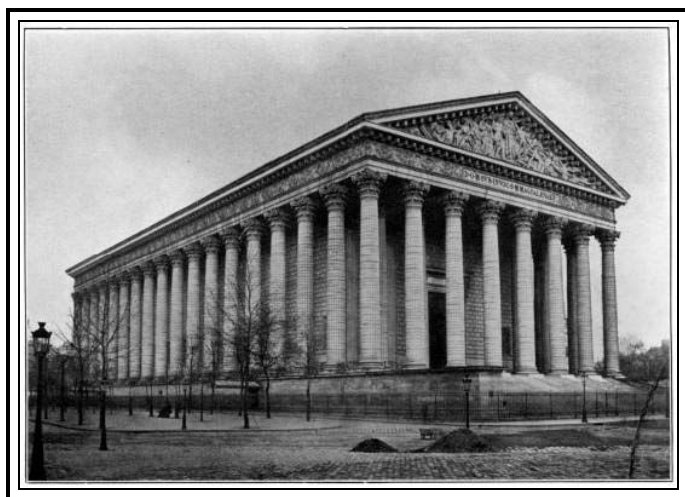


Fig. 2.19 – Igreja de Madeleine (Paris):
vista exterior
(sítio [7])



Fig. 2.20 – Igreja de Madeleine (Paris):
interior
(sítio [7])

A igreja de Madeleine (Figuras 2.19 e 2.20), situada perto da Praça da Concórdia (Paris), foi obra de Vignon e é, sem dúvida, uma amostra incontestável do retorno da arquitectura clássica que se verificou durante a época napoleónica. São edifícios grandiosos de estética totalmente racionalista.

A reconstrução de Lisboa, após o terramoto de 1755, deu origem à formação do estilo Pombalino, que, em grande parte por razões pragmáticas, integrou princípios inerentes à arte Neoclássica. Com o intuito de construir de forma rápida e económica, o plano de reconstrução e os projectos-tipo apresentaram uma síntese baseada na simplicidade, na simetria, e na repetição modular. Esta arquitectura ia ao encontro da estética do Neoclassicismo, principalmente no campo das tipologias civis. Um novo impulso foi dado pelo trabalho dos arquitectos italianos na capital, que introduziram o gosto clássico e a sobriedade nas fachadas. José da Costa foi para Roma com o objectivo de procurar inspiração para projectar o Teatro de S. Carlos. Mas só depois da construção do Palácio da Ajuda, a partir do projecto final do italiano Fabri e de Silva, se introduziu finalmente o Neoclacissismo em Portugal.

No Porto, os exemplos pioneiros são mais escassos mas não deixam de ser significativos. Ficaram a dever-se às relações com a Inglaterra através da comunidade britânica aí residente e ligada ao comércio do vinho do Porto. Os primeiros edifícios Neoclássicos portuenses são projectos de arquitectos e artistas ingleses, como o hospital de Santo António e a Feitoria Inglesa. Iniciada em 1795, a igreja dos Terceiros Franciscanos (Fig. 2.21), foi construída por A. Pinto de Miranda e sob a direcção do italiano Chiari. A frontaria, com suas colunas dórico-romanas, é um expoente do Neoclassicismo no Porto.

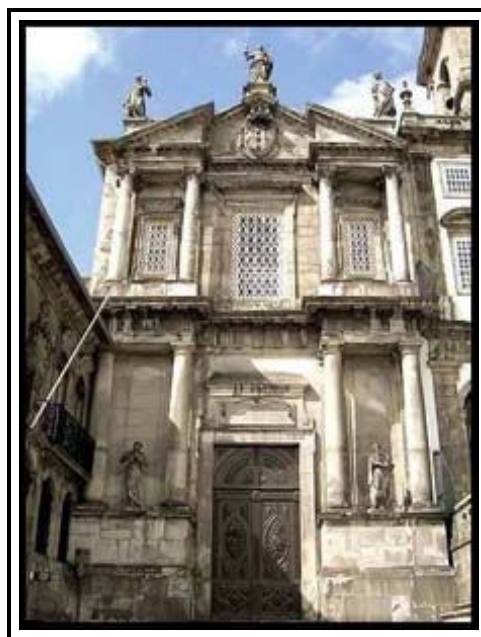


Fig. 2.21 – Igreja dos Terceiros Franciscanos (Porto)

(sítio [17])

Finalmente, as igrejas de Arquitectura Moderna foram introduzidas no final do século XIX como projectos não-tradicionais, começando a ser construídas na Europa e nos Estados Unidos. Estas não procuram a semelhança com os estilos anteriores, pelo contrário, usam formas geométricas planas e livres de todas as associações históricas. A tecnologia dos edifícios tem mudado rapidamente e o aço e betão trouxeram novas formas possíveis.

A igreja de planta central foi reavivada, com o seu altar colocado no meio da congregação e, no final do século XX, surgem as igrejas de estilo arquitectónico contemporâneo. A aceitação foi tal que se criou um novo interesse pela arte de igrejas e, assim, a escultura moderna, os mosaicos, os vitrais e as divisórias em tecido tomaram os seus lugares nos novos edifícios.

As Figuras 2.22 e 2.23 ilustram duas igrejas actuais de arquitectura Moderna e Contemporânea, respectivamente.



Fig. 2.22 – Igreja Saint Louis Abbey (Missouri, EUA)

(sítio [18])



Fig. 2.23 – Igreja de Hyvinkää (Finlândia)

(sítio [19])

Outros estilos foram adoptados na arquitectura de igrejas católicas, mesmo após a Arquitectura Moderna, como é o caso do Pós-Modernismo. No entanto, os estilos anteriormente descritos de forma sucinta são os mais abrangentes no que respeita ao património cristão e neles se inserem a arquitectura das igrejas seleccionadas neste trabalho.

2.2.2. AS MESQUITAS E A SUA ARQUITECTURA

As mesquitas são as casas de culto utilizadas para a prática do Islamismo. Trata-se de um lugar sagrado para os muçulmanos onde estes se congregam para realizar as suas orações diárias. Estão presentes em diferentes países e continentes, nomeadamente norte de África, Península Ibérica e Médio Oriente. Em Portugal existem actualmente duas mesquitas: a Mesquita Central de Lisboa (século XX) e a Mesquita de Mértola (século XII).

A palavra "Mesquita" é uma tradução do árabe *Masjid*, que quer dizer um lugar de prostração. Foram as primeiras instituições de ensino para os muçulmanos. O profeta Maomé costumava, ao término da oração da Alvorada, na sua mesquita, ser procurado pelos frequentadores para aprenderem os assuntos da sua religião (o Islamismo).

Entre os séculos VII e VIII, muitas mesquitas foram construídas, na Arábia Saudita, seguindo o modelo da casa de Maomé, em Medina, e utilizando os seus elementos básicos: uma planta quadrangular, com um pátio voltado para o sul e duas galerias com tecto de palha e colunas de tronco de palmeira. A área de oração era coberta, enquanto no pátio estavam as fontes para as abluções (purificações).

A Fig. 2.24 ilustra, em perspectiva axonométrica e planta, a Mesquita Umayyad (Damasco, Síria) onde é possível observar os elementos básicos que constituem este tipo de edifícios.

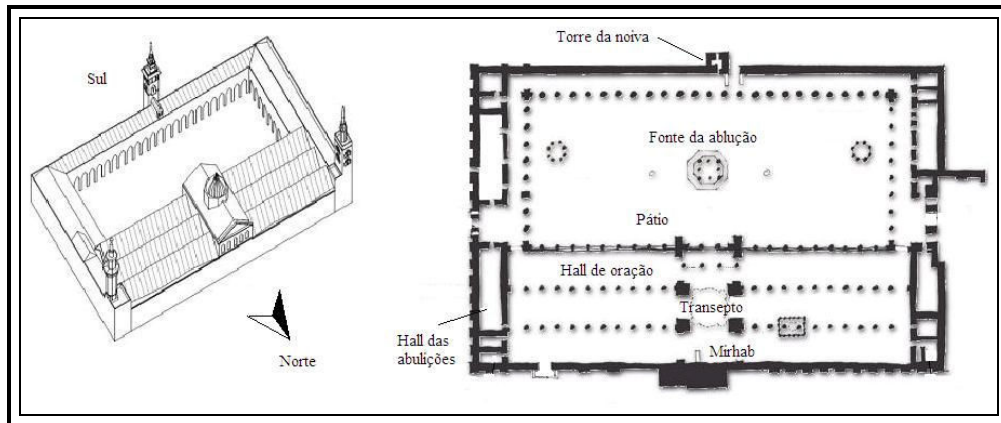


Fig. 2.24 – Perspectiva axonométrica e planta da Mesquita Umayyad (Síria)

(sítio [20])

No entanto, a arquitectura sagrada não manteve a simplicidade e a rusticidade dos materiais da casa do profeta. Tais mesquitas foram influenciadas pelas civilizações posteriores em relação à forma arquitectónica, ao espaço, aos métodos construtivos e aos materiais de construção. Estes têm-se desenvolvido e evoluído de forma significativa e variável por diferentes partes do mundo islâmico, mas as principais funções de cada um dos elementos básicos da mesquita têm-se mantido constante.

Pode-se dizer que a arquitectura das mesquitas é caracterizada por alguns princípios geométricos e elementos construtivos, nomeadamente: a cúpula, o minarete e o arco.

Na construção das mesquitas persistiu a preocupação com a preservação de certas formas geométricas, como o quadrado e o cubo. O géometra era tão importante quanto o arquitecto. Na realidade, era ele quem projectava o edifício, enquanto o arquitecto controlava a sua realização. Tudo era estruturado a partir da geometria e os edifícios e seus ornamentos eram a tradução arquitectónica das fórmulas e números de carácter místico, segundo a sua doutrina. A planta e alçado da mesquita Haseki (ver Fig. 2.25) permitem identificar esse jogo de formas geométricas.

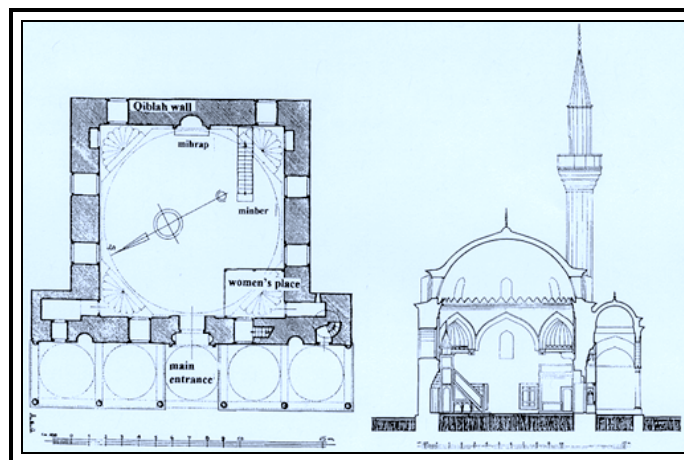


Fig. 2.25 – Planta e alçado da Mesquita Haseki (Istambul, Turquia)

(Ali Saim Ulgen, 1989)

A cúpula (Fig. 2.26) ou tecto de pendentes, herdado da cultura bizantina, é outro elemento presente na estrutura de mesquitas. Permitiu cobrir o quadrado com um círculo, sendo um dos sistemas mais utilizados na construção destes edifícios, embora não tenha existido um modelo comum. As numerosas variações locais, devido à grande expansão geográfica dessa cultura, fizeram com que as suas manifestações se adaptassem aos estilos locais mantendo a distribuição dos ambientes, mas nem sempre conservando a sua forma.

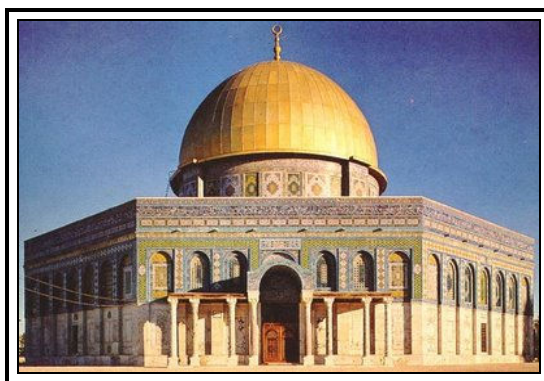


Fig. 2.26 – Cúpula da Mesquita *al-Qubba al-Sakhrah* (Mt. Moriah, Jerusalém)

(sítio [21])

No que diz respeito ao arco, nenhum outro estilo dispõe de uma variedade tão extensa de tipos e de formas. Inicialmente foi utilizado o arco de volta perfeita sobre colunas (Fig. 2.27), segundo a tipologia Bizantina, mas muito rapidamente surge a criação do arco quebrado (Fig. 2.28), já presente na arquitectura Sassânida¹⁰, que se articulou em numerosas variantes. Com anos depois das primeiras experiências, o arco Islâmico, livremente apoiado sobre as colunas, pilastras ou paredes, tinha assumido uma vasta gama de formas que o libertavam dos rígidos esquemas de outros estilos.

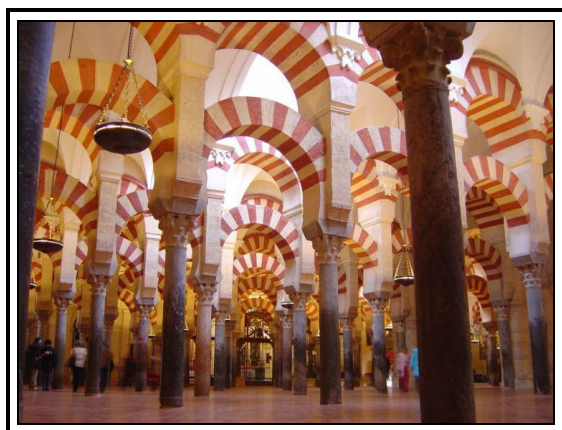


Fig. 2.27 – Arcos da Mesquita de Córdoba (Espanha)

(sítio [22])

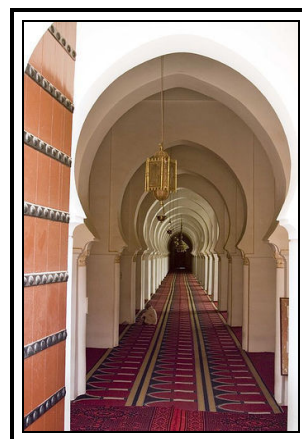


Fig. 2.28 – Arcos da Mesquita Koutoubia (Marrocos)

(sítio [7])

¹⁰ Arte Sassânida é o termo utilizado para descrever a arte produzida pelos Sassânidos da Pérsia do século III até à sua queda em 640.

O minarete (de *minar*, farol) significa “torre delgada com varandas” e suspeita-se que tenha derivado das torres de sinalização e vigia. A origem do minarete, todavia, deve recuar, segundo os estudiosos, às torres sepulcrais de Palmira, aos obeliscos Egípcios, às *massebah* (a estrela fúnebre ou comemorativa dos povos Semitas) e, segundo alguns, mas com escassa credibilidade, até aos campanários.



Fig. 2.29 – Mesquita Hassan II (Casablanca)

(sítio [23])

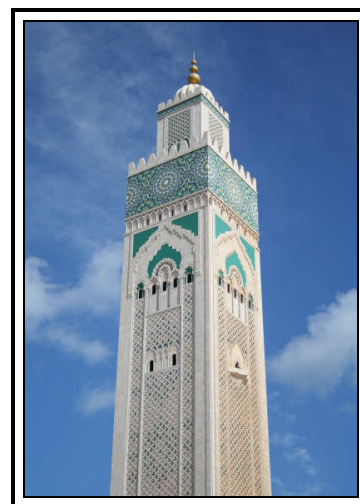


Fig. 2.30 – Pormenor do minarete (Casablanca)

(sítio [24])

A área externa da mesquita é marcada pelo minarete, torre cilíndrica, octogonal ou paralelepípedica. Este elemento tem uma altura significativa de forma a assegurar que a voz do *Muaddin* (pessoa responsável pelo *adhan* – chamada cinco vezes ao dia para a oração) podia ser ouvida pela vizinhança a uma distância considerável. A sua posição no núcleo urbano era sempre privilegiada. A Giralda¹¹, em Sevilha, é um exemplo dos minaretes de arte andaluza.

Originalmente, o minarete era construído entre o muro que rodeava o pátio, na maioria dos casos ao centro do lado Norte, e tinha planta quadrada, por vezes com um remate redondo. As suas paredes eram decoradas com motivos em relevo e dotadas de janelas.

Os Seljúcidas¹² introduziram o minarete cilíndrico, coberto de cerâmica, com remate de vários feitios e cónico, sobretudo na Turquia. Primeiramente, surge isolado, depois surgem aos pares, cada um deles colocado aos lados do *iwan*¹³ principal ou da entrada monumental (minarete Persa, em tubo de órgão). Com os Mogol¹⁴ (*Mughal* ou *Moghul*) na Índia e os Otomanos na Turquia, os minaretes aumentaram para quatro, situado nos ângulos do edifício ou do espaço sobre o qual ele se ergue; em casos muito raros, ascendem a seis.

¹¹ Torre de um dos edifícios mais emblemáticos de Sevilha: a Catedral de Santa Maria de Sevilla. Era a torre mais alta do mundo na altura da sua construção.

¹² Tribo islamizada de turcos nómadas criada no final do século X.

¹³ Espaço coberto por uma cúpula ou livre, rodeado por três lados e com um lado livre. É característico de edifícios Persas e da Ásia Central.

¹⁴ Império Mogol (1526-1857) foi uma entidade geo-política que chegou a dominar quase todo o subcontinente indiano.

Na Turquia, o minarete adquire uma característica forma alongada, com um tecto cónico e esguio (minarete em agulha), muitas vezes com três ordens de estreitos varandins, enquanto que na Índia é mais apertado e sempre coroado com uma cúpula sobre uma pequena varanda poligonal. No Egipto, por sua vez, o estilo mameluco¹⁵ empregou um único minarete (muitas vezes, ao lado direito da entrada), com base quadrada, parte central octogonal, parte terminal cilíndrica e um longo remate final.

Actualmente o maior minarete do mundo é o da recente mesquita Hassan II (Fig. 2.29 e 2.30), construída entre 1986 e 1993 e localizada em Casablanca (Marrocos), totalizando uma altura de 210 metros.

Outros detalhes construtivos interiores consideram-se não menos importantes, nas mesquitas.

A parede *qibla* (também designada *qiblah*, *kibla*, ou *kiblah*) localiza-se no fundo da mesquita e indica a direcção da cidade Santa (Meca). É perpendicular à linha imaginária que aponta para Al-Qaba em Meca. Há especulações que a ideia da orientação desta parede deriva da prática Judaica em indicar a direcção de Jerusalém nas sinagogas. Os fiéis colocam-se em linhas paralelas à parede *qibla* e virados para a mesma durante a Oração, verdadeiro símbolo da unidade de toda a *Ummah* – a comunidade dos muçulmanos.

O *mihrab* (Fig. 2.31) significa literalmente “nicho de rezar” e constitui a parte mais preciosamente ornamentada na mesquita, consistindo num pequeno nicho de dimensão variável e localizado normalmente a meio da parede *qibla*. Está inserido nesta, tendo planta semicircular e topo arqueado também semicircular. Normalmente existem em número singular e são feitos de madeira ou alvenaria, adornados com pilares. É neste local que se localiza a pessoa responsável por liderar a congregação, sendo considerado pela maioria dos muçulmanos como o local mais sagrado na mesquita. A sua finalidade e forma foram herdados da mesquita do profeta quando, após a sua morte, as pessoas marcaram o local por ele utilizado para defender e conduzir a oração sobre uma pedra, que viria a ser substituída mais tarde por um *mihrab*.

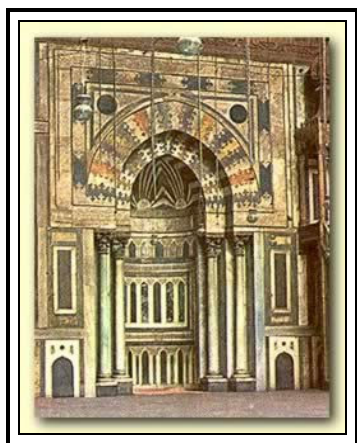


Fig. 2.31 – Mihrab da Mesquita Sultan Hassan (Cairo)

(sítio [23])



Fig. 2.32 – Minbar da Mesquita Muhammed Ali (Cairo)

(sítio [24])

¹⁵ Os primeiros mamelucos surgiram no final do séc. IX e eram escravos que foram convertidos ao Islão. Serviam os seus amos como criados domésticos, sendo também recrutados para o exército dos califas muçulmanos e pelo Império Otomano.

Junto ao *mihrab*, localizado à direita, surge o *minbar* (Fig. 2.32). Trata-se de um púlpito que pode ser em mármore, de alvenaria ou em madeira. É antecedido por uma escadaria cujos lados são ricamente trabalhados ou esculpidos e que leva a um estrado descoberto ou encimado por um baldaquino com tecto cónico, ou ainda coberto por uma cúpula. Ao *minbar* ascende um muçulmano (em regra qualquer um, mas por norma um doutor em teologia ou uma personagem importante), que pronuncia o *khutba* (oração de Sexta-feira). É possível encontrar, em algumas mesquitas, mais que um *minbar*.

Outro elemento típico da arquitectura interior das mesquitas é a *dikka*. Trata-se de uma plataforma suportada por colunas e geralmente em madeira, alinhada com o *mihrab*, onde os *muezzins* fazem as chamadas para o Sermão do *Imam*, antes das orações nas mesquitas.

A Fig. 2.33 dá um exemplo destes três importantes elementos (*mihrab*, *minbar* e *dikka*), mostrando também a sua disposição no interior das mesquitas.

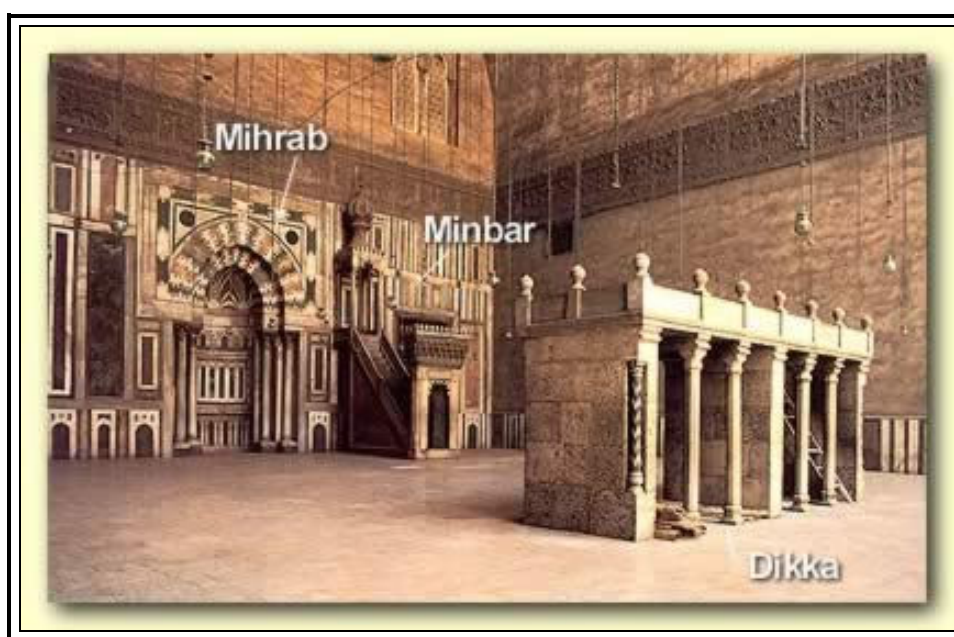


Fig. 2.33 – Vista interior da mesquita Sultan Hassan (Cairo, Egipto) com pormenor do *mihrab* e *minbar* localizados na parede *qibla*, assim como o *dikka* em frente a estes elementos.

(sítio [25])

Na decoração de mesquitas não são usados móveis, bancos ou assentos, somente tapetes. Para o Islão é proibido qualquer reprodução de figuras de animais ou seres humanos, por isso a caligrafia é muito usada na decoração (Fig. 2.34 e 2.35). Os desenhos suaves que formam imagens e que marcam todos os pontos principais da mesquita e encontram sua expressão mais significativa no *mihrab*. A luz é vastamente utilizada para compor a ambientação. A ornamentação inclui com frequência, “estalactites” em gesso, em forma de prisma e com a face curva, a arquitectura islâmica também se caracteriza pelo uso do tijolo, muitas vezes coberto de mosaicos, estuque ou gesso.



Fig. 2.34 – Pormenor da decoração de um lintel
(Mesquita al-Ghouri, Cairo)

(sítio [26])



Fig. 2.35 – Caligrafia presente no interior de uma mesquita
(Mesquita An-Nahdhah, Singapura)

(sítio [27])

Outro símbolo importante é a água, presença marcante das construções islâmicas. Na mesquita a água com seu simbolismo de purificadora serve para marcar a passagem do profano ao sagrado, do mundo real para o transcendente. No *Sahn* – pátio aberto que antecede o *Haram* (sala destinada às orações) – há sempre um *sabil* (fonte de água corrente) na qual os fiéis fazem as suas abluções rituais – o *wudhu* – lavando mãos, antebraços, rosto e pés, purificando-se para a oração.

Um conjunto único de critérios não pode ser utilizado para uma classificação geral das mesquitas e igrejas. Enquanto que as igrejas podem ser classificadas quanto ao seu estilo arquitectónico, as mesquitas podem apenas ser classificadas em dois tipos principais, de acordo com o seu estilo de construção: mesquitas *tradicionais* e mesquitas *contemporâneas*.

O primeiro deles – mesquitas tradicionais – classifica as mesquitas de acordo com a sua forma e configuração arquitectónica. Algumas destas mesquitas têm um importante valor religioso e a sua construção interna e externa não pode ser alterada a fim de otimizar as características acústicas. As mesquitas tradicionais surgem em três estilos diferentes tal como foram apresentadas durante a vida do Profeta.

O Hipostilo¹⁶ (*Hypostyle Hall*) tem um telhado apoiado por colunas em madeira de palmeiras e tem dimensões modestas para se realizar a oração diária, a oração local de Sexta-feira e outras ocasiões locais. As Figuras 2.36 e 2.37 ilustram uma vista exterior e interior, respectivamente, da mesquita Al-Abbas em Asnaf (Yemen), representativa do Hipostilo. O segundo estilo é a Mesquita de Pátio (*Courtyard Mosque*) que apresenta um *haram* abrigado (pórtico protegido) e um *sahn* (pátio), como pode ser visível na Fig. 2.38. Este tipo é usado para orações diárias, orações de Sexta-feira e debates políticos debaixo de um telhado coberto. O último estilo é descrito como “Mesquita em Espaço Aberto” e é utilizado para grandes orações congregacionais e importantes ocasiões islâmicas (Fig. 2.39).

¹⁶ Tecto suportado por grande número de colunas.



Fig. 2.36 – Mesquita Al-Abbas (Iémen): vista exterior
(Wasim, 2007)

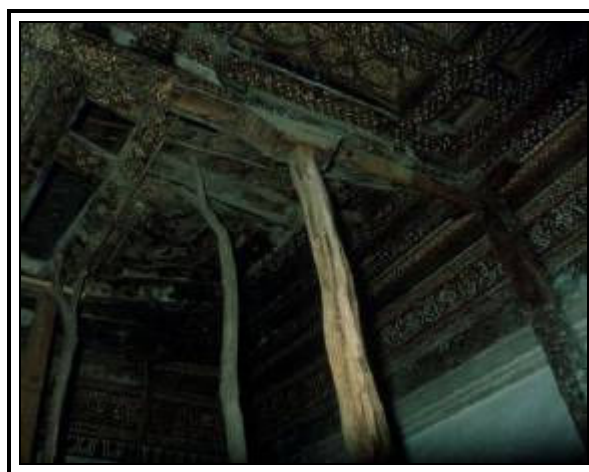


Fig. 2.37 – Mesquita Al-Abbas (Iémen): vista interior
(Wasim, 2007)

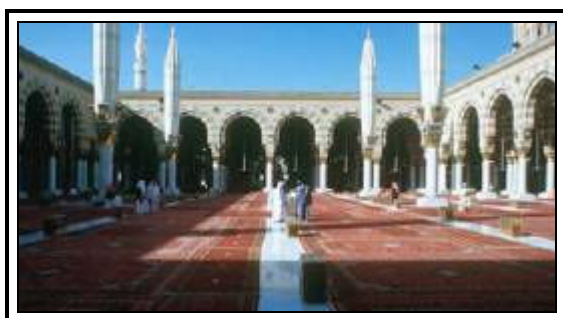


Fig. 2.38 – Mesquita do Profeta (Medina)
(Wasim, 2007)



Fig. 2.39 – Mesquita em espaço aberto (Jeddah)
(Wasim, 2007)

As mesquitas contemporâneas podem ser classificadas em quatro subtipos, cada um deles com um espaço adicional para a separação dos oradores femininos, de acordo com a sua dimensão e localização na comunidade. O primeiro subtipo, o chamado Monumento Maior (*Major Landmark Structure*), é projectado arquitectonicamente para criar um “monumento” cumprindo funções sociais e dominando a influência sobre o ambiente urbano. Este tipo pode acomodar mais de 3000 pessoas e normalmente é construída por um governo ou uma figura importante no país, como um rei ou príncipe. O segundo subtipo grande é a Mesquita do Grande Estado. Este tipo de mesquita é geralmente localizado numa grande cidade como um monumento público e pode acomodar de 1500 a 3000 pessoas. Tais mesquitas são habitualmente construídas pelo governo do Estado, expressando o compromisso do Governo ao Islão. O terceiro é o subtipo Mesquitas Comunitárias. Estas são distribuídas em todas as comunidades urbanas e rurais e são utilizadas para as orações de Sexta-feira e orações diárias, bem como para oferecer mais faculdades tais como bibliotecas, salas de reuniões, clínicas e assim por diante. Acomodam no mínimo 300 e no máximo 1.000 pessoas. A última subdivisão é a Mesquita Pequena Local, que são de dimensões pequenas e suportam um número relativamente pequeno de pessoas (menos de 300).

2.3. CONCEITO E OBJECTIVOS DE UMA “BOA ACÚSTICA”: A PALAVRA E A MÚSICA

2.3.1. OBJECTIVOS ACÚSTICOS NAS IGREJAS CATÓLICAS

No que se refere às igrejas católicas, estas apresentam uma planta de configuração variada (octogonal, em cruz grega, etc.) e apresentam, por norma, uma larga galeria – a nave central. Algumas delas são cobertas por uma cúpula de altura variável. Os acabamentos interiores diferem das mesquitas e também variam de uma igreja para outra. De facto, enquanto que em algumas delas muitas superfícies estão cobertas por mosaicos ou mármore, noutras as paredes e tecto são feitos de pedra e tijolo. A maioria das paredes laterais tem acabamentos em pintura de gesso. Os volumes dos espaços interiores variam num intervalo grande de valores, podendo ser inferiores a 1000 m³ ou superiores a 150.000 m³.

As igrejas são um tipo de auditório com características de utilização bem específicas, onde coexistem a palavra e a música, e necessidades arquitectónicas bem marcadas em termos de áreas e volumes.

Existe uma premente e actual necessidade de estudar e averiguar o que constitui o ambiente acústico de uma igreja e obter uma melhor compreensão das características acústicas destes edifícios e da sua evolução pela mudança de estilos e vontades.

Hoje, e após o Segundo Concílio do Vaticano¹⁷, a inteligibilidade da palavra nas igrejas católicas é fundamental, ajustada à necessidade da importância que a palavra presta nos serviços religiosos.

O interior dos espaços religiosos exige condições adequadas ao exercício das funções intrinsecamente ligadas ao seu destino. Nas igrejas Católicas as funções básicas são as cerimónias litúrgicas e serviços, onde se inclui: as orações ou sermões, a congregação, os coros de igreja e cantos gregorianos, a música instrumental (incluindo o órgão de igreja), etc.

Isto significa que é necessário ter em atenção vários aspectos, quando se está perante a realização de um projecto acústico de uma igreja. De facto, há que assegurar o cumprimento de algumas exigências como:

- inteligibilidade da palavra, uma vez que não basta apenas ouvir as orações mas também compreendê-las e entendê-las com facilidade;
- musicalidade, necessária tanto durante a actuação de pequenos corais de cânticos religiosos, como também para a música do órgão de igreja ou mesmo de grupos instrumentais e orquestras;

Devido a estas exigências, as igrejas devem assegurar simultaneamente os requisitos acústicos dos auditórios e das salas de concerto, para além de uma protecção cuidadosa dos ruídos exteriores, o que torna complicado o planeamento acústico desses locais.

Um vasto leque de performances acústicas exige a conciliação de condições acústicas contraditórias, uma vez que é considerado que o tempo de reverberação para a palavra deve ser bastante inferior ao adequado para a música, especialmente para o órgão de igreja. Na Fig. 2.40 podem ser observados os tempos de reverberação aconselháveis em função do volume dos diferentes tipos de espaços.

¹⁷ Concílio Ecuménico da Igreja Católica aberto sob o papado de João XXIII no dia 1 de Outubro de 1962 e terminado sob o papado de Paulo VI em 8 de Dezembro de 1965. Neste Concílio foram discutidos e regulamentados vários temas relacionados com a Igreja Católica.

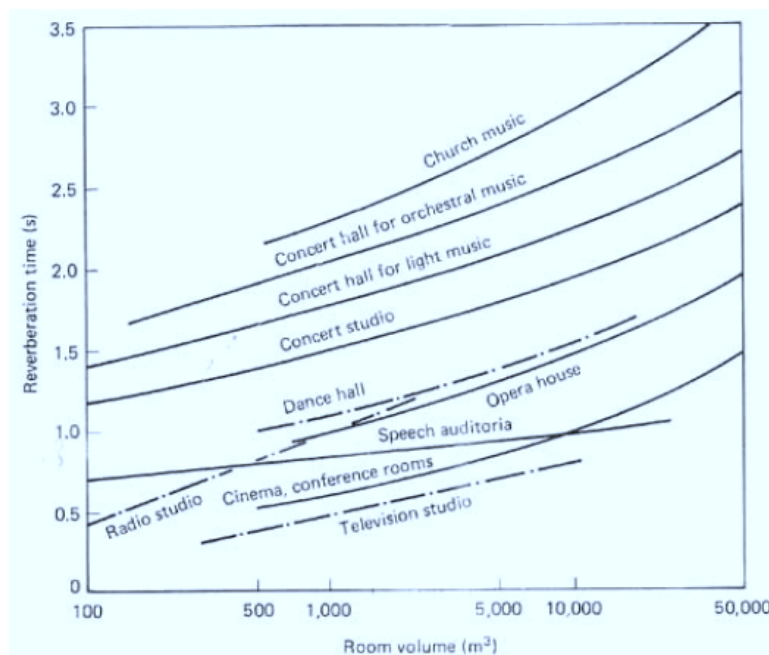


Fig. 2.40 – Exemplos de tempos de reverberação recomendados em função do volume dos espaços

(Wilson, 1989)

A obtenção de tempos de reverberação curtos por exemplo em igrejas de grande volume torna-se uma tarefa difícil. Por outro lado, a música e a palavra requerem elementos arquitectónicos e decorativos que podem causar a reflexão múltipla de ondas sonoras e uma consequente dispersão do som.

O problema das inadequadas condições acústicas diz respeito a muitas igrejas modernas onde as questões da acústica interior são deixadas para um engenheiro electrotécnico, que através da instalação de dispositivos de reforço electro-acústico tem que melhorar a qualidade da inteligibilidade da palavra e da música. Infelizmente, o facto de muitas vezes se conceberem defeituosamente o interior dos edifícios, torna esse tipo de melhorias quase impossível até mesmo usando aparelhos altifalantes de última geração. Por essa razão pode-se considerar que a arquitectura da igreja é o principal factor com o qual a qualidade acústica pode ser relacionada. Contudo, este aspecto não é por norma tomado em consideração na fase de concepção dos edifícios.

De uma forma explícita, pode-se considerar que os problemas encontrados nos projectos podem ser relacionados com a falta de um método específico que permita avaliar as condições acústicas no interior das igrejas.

Até aos dias de hoje têm sido muitas vezes adoptados para as igrejas métodos desenvolvidos para os eventos músico-verbais em auditórios. Contudo esta situação tende a alterar-se, pretendendo-se que no futuro se use metodologias apropriadas à avaliação das complexas propriedades acústicas das igrejas Católicas.

2.3.2. OBJECTIVOS ACÚSTICOS NAS MESQUITAS

Assim como em muitas outras religiões, os adoradores islâmicos por vezes precisam de solidão enquanto noutras alturas devem sentir-se em união absoluta com a comunidade. A acústica é um dos principais meios para criar esses efeitos.

Segundo as funções da mesquita, o maior factor determinante sobre o qual o seu projecto arquitectónico deve ser baseado nas suas exigências acústicas. O ambiente acústico óptimo na mesquita pode ser expresso em termos de noções básicas de exigências fonéticas, tais como:

- audibilidade sonora, onde a intensidade sonora é para ser recebida de forma adequada por todos os membros da audiência com um certo grau de uniformidade;
- inteligibilidade do discurso, onde todos os sons do discurso devem ser compreensíveis independentemente da posição do ouvinte, de forma a este se juntar ao recital das versões musicais do Corão.
- percepção total de uma ênfase especial estabelecida em algumas consoantes e vogais quando são recitados versos do Corão.
- naturalidade na voz do utilizador, decorrentes da capacidade do ouvinte para localizar a verdadeira fonte e, assim, manter um sentimento de realismo e naturalidade.

As mesquitas são geralmente rectangulares, de forma alongada, com grandes rácios comprimento/largura e com tectos relativamente altos. Além disso, cada mesquita tem como elementos básicos um recanto de oração (*mihrab*), uma plataforma para o pregador (*minbar*) e por vezes, na maioria das mesquitas, há uma cúpula centrada no telhado.

A maioria das mesquitas existentes possui irregularidades nas paredes e outros tipos de ornamentos diferentes que ajudam a reflectir e a propagar o som. Apresentam acabamentos com materiais acusticamente reflectores em todas as superfícies, como é o caso do gesso, da faia turca decorada, do mármore, do tijolo e pedra. Contudo, a superfície do pavimento é uma excepção, sendo normalmente forrada com tapete altamente absorvente (especialmente em altas frequências). As mesquitas são utilizadas em muitos níveis de ocupação, assim, o pavimento coberto por tapete (uma das importantes características que diferencia as mesquitas das igrejas) traz a vantagem de compensar a diferença de absorção em alguns pontos.

As abóbadas e cúpulas são usadas com maior frequência do que os tectos planos. Embora estas superfícies côncavas sejam potencialmente problemáticas devido à grande probabilidade de se concentrarem ondas sonoras, a acústica é geralmente boa, especialmente em mesquitas antigas. Alguns dos escassos estudos sobre a acústica em mesquitas antigas mostram que existem nervuras diferentemente dispostas e incorporados nas cúpulas para difundir sons. Mas em muitas mesquitas recentes, essa concentração de ondas na cúpula constitui um grave problema.

O estudo feito por Hammad a mesquitas na Jordânia permitiu concluir que a acústica neste tipo de edifícios é muitas vezes negligenciada e, consequentemente, a inteligibilidade da palavra é pobre. Chegou-se à conclusão que os resultados obtidos se deviam ao fraco tratamento acústico feito no interior das mesquitas e ao imperfeito isolamento acústico.

As fontes de ruído ambientais estão a tornar-se mais complicadas hoje em dia e tendem a afectar-nos de mais maneiras do que no passado. Antes do aparecimento da electricidade e do automóvel, as fontes de ruído ambientais eram principalmente devidas a animais utilizados para transporte, à conversação e ao trabalho das pessoas, e ao ruído meteorológico (vento, chuva e granizo).

Não havia ruídos de tráfego ou de passagens aéreas de aeronaves, de ar condicionados ou de ventiladores, de televisores ou de rádios, ou mesmo de ruídos de máquinas provenientes de zonas industriais.

O *mihrab* foi inicialmente desenvolvido para indicar a direcção de *qibla* e para proporcionar ao *Imam* espaço suficiente para estar à frente de todos os outros fiéis durante orações, bem como para melhorar o sinal sonoro através de reflexões. No entanto, as actuais práticas de concepção têm alterado o tamanho e a forma do *mihrab* sem ter em conta quaisquer considerações às suas implicações acústicas.

A planta rectangular e os grandes volumes das mesquitas continuam a ser mantidas desde o passado apesar dessas características já não serem necessárias actualmente. No passado, o tecto alto, as cúpulas e as grandes janelas serviam como um sistema de controlo ambiental passivo que permitia ventilações naturais bem como a penetração da luz do dia. Além disso, as cúpulas e os arcos foram introduzidos como elementos estruturais para permitir a criação de espaços maiores. Actualmente a ventilação natural caiu em desuso e está a ser substituída por sistemas mecânicos de ventilação. Além disso, a luz do dia não é tão importante como era antes da invenção da electricidade e pode ser considerada como pouco económica em mesquitas, se for lembrado que 60% do tempo em que a mesquita é utilizada é durante a noite.

Outros factores que enfatizam a importância do ambiente acústico em mesquitas, pelo menos na maioria, incluem o facto da língua árabe ser utilizada durante as orações. Além disso, a tranquilidade é uma das qualidades mais importantes para os muçulmanos durante as orações e bons ambientes acústicos tendem a ajudar a atingir essa qualidade. Além disso, a absorção sonora em mesquitas é muito limitada. É fornecida através dos tapetes bem como através das pessoas. No entanto, os diferentes modos de utilização por parte dos fiéis bem como a variação no número de pessoas que frequentam cada oração diária e a oração de Sexta-feira, afectam grandemente a absorção sonora total na mesquita e, portanto, torna o controlo da duração do tempo reverberação mais complexo. Todos estes factores ilustram a importância e a necessidade de ambientes acústicos especiais em mesquitas, e, por conseguinte, apela para novas investigações da acústica nestes locais.

3

MÉTODO

3.1. SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO ESTATÍSTICA

3.1.1. SELECÇÃO DAS IGREJAS CATÓLICAS E RESPECTIVA CARACTERIZAÇÃO

As igrejas Católicas seleccionadas para a realização deste estudo foram escolhidas entre uma amostra já analisada no âmbito da investigação “Acústica de Igrejas”, levada a cabo por A. P. Oliveira de Carvalho (1994).

Para a análise dos parâmetros acústicos objectivos foram utilizadas um total de cinquenta e quatro igrejas Católicas diferentes, todas localizadas em território nacional, embora dispersas. Dentro desta amostra dividem-se dois grupos de igrejas (sendo algumas comuns a ambos): quarenta e uma em que Oliveira de Carvalho mediu o Tempo de Reverberação e a Claridade (entre outros parâmetros) e outra amostra de trinta e uma usadas por Margarida Lencastre no estudo da inteligibilidade da palavra, onde procedeu à medição do RASTI.

Entende-se que a totalidade desta amostra é válida para realizar o estudo em causa, dado que para além ser constituída por um número considerável de igrejas, também tem a particularidade de abranger um vasto leque de épocas, estilos arquitectónicos (todos os existentes em Portugal) e praticamente todas as regiões do país. Por sua vez, Portugal é um dos países europeus mais antigos e desempenhou um papel proeminente nalguns dos mais importantes eventos da história mundial. Constata-se que é possuidor de um extenso património religioso e apresenta uma localização quase perfeita para encontrar a história das igrejas Católicas do mundo.

Assim, considera-se que a amostra de igrejas utilizada neste estudo é suficientemente alargada para que os resultados aqui obtidos sejam extrapolados para outros casos existentes, nomeadamente em continentes onde a presença e arquitectura religiosa portuguesa se fez notar, como é o caso de África, América do Sul e Extremo Oriente.

Os dois grupos de igrejas usadas para este trabalho são apresentadas no Quadro 3.1 e 3.2, correspondendo o primeiro às quarenta e uma igrejas Católicas portuguesas que serviram para análise do Tempo de Reverberação (RT) e Claridade (C_{80}), e o segundo quadro relativo às trinta e uma usadas para avaliação do RASTI. Nos mesmos quadros são ainda discriminadas as localizações e estilos arquitectónicos de cada uma das mesquitas.

Quadro 3.1 – Localização e Classificação das igrejas Católicas para análise dos parâmetros RT e C_{80}

(Carvalho, 1994)

Nº	NOME	LOCALIZAÇÃO	ESTILO ARQUITECTÓNICO
1	Almansil	Loulé	Barroco
2	Armamar	Viseu	Românico
3	Basílica da Estrela	Lisboa	Neoclássico
4	Bravães	Viana do Castelo	Românico
5	Bustêlo	Penafiel	Barroco
6	Cabeça Santa	Penafiel	Românico
7	Matriz (Caminha)	Viana do Castelo	Gótico
8	Cedofeita (nova)	Porto	Contemporâneo
9	Cedofeita (velha)	Porto	Românico
10	S. Pedro de Cête	Paredes	Gótico
11	Clérigos	Porto	Barroco
12	Matriz (Golegã)	Golegã (Santarém)	Manuelino
13	Lapa	Porto	Neoclássico
14	Leça do Bailio (Mosteiro)	Matosinhos (Porto)	Gótico
15	Lourosa	Oliveira do Hospital	Visigótico
16	Matriz (Mértola)	Mértola	Manuelino
17	Misericórdia	Évora	Barroco
18	S. João Baptista	Moura	Manuelino
19	Nª Sra. Boavista	Porto	Contemporâneo
20	Paço de Sousa	Penafiel	Gótico
21	Santíssimo Sacramento	Porto	Contemporâneo
22	Santa Clara	Porto	Barroco
23	S. Bento de Cástris	Évora	Manuelino

Quadro 3.1 – (continuação)

Nº	NOME	LOCALIZAÇÃO	ESTILO ARQUITECTÓNICO
24	S. Francisco	Évora	Manuelino
25	S. Francisco	Porto	Barroco
26	S. Frutuoso	Braga	Visigótico
27	S. Gens	Boelhe (Penafiel)	Românico
28	S. Pedro de Ferreira (Mosteiro)	Paços de Ferreira	Românico
29	S. Pedro de Rates	Póvoa de Varzim	Românico
30	S. Pedro de Roriz	Negrelos (Santo Tirso)	Românico
31	S. Roque	Lisboa	Barroco
32	Sé (Lamego)	Lamego	Românico
33	Sé (Porto)	Porto	Românico
34	Sé (Silves)	Silves	Manuelino
35	Seroa	Paços de Ferreira	Contemporâneo
36	Serra do Pilar	Vila Nova de Gaia	Renascentismo
37	Tibães (Mosteiro)	Tibães (Braga)	Barroco
38	Matriz (Viana do Alentejo)	Viana do Alentejo	Gótico
39	Matriz (Vila do Bispo)	Vila do Bispo	Barroco
40	S. Lourenço	Vila Nova de Azeitão (Sesimbra)	Barroco
41	Matriz (Vouzela)	Vouzela	Românico

Quadro 3.2 – Localização e Classificação das igrejas Católicas para análise do RASTI

(Lencastre, 1998)

Nº	NOME	LOCALIZAÇÃO	ESTILO ARQUITECTÓNICO
1	Lapa	Porto	Neoclássico
2	Clérigos	Porto	Barroco
3	Santa Ildefonso	Porto	Neoclássico
4	Santíssimo Sacramento	Porto	Contemporâneo
5	Gondarém	Porto	Contemporâneo
6	S. Francisco	Porto	Barroco
7	Convento dos Grilos	Porto	Neoclássico
8	S. Bento da Vitória	Porto	Neoclássico
9	S. Miguel Nevogilde	Porto	Barroco
10	Sé (Porto)	Porto	Românico
11	Santa Clara	Porto	Barroco
12	Cedofeita (nova)	Porto	Contemporâneo
13	Cedofeita (velha)	Porto	Românico
14	Nª Sra. Boavista	Porto	Contemporâneo
15	Serra do Pilar	Vila Nova de Gaia	Renascença
16	Mosteiro	Grijó	Barroco
17	Mosteiro	Tibães	Barroco
18	Sé (Braga)	Braga	Românico
19	Mosteiro de Pombeiro	Felgueiras	Barroco
20	Santa Maria	Marco de Canavezes	Contemporâneo
21	Bustêlo	Penafiel	Barroco
22	S. Pedro de Cête	Penafiel	Gótico
23	Paço de Sousa	Penafiel	Gótico

Quadro 3.2 – (continuação)

Nº	NOME	LOCALIZAÇÃO	ESTILO ARQUITECTÓNICO
24	Cabeça Santa	Penafiel	Românico
25	S. Pedro de Ferreira	Paços de Ferreira	Românico
26	S. João Baptista	Porto	Neoclássico
27	Srª da Conceição	Porto	Contemporâneo
28	Stª Mª de Azurara	Vila do Conde	Gótico
29	Matriz (Vila do Conde)	Vila do Conde	Gótico
30	S. Pedro de Rates	Póvoa de Varzim	Românico
31	Santa Clara	Vila do Conde	Gótico

3.1.2. SELECÇÃO DAS MESQUITAS E RESPECTIVA CARACTERIZAÇÃO

As mesquitas utilizadas para a realização deste estudo comparativo foram escolhidas entre uma amostra analisada por Adel A. M. Abdou, Professor da Universidade Rei Fahd do Petróleo e Minerais, quando analisou e mediu parâmetros acústicos objectivos nesses locais, nomeadamente o tempo o tempo de reverberação, a claridade e o STI (Abdou, 2003).

Na amostra que Abdou seleccionou contabilizam-se um total de vinte e uma mesquitas, todas localizadas na Arábia Saudita mas apresentando uma grande variedade em relação aos seus elementos arquitectónicos.

Apesar desta amostra ser mais restrita que a amostra de igrejas Católicas, pode-se considerar que também é representativa do universo geral correspondente às mesquitas no mundo. Isto porque para além da variabilidade das características geométricas, o país onde se localizam foi o berço do Islamismo (sendo hoje a sua religião oficial) e a construção de mesquitas é, por isso, uma prática já comum há centenas de anos. Pela mesma razão, existem mesquitas sauditas com variados estilos e diferentes configurações, o que torna esta amostra bastante abrangente. É ainda importante referir que as vinte e uma mesquitas que Abdou escolheu foram elegidas num universo de noventa, o que já por si demonstra a preocupação do autor em obter uma amostra representativa das mesquitas no mundo.

No Quadro 3.3 são enumeradas as trinta e uma mesquitas inseridas na análise desenrolada no presente trabalho, relativa aos três parâmetros acústicos objectivos (RT, C_{50} e STI). Ainda no mesmo quadro são também indicados os tipos de uso dados a cada uma das mesquitas (tipos de orações feitas) e a capacidade relativa ao número de pessoas. Note-se que neste quadro não aparecem os nomes das mesquitas mas sim um código ou referência, atribuído pelo autor das medições, e que se optou por manter. As mesquitas apresentadas abrangem um longo período de construção na Arábia Saudita.

Quadro 3.3 – Caracterização das mesquitas estudadas

(Abdou, 2003)

Nº	CÓDIGO	TIPO DE USO	CAPACIDADE (Nº PESSOAS)
1	TH16	Oração Diária	139
2	TH32	Oração Diária	136
3	DM242	Oração Diária	156
4	TH27	Oração Diária	169
5	TH48	Oração Diária	376
6	DM16	Oração Diária e de Sexta-feira	299
7	DM260	Oração Diária	281
8	KH45	Oração Diária	254
9	KH17	Oração Diária e de Sexta-feira	324
10	KH03	Oração Diária e de Sexta-feira	346
11	TH42	Oração Diária	463
12	KH12	Oração Diária	484
13	DH14	Oração Diária e de Sexta-feira	472
14	DM125	Oração Diária	391
15	KH59	Oração Diária e de Sexta-feira	384
16	TH06	Oração Diária e de Sexta-feira	619
17	DM06	Oração Diária e de Sexta-feira	528
18	DH03	Oração Diária e de Sexta-feira	879
19	TH13	Oração Diária e de Sexta-feira	1306
20	TH01	Oração Diária e de Sexta-feira	1621
21	DM43	Oração de Sexta-feira	2817

3.2. METODOLOGIA DE TRABALHO

3.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROCEDIMENTO

Nos testes efectuados pelos autores dos trabalhos que serviram de bibliografia ao presente estudo, foi assegurada a desocupação tanto das igrejas como das mesquitas, através da vedação ao público e encerramento de todas as portas existentes. Esta acção permitiu o controlo do número de pessoas, a eliminação de ruídos avulsos durante o decorrer dos testes, um melhor isolamento sonoro face ao exterior e uma maior concentração por parte dos elementos intervenientes nos testes. Todo o mobiliário e equipamento foram mantidos no local de origem.

Para as igrejas foram colocados altifalantes em dois locais distintos: um deles em frente ao altar e o outro no centro da área principal (simulando o ruído da congregação). A fonte sonora foi colocada a uma altura do piso de 0,8 m e com uma inclinação de 45° relativamente ao plano horizontal. Este ângulo foi escolhido com o intuito de transmitir maior energia ao espaço, na tentativa de aumentar a excitação do campo reverberado das igrejas. A Fig. 3.1 representa esquematicamente, em planta, a localização dos receptores e emissores numa igreja tipo.

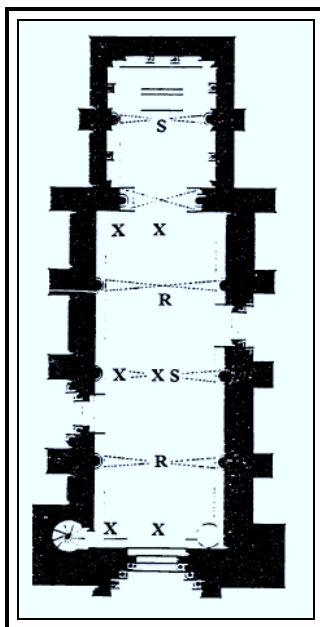


Fig. 3.1 – Posição típica dos receptores e fontes sonoras nas igrejas (vista em planta)

(R – receptor apenas das medições do RASTI ; S – posição de emissores ; X – receptor de todos os parâmetros)

No caso das mesquitas, a fonte sonora foi colocada no centro do nicho *mihrab* a 1m de distância da parede *qibla*. A mesma foi mantida a uma altura constante de 1,55 m do piso, representando uma pessoa a discursar com posição fixa. Usou-se esta fonte para a medição do tempo de reverberação TR e da claridade C_{50} .

Para a medição do STI foi usado um pequeno altifalante de testes, emitindo som com uma direcção de forma idêntica a um ser humano. Este pequeno altifalante foi colocado na posição típica onde o Imam discursa as orações. Com base na forma e área de cada mesquita foram seleccionados os locais dos receptores de forma a cobrir o melhor possível a área útil das mesquitas.

Os microfones foram colocados em tripés ajustáveis, na posição dos auditores e a uma altura de 1,65 m. Esta altura foi alterada posteriormente para 0,85 m do piso, representado as pessoas sentadas. No final foram calculados os valores médios obtidos para as duas posições dos microfones. Uma representação da localização do equipamento nas mesquitas é feita na Fig. 3.2.

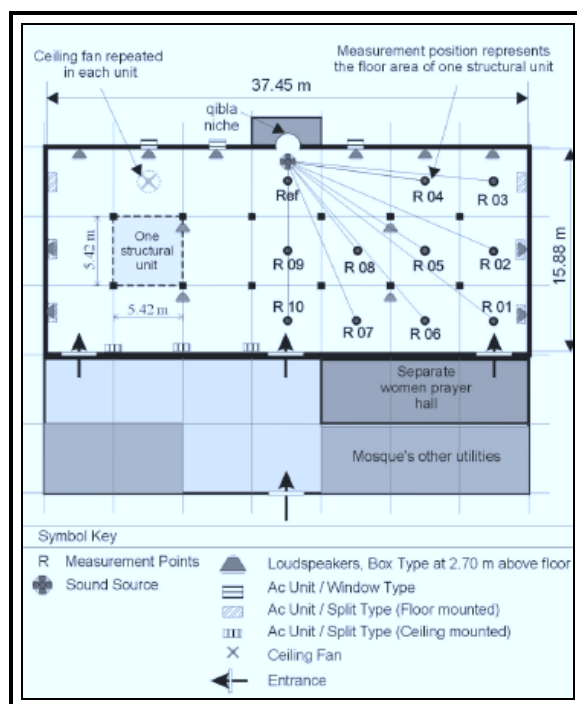


Fig. 3.2 – Posição típica dos receptores e fontes sonoras nas mesquitas (vista em planta)

(Abdou, 2003)

3.2.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para a medição dos parâmetros acústicos objectivos nas igrejas foi usado como equipamento:

- sonómetro da marca Bruel & Kjaer, tipo 2231, com filtro de oitavas tipo 1625;
- módulo Room Acoustics da Bruel & Kjaer tipo BZ7109;
- um microfone marca Bruel & Kjaer com diâmetro ½”;
- um computador portátil e a aplicação de software Room Acoustics da Bruel & Kjaer VP7155.



Fig. 3.3 – Sonómetro Bruel & Kjaer tipo 2231

(sítio [28])

Já no caso das mesquitas, Adel Abdou faz referência a outro tipo de equipamento usado nas suas medições:

- sistema analisador do comprimento máximo de sequência: MLSSA (sistema usado com computador);
- microfone condensador calibrado 1/2”;
- microfone ajustável em tripé a 1,65 m acima do piso (representando a posição de um auditor);
- altifalantes.



Fig. 3.4 – Sistema computadorizado usando o MLSSA

(sítio [29])

3.2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS MEDIDOS

A caracterização acústica de uma sala pode ser quantificada através de parâmetros acústicos objectivos ou subjectivos.

Os testes subjectivos de inteligibilidade da palavra são métodos de realização muito demorada e que obrigam ao uso de grandes recursos humanos. Por estas razões, é por vezes vantajoso recorrer ao uso de métodos objectivos, isto é, com uso de equipamentos e sem a intervenção subjectiva de auditores.

Os parâmetros objectivos referem-se portanto a valores numéricos obtidos por equipamentos através de relações energéticas ou temporais do sinal recolhido. Dentro dos vários descritores existentes, serão utilizados alguns dos mais importantes e mais aplicáveis com o intuito de fornecerem a melhor descrição potencial das funções da “palavra” e da “música”.

Neste sub-capítulo não se pretende caracterizar todos os parâmetros acústicos objectivos existentes, mas apenas os que foram utilizados neste estudo, nas igrejas Católicas e nas mesquitas.

Tempo de Reverberação (*Reverberation Time*, RT ou T):

Quando num espaço fechado a emissão de uma fonte sonora é interrompida, a componente do campo sonoro interior relativa ao som directo extingue-se quase imediatamente (intervalo de tempo que a onda sonora demora a atingir o receptor), mas persiste a componente relativa às múltiplas reflexões das ondas sonoras sobre as superfícies que delimitam o recinto, diminuindo mais ou menos rapidamente em função do grau de absorção sonora da envolvente e do volume interior. Sob o ponto de vista da percepção sonora no interior do espaço este fenómeno traduz-se num prolongamento da sensação sonora, designando-se por reverberação (por vezes erradamente confundido com o eco).

O tempo de reverberação foi proposto por W. C. Sabine por volta do ano 1900 e é definido como o intervalo de tempo (medido em segundos) necessário a um decaimento do nível de pressão sonora (L) de 60 dB a partir do momento que a fonte sonora interrompe a sua emissão, designando-se normalmente por T ou RT. É habitualmente calculado através do inverso da integração a partir da curva logarítmica de enfraquecimento obtida de um impulso resposta.

Devido ao nível de ruído de fundo existente nos espaços, torna-se difícil medir um decaimento de 60 dB, a não ser que seja emitido um som de intensidade muitíssimo elevada, o que é de todo desaconselhável. Como simplificação e forma de contornar o problema anteriormente exposto, o decaimento de som é normalmente avaliado desde -5 a -35 dB (T_{30}) e multiplicado pelo factor de 2. No método clássico de medição do tempo de reverberação o recinto é excitado por ruído rosa (ou outro adequado) que é desligado repentinamente. Regista-se o nível de pressão sonora num ponto do recinto e calcula-se o tempo de decaimento correspondente a 30 dB, fazendo de seguida a extrapolação para o valor de 60 dB se necessário. A utilização de filtros de bandas de frequência normalizadas permite discriminar o tempo de reverberação para essas frequências.

Para se obterem resultados fiáveis devem-se efectuar várias medições no mesmo ponto e repetir a operação em vários locais do recinto. Um dos efeitos mais importantes de um local com tempo de reverberação excessivo é a redução da inteligibilidade da palavra. Tal fenómeno deve-se ao facto do baixo nível sonoro de emissão das consoantes e o curto período de duração são suplantados pelo “rasto sonoro” de vogais imediatamente antecedentes (emitidas a nível mais elevado e com maior duração).

O tempo de reverberação está intimamente relacionado com a arquitectura e com as condições de absorção sonora do recinto. Existe um tempo de reverberação óptimo para cada caso, embora seja usual haver uma grande discordância quanto a essa optimização, uma vez que o problema é subjectivo. O valor óptimo depende não somente de cada forma de critério, como também do som considerado.

Claridade (*Clarity*, C_{80} e C_{50}):

É dada pela razão em décibéis (dB) entre a energia recebida nos primeiros 80 ms do sinal recebido e a energia recebida posteriormente. Este conceito foi proposto por Reichardt (1975), onde o limite de 80 ms era proposto como limite de perceptibilidade para a música:

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

Contudo, este parâmetro acústico objectivo pode ser utilizado como modo de classificar a compreensibilidade do discurso em vez da música. Neste caso, a Claridade é dada pela razão em décibéis (dB) entre a energia recebida nos primeiros 50 ms do sinal recebido e a energia recebida posteriormente. O limite de 50 ms é convencionalmente o limite de perceptibilidade para o discurso:

$$C_{50} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (\text{dB})$$

Índice de Transmissão da Palavra (*Speech Transmission Index*, STI):

O STI (*Speech Transmission Index*) é um meio de quantificar a inteligibilidade da palavra. A percepção do discurso – a inteligibilidade – é directamente dependente do ruído de fundo, do tempo de reverberação e das dimensões dos recintos.

Este índice foi desenvolvido nos inícios da década de 1970 e consiste numa máquina de medição da inteligibilidade cujos valores registados variam entre zero (má inteligibilidade) e a unidade (excelente inteligibilidade).

A determinação da qualidade de transmissão e recepção da palavra no domínio da inteligibilidade baseia-se na diminuição da taxa de modulação de um sinal de teste, que simula as características acústicas da voz humana desde que o sinal seja transmitido numa sala. O sinal sonoro é emitido por uma fonte sonora situada na posição do orador e é recebido por um microfone situado no lugar do auditor.

O método STI baseia-se na determinação da função de transferência de modulação em noventa e oito pontos obtidos a partir de catorze frequências de modulação, repartidas de terço de oitava em terço de oitava, de 0,63 Hz em 12,5 Hz e a partir de sete bandas de oitava, donde as frequências centrais são escalonadas de 125 Hz a 8 kHz.

A grande desvantagem da aplicação deste método reside na sua complexidade, já que requer noventa e oito medições para cada situação.

Índice Rápido de Transmissão da Palavra (*Rapid Speech Transmission Index*, RASTI):

Dada a complexidade da aplicação do STI, criou-se um método mais simplificado, prático e rápido para se medir o STI: o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*).

O RASTI é um processo que quantifica indirectamente a inteligibilidade da palavra. O valor do RASTI varia entre zero e um (tal como o STI) e é utilizado, de uma maneira geral, em todos os espaços em que seja necessário avaliar o modo como a palavra é percebida.

O emissor emite um som do tipo rosa que é modulado sinusoidalmente por várias frequências, de modo a simular as modulações típicas da voz humana (nos 500 e 2000 Hz). Este som é captado por um microfone omnidireccional ligado à unidade receptora RASTI, que efectua a conversão num valor numérico (entre 0 e 1). Esta operação deve ser realizada em diferentes lugares, permitindo assim avaliar a inteligibilidade da palavra no lugar onde se colocou o receptor. Através da utilização de uma tabela de conversão, apresentada na Norma CEI 268-16 (CEI, 1988), os valores do RASTI podem corresponder a uma escala subjectiva de inteligibilidade da palavra.

4

RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS E PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

4.1. OBJECTIVOS

Os resultados de trabalhos anteriormente desenvolvidos indicam a existência de variações no comportamento acústico de igrejas e mesquitas ocasionadas pelo efeito dos seus diferentes parâmetros arquitectónicos.

O propósito deste capítulo é analisar, através de relações matemáticas, o modo como as características da arquitectura destes espaços se relacionam com as medições acústicas dos mesmos, de forma a justificar-se a influência dessas características (volume, área, comprimento, largura e altura) na acústica das igrejas Católicas e mesquitas. As relações aqui obtidas terão também como finalidade constituírem um instrumento de trabalho para projectistas, especialistas ou investigadores desta temática.

Como já referido em capítulos anteriores, está fora do âmbito do presente trabalho a realização de medições acústicas. Por essa razão os parâmetros utilizados foram recolhidos a partir de medições anteriores, o que restringe esta análise apenas aos parâmetros utilizados em simultâneo nos trabalhos referentes a igrejas Católicas e mesquitas (Tempo de Reverberação, Claridade e STI).

Optou-se por se recorrer à utilização de valores médios de cada parâmetro objectivo, tanto nas igrejas como nas mesquitas, uma vez que simplifica a análise em causa e torna na mesma possível estabelecer as comparações e correlações pretendidas para este trabalho.

4.2. PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

Os parâmetros arquitectónicos utilizados foram escolhidos criteriosamente dentro de alguns dos mais utilizados em estudos anteriores, bem aceites na área da acústica em salas de audiência de tribunais e igrejas (Carvalho, 1994; Morgado, 1996; Lencastre 1998; Monteiro 2003; Babo Carvalho, 2005).

São no total cinco, os parâmetros arquitectónicos utilizados na análise de possíveis correlações:

- Comprimento máximo (L) – obtido através da medição do lado maior do espaço em estudo;
- Largura média (W) – obtida através do valor menor e do maior relativos à largura do espaço em estudo;
- Altura máxima (H) – altura máxima entre o piso e a cobertura do espaço em estudo;

- Área total (S) – área global, incluindo parte coberta e parte descoberta (área central do claustro, pátio) (= área central + 2 x Área de pavimento das galerias);
- Volume total (V) – volume global

No Quadro 4.1 são apresentados os parâmetros arquitectónicos usados para correlacionar com os parâmetros acústicos objectivos, assim como os respectivos símbolos de representação e unidades de medida.

Quadro 4.1 – Descrição dos parâmetros arquitectónicos usados

SÍMBOLOS	PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	UNIDADE DE MEDIDA
V	Volume Total	m ³
S	Área Total	m ²
L	Comprimento Máximo	m
H	Altura Máxima	m
W	Largura Média	m

Os valores de cada um dos parâmetros arquitectónicos das cinquenta e quatro igrejas estudadas podem ser consultados nos Quadros 4.2 e 4.3, referindo-se o primeiro às trinta e uma igrejas utilizadas na correlação com o RASTI e o segundo às quarenta e uma igrejas usadas para correlação com o Tempo de Reverberação e Claridade.

Quadro 4.2 – Parâmetros arquitectónicos das igrejas Católicas para análise do RASTI

(Lencastre, 1998)

Nº	NOME	L (m)	W (m)	H (m)	S (m ²)	V (m ³)
1	Lapa (Porto)	52,5	14,9	17	753	11423
2	Clérigos (Porto)	33,9	9,5	20	273	5130
3	Santa Ildefonso (Porto)	32,5	9,5	20	297	3813
4	Stmo. Sacramento (Porto)	40,7	13	15,5	510	6816
5	Gondarém (Porto)	36	19	5,9	673	3904
6	S. Francisco (Porto)	46,8	19,4	18	813	12045
7	Convento dos Grilos (Porto)	48,5	14,7	21	962	14497
8	S. Bento da Vitória (Porto)	63,3	24,5	25	1230	30380
9	S. Miguel Nevogilde (Porto)	26	6,6	8,6	176	1137
10	Sé (Porto)	62,2	17,6	22,3	982	15260

Quadro 4.2 – (continuação)

Nº	NOME	L (m)	W (m)	H (m)	S (m ²)	V (m ³)
10	Sé (Porto)	62,2	17,6	22,3	982	15260
11	Santa Clara (Porto)	26,7	9,4	12,9	222	2491
12	Cedofeita (nova) (Porto)	34,3	28,8	13,4	966	8470
13	Cedofeita (velha) (Porto)	23	5,9	10,7	126	1117
14	Nª Sra. Boavista (Porto)	23,4	24,2	7,9	499	3740
15	Serra do Pilar (V. N. Gaia)	37,2	20,2	35,1	591	11566
16	Mosteiro (Grijó)	49	15	21,5	722	13818
17	Mosteiro (Tibães)	47	10,4	19,3	595	8608
18	Sé (Braga)	59,4	17,8	16,5	1300	13662
19	Mosteiro de Pombeiro (Felgueiras)	49,5	15,3	18	822	11380
20	Santa Maria (Marco de Canavezes)	30	16,4	16,5	549	8994
21	Bustêlo (Penafiel)	46	12,6	16,1	515	6476
22	S. Pedro de Cête (Penafiel)	28,7	5,4	11,8	155	1515
23	Paço de Sousa (Penafiel)	43	15,9	16,8	546	6028
24	Cabeça Santa (Penafiel)	17,9	5,9	8,7	108	751
25	S. Pedro de Ferreira (Paços de Ferreira)	29,4	8,7	14,5	233	2912
26	S. João Baptista (Porto)	35,7	9	16,7	412	6048
27	Srª da Conceição (Porto)	49	22	17	1011	12535
28	Stª Mª de Azurara (Vila do Conde)	43,8	16,8	15	604	7212
29	Matriz (Vila do Conde)	44	18,2	12,5	802	8408
30	S. Pedro de Rates (Póvoa de Varzim)	31,5	16	12,9	427	3918
31	Santa Clara (Vila do Conde)	28,6	15,5	13,8	458	5394

Legenda: L – comprimento máximo ; W – largura média ; H – altura máxima ; S – área total ; V – volume total

Quadro 4.3 – Parâmetros arquitectónicos das igrejas Católicas para análise dos parâmetros RT e C_{80}

(Carvalho, 1994)

Nº	NOME	L (m)	W (m)	H (m)	S (m ²)	V (m ³)
1	Almansil (Loulé)	15,3	6,0	8,0	91	578
2	Armamar (Viseu)	26,9	10,8	10,8	260	2487
3	Basílica da Estrela (Lisboa)	49,7	17,8	39,0	823	18674
4	Bravães (Viana do Castelo)	19,7	6,4	10,2	111	946
5	Bustêlo (Penafiel)	46,0	12,6	16,1	515	6476
6	Cabeça Santa (Penafiel)	17,9	5,9	8,7	108	751
7	Matriz (Caminha)	40,9	15,4	14,4	641	5899
8	Cedofeita (nova) (Porto)	34,3	28,8	13,4	966	8470
9	Cedofeita (velha) (Porto)	23,0	5,9	10,7	126	1117
10	S. Pedro de Cête (Paredes)	28,7	5,4	11,8	155	1515
11	Clérigos (Porto)	33,9	9,5	20,0	273	5130
12	Matriz (Golegã)	40,4	15,7	13,7	545	5563
13	Lapa (Porto)	52,5	14,9	17,0	753	11423
14	Leça do Bailio (Mosteiro) (Porto)	41,1	16,0	19,1	611	9795
15	Lourosa (Oliv ^a do Hospital)	18,5	12,7	8,5	197	1163
16	Matriz (Mértola)	15,9	18,6	7,2	297	1950
17	Misericórdia (Évora)	26,2	9,7	14,7	250	3338
18	S. João Baptista (Moura)	40,7	16,8	13,4	611	6300
19	N ^a Sra. Boavista (Porto)	23,4	24,2	7,9	499	3740
20	Paço de Sousa (Penafiel)	43,0	15,9	16,8	546	6028
21	Santíssimo Sacramento (Porto)	40,7	13,0	15,5	510	6816
22	Santa Clara (Porto)	26,7	9,4	12,9	222	2491
23	S. Bento de Cástris (Évora)	23,2	8,5	13,0	130	1314

Quadro 4.3 – (continuação)

Nº	NOME	L (m)	W (m)	H (m)	S (m ²)	V (m ³)
24	S. Francisco (Évora)	54,5	16,4	25,1	1031	18631
25	S. Francisco (Porto)	46,8	19,4	18,0	813	12045
26	S. Frutuoso (Braga)	11,5	5,7	9,4	56	320
27	S. Gens (Penafiel)	13,3	5,0	6,5	56	299
28	S. Pedro de Ferreira (Paços de Ferreira)	29,4	8,7	14,5	233	2912
29	S. Pedro de Rates (Póvoa de Varzim)	31,5	16,0	12,9	427	3918
30	S. Pedro de Roriz (Santo Tirso)	28,3	7,6	13,3	193	2198
31	S. Roque (Lisboa)	43,6	18,5	17,1	929	14207
32	Sé (Lamego)	57,8	19,2	22,2	968	13424
33	Sé (Porto)	62,2	17,6	22,3	982	15260
34	Sé (Silves)	41,9	18,3	16,7	746	10057
35	Seroa (Paços de Ferreira)	19,0	36,8	17,0	635	4225
36	Serra do Pilar (V. N. Gaia)	37,2	20,2	35,1	591	11566
37	Tibães (Mosteiro) (Braga)	47,0	10,4	19,3	595	8608
38	Matriz (Viana do Alentejo)	30,8	14,8	11,0	421	3358
39	Matriz (Vila do Bispo)	28,8	7,6	6,9	220	1290
40	S. Lourenço (V. N. Azeitão)	24,9	7,9	8,2	174	1239
41	Matriz (Vouzela)	22,0	6,6	9,2	150	1148

Legenda: L – comprimento máximo ; W – largura média ; H – altura máxima ; S – área total ; V – volume total

Nos Quadros 4.4 e 4.5 são apresentados os resultados de estatísticas simples e sintetizadas relativas aos parâmetros arquitectónicos medidos nas igrejas Católicas.

Quadro 4.4 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos na amostra de 31 igrejas para análise do RASTI

PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	MÍN.	MEDIANA	MÉDIA	MÁX.
V – Volume Total (m ³)	751	6816	8046	30380
S – Área Total (m ²)	108	549	593	1300
L – Comprimento Máximo (m)	17,9	37,2	39,3	63,3
H – Altura Máxima (m)	5,9	16,5	16,2	35,1
W – Largura Média (m)	5,4	15,3	14,8	28,8

Quadro 4.5 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos na amostra de 41 igrejas para análise dos parâmetros RT e C₈₀

PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	MÍN.	MEDIANA	MÉDIA	MÁX.
V – Volume Total (m ³)	299	3918	5772	18674
S – Área Total (m ²)	56	427	450	1031
L – Comprimento Máximo (m)	11,5	30,8	33,2	62,2
H – Altura Máxima (m)	6,5	13,4	14,8	39,0
W – Largura Média (m)	5,0	13,0	13,6	36,8

Os valores de cada um dos parâmetros arquitectónicos das vinte e uma mesquitas estudadas são apresentados no Quadro 4.6.

No caso das mesquitas os parâmetros arquitectónicos utilizados foram, como pretendido, os mesmos.

Quadro 4.6 – Parâmetros arquitectónicos das mesquitas estudadas

(Abdou, 2003)

Nº	CÓDIGO	L (m)	W (m)	H (m)	S (m ²)	V (m ³)
1	TH16	11,55	11,55	3,90	133	520
2	TH32	13,57	9,65	4,49	131	588
3	DM242	15,00	10,00	4,50	150	675
4	TH27	13,49	12,04	4,60	162	747
5	TH48	24,65	14,66	3,33	361	1203
6	DM16	19,50	14,70	4,25	287	1218
7	DM260	18,00	15,00	4,61	270	1245
8	KH45	24,85	9,80	5,63	244	1371
9	KH17	19,73	15,75	4,52	311	1405
10	KH03	24,25	13,70	4,70	332	1561
11	TH42	24,20	18,35	4,00	444	1776
12	KH12	35,14	13,22	4,20	465	1951
13	DH14	29,56	15,33	4,40	453	1994
14	DM125	25,00	15,00	5,40	375	2025
15	KH59	24,80	14,85	5,65	368	2081
16	TH06	37,45	15,88	3,70	595	2200
17	DM06	32,10	15,80	4,94	507	2505
18	DH03	43,43	19,43	6,05	844	5105
19	TH13	42,25	29,68	4,80	1254	6286
20	TH01	44,85	34,70	4,52	1556	7034
21	DM43	52,00	52,00	8,65	2704	23390

Legenda: L – comprimento máximo ; W – largura média ; H – altura máxima ; S – área total ; V – volume total

Uma pequena estatística relativa aos parâmetros arquitectónicos das mesquitas é feita e apresentada no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Quadro estatístico relativo aos parâmetros arquitectónicos medidos nas mesquitas

PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS	MÍN.	MEDIANA	MÉDIA	MÁX.
V – Volume Total (m ³)	520	1776	3185	23390
S – Área Total (m ²)	131	368	569	2704
L – Comprimento Máximo (m)	11,6	24,8	27,4	52,0
H – Altura Máxima (m)	3,3	4,5	4,8	8,7
W – Largura Média (m)	9,7	15,0	17,7	52,0

4.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS

Escolheram-se como parâmetros acústicos alguns dos mais representativos na caracterização acústica de salas e espaços fechados, mas que ao mesmo tempo tivessem sido utilizados simultaneamente em trabalhos anteriores (nos quais se apoiam esta investigação) tanto na análise acústica de igrejas Católicas como na de mesquitas.

São três os parâmetros acústicos utilizados na análise correlativa em causa, nomeadamente o Tempo de Reverberação, a Claridade e o RASTI / STI.

O Quadro 4.8 resume o significado da simbologia utilizada para representar cada um dos parâmetros acústicos estudados, assim como a sua unidade de medida.

Quadro 4.8 – Descrição dos parâmetros acústicos usados

SÍMBOLOS	PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJECTIVOS	UNIDADE DE MEDIDA
RT	Tempo de Reverberação	s
C ₈₀	Claridade (80 ms)	dB
C ₅₀	Claridade (50 ms)	dB
RASTI	<i>Rapid Speech Transmission Index</i>	--
STI	<i>Speech Transmission Index</i>	--

Note-se que no presente trabalho, a avaliação dos parâmetros acústicos (Tempo de Reverberação e Claridade) será feita com recurso ao valor médio dos valores destes parâmetros para duas bandas de frequência: 500 Hz e 1000 Hz. Já no caso do RASTI e do STI serão também usados os valores médios medidos em cada receptor.

Na bibliografia encontrada (Abdou, 2003) relativa às medições do Tempo de Reverberação e Claridade nas mesquitas, os valores disponibilizados não são referentes a cada uma das mesquitas mas sim a uma média para cada grupo de mesquitas. Nesse trabalho, optou-se por dividir as mesquitas tendo em conta o volume de cada uma delas. Assim, foram considerados cinco grupos:

- Grupo A – espaços com volume inferior a 1000 m³;
- Grupo B – espaços com volume compreendido entre 1000 e 1500 m³;
- Grupo C – espaços com volume compreendido entre 1500 e 2000 m³;
- Grupo D – espaços com volume compreendido entre 2000 e 3000 m³;
- Grupo E – espaços com volume compreendido entre 3000 e 10000 m³;
- Grupo F – espaços com volume superior a 10000 m³.

Apesar dos parâmetros acústicos das mesquitas serem estudados a partir dos valores médios de cada um dos grupos considerados, nas igrejas Católicas optou-se por não proceder da mesma maneira quando se procuraram rectas de regressões de relacionamento, uma vez que actuando dessa forma iria perder-se informação e afastar-se um pouco da realidade. No entanto é apresentado no Quadro 4.9 a contabilização do número de igrejas e mesquitas referentes a cada um dos grupos.

Quadro 4.9 – Número de igrejas e mesquitas por grupo

GRUPOS	Nº igrejas	Nº mesquitas
A	5	4
B	6	5
C	2	4
D	4	4
E	15	3
F	9	1
TOTAL:	41	21

4.4. CORRELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE REVERBERAÇÃO E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

4.4.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO NAS IGREJAS CATÓLICAS

Com o intuito de se obterem valores de RT e C₈₀ nas igrejas para comparação directa com os das mesquitas, foi dividida a amostra de quarenta e uma igrejas por grupos e calculados os valores médios dos parâmetros acústicos para a gama de frequências 500 Hz e 1000 Hz.

O Quadro 4.10 apresenta esses valores médios relativos ao Tempo de Reverberação medidos nas igrejas Católicas, segundo os grupos considerados.

Quadro 4.10 – Valores médios do Tempo de Reverberação, RT, por grupos de igrejas

GRUPOS	RT (s) (500-1000 Hz)
A	1,7
B	2,3
C	3,4
D	2,5
E	3,7
F	4,9

Para melhor interpretação dos valores expostos no quadro anterior é ilustrado um gráfico “Tempo de Reverberação *versus* Grupo (volume)” na Figura 4.1, que permite ter uma melhor noção da variação do parâmetro RT com o aumento de volume das igrejas.

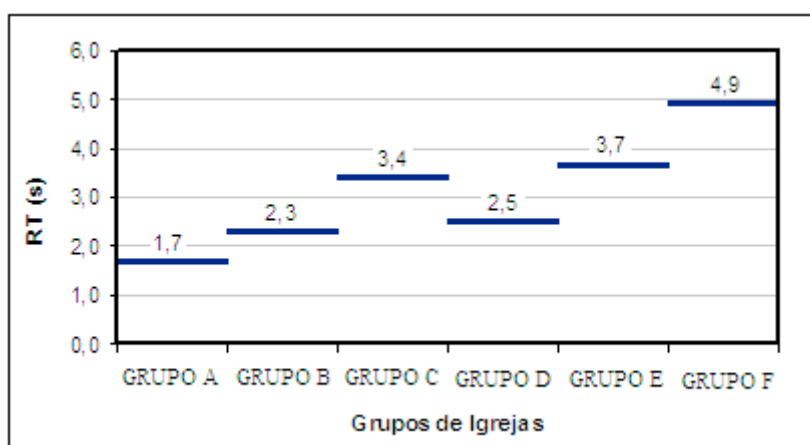


Fig. 4.1 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, relativamente aos grupos de igrejas

Verifica-se que o Tempo de Reverberação aumenta desde o Grupo A de igrejas até ao Grupo F, com excepção do Grupo C que apresenta maior valor que o D.

Esta ocorrência pode justificar-se com o facto do Grupo C se tratar de um grupo com poucas amostras (apenas duas) e por essa razão poder ser afectado por um caso pontual. Isto significa que nesse grupo, basta uma igreja apresentar valores de RT bastante elevados para afectar todo o Grupo C, situação que tenderia a ser atenuada com uma amostra mais numerosa de igrejas Católicas dentro desta categoria ($1500 < V < 2000 \text{ m}^3$).

Contudo, esta análise feita por grupos não transmite da melhor maneira a correlação entre estes dois parâmetros em causa. O facto de ter sido concedido o acesso às medições acústicas feitas por Oliveira de Carvalho em cada uma das igrejas estudadas, permite que possa ser desenhado um gráfico de dispersão de pontos (com RT e volume total) e aproximados estes a uma linha de tendência.

Foram usadas regressões de vários tipos diferentes (linear, logarítmica, polinomial de segunda ordem, potencial e exponencial) com o intuito de encontrar a melhor correlação possível, entre o Tempo de Reverberação e o volume das igrejas estudadas. Assim, através do coeficiente de correlação R^2 , foi possível encontrar a melhor correlação entre parâmetros.

No Quadro 4.11 apresentam-se as duas melhores equações de cada linha de tendência e o respectivo coeficiente de correlação, sendo identificada a sombreado e com R^2 a negrito a melhor regressão.

Quadro 4.11 – Duas melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e Volume Total, V, nas igrejas

TIPO DE REGRESSÃO	EQUAÇÃO	R^2
Logarítmica	$RT = 0,9772 \cdot \ln(V) - 4,5934$	0,44
Potencial	$RT = 0,25 \cdot V^{0,3050}$	0,51

Verifica-se que a regressão que melhor correlaciona o Tempo de Reverberação com o volume das igrejas é a que apresenta um coeficiente de correlação mais alto, ou seja, a regressão potencial ($R^2 \approx 0,51$).

Na Fig. 4.2 é apresentado um gráfico de dispersão de pontos com os valores do Tempo de Reverberação (média das bandas de frequência 500 Hz e 1000 Hz) associado aos valores do volume de cada espaço. No mesmo gráfico está desenhada a linha de tendência representativa da melhor regressão. Esse gráfico traduz o que já fora concluído anteriormente, ou seja, um crescimento do tempo de reverberação com o volume das igrejas Católicas. No entanto esse crescimento não aparenta ser linear, mostrando ser muito mais acentuado entre igrejas de pequeno volume, do que em igrejas de volume médio e grande.

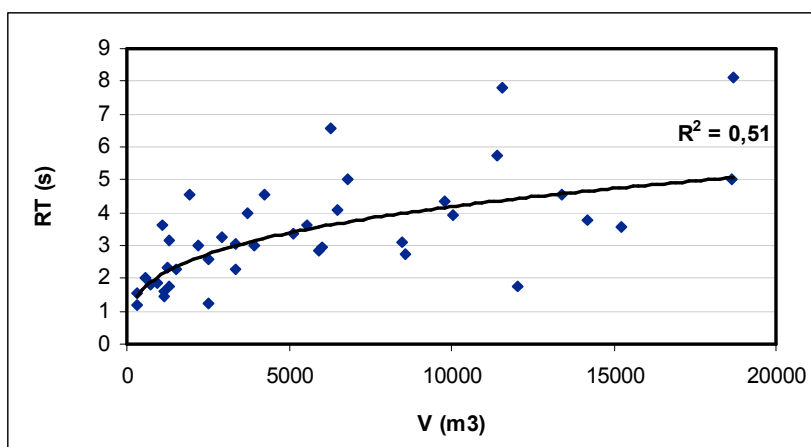


Fig. 4.2 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Volume Total (V) nas 41 igrejas Católicas

O mesmo procedimento foi tomado para com os restantes parâmetros arquitectónicos (área total, comprimento máximo, altura máxima e largura média), procurando sempre encontrar a melhor regressão para os correlacionar com o Tempo de Reverberação.

O Quadro 4.12 apresenta as regressões com maior coeficiente de correlação R^2 obtidas para cada um dos parâmetros arquitectónicos.

Quadro 4.12 – Melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e os parâmetros arquitectónicos das igrejas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R^2
V – Volume Total (m^3)	$RT = 0,25 \cdot V^{0,3050}$	0,51
S – Área Total (m^2)	$RT = 0,3074 \cdot S^{0,3933}$	0,47
L – Comprimento Máximo (m)	$RT = 0,3158 \cdot L^{0,6626}$	0,35
H – Altura Máxima (m)	$RT = 0,00248 \cdot H^2 + 0,0745 \cdot H + 1,6309$	0,56
W – Largura Média (m)	$RT = 0,6781 \cdot W^{0,6034}$	0,41

Para além da correlação com o volume total (já vista anteriormente), pode-se verificar que dois dos parâmetros arquitectónicos (área total e largura média) se correlacionam exponencialmente com o RT enquanto os outros dois se aproximam de funções polinomiais de segundo grau (comprimento máximo e altura máxima). Contudo, é a altura máxima e o volume total os parâmetros arquitectónicos que melhor se correlacionam com o Tempo de Reverberação em igrejas, apresentando coeficientes de correlação globais com valores $R^2 \approx 0,56$ e $R^2 \approx 0,51$ respectivamente.

As regressões encontradas são ilustradas nas Figuras 4.3 a 4.6, juntamente com a nuvem de pontos representativa do Tempo de Reverberação e respectivos volumes.

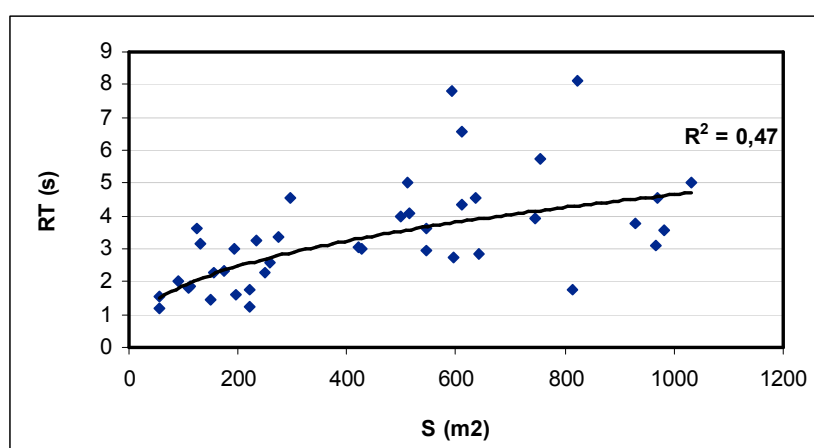


Fig. 4.3 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Área Total (S) nas 41 igrejas Católicas

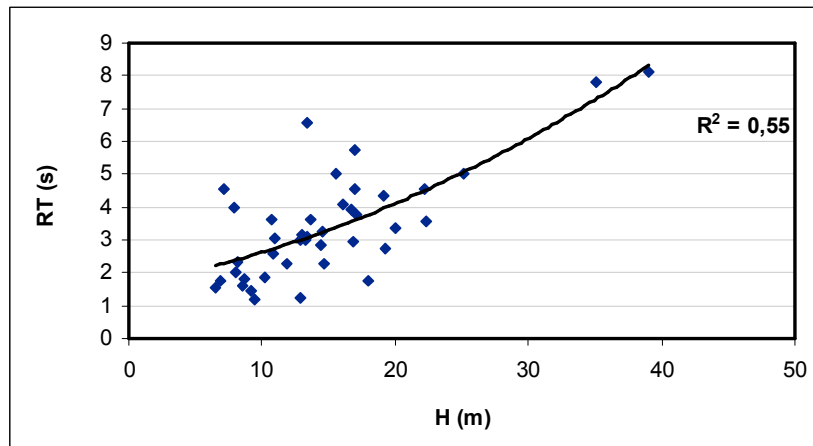


Fig. 4.4 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Altura Máxima (H) nas 41 igrejas Católicas

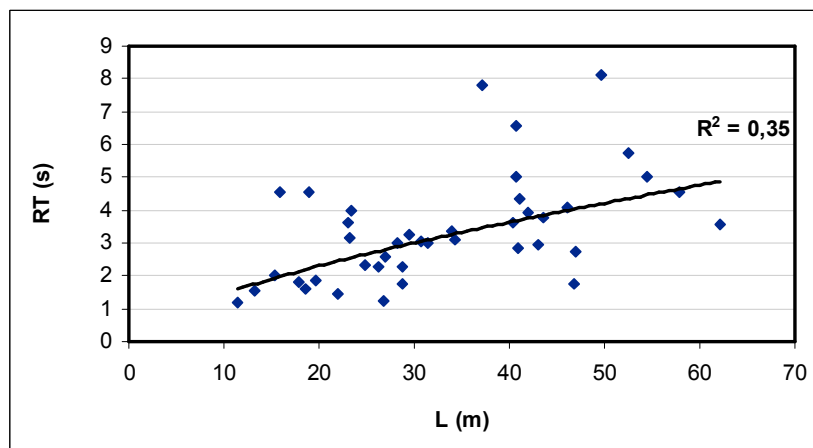


Fig. 4.5 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Comprimento Máximo (L) nas 41 igrejas Católicas

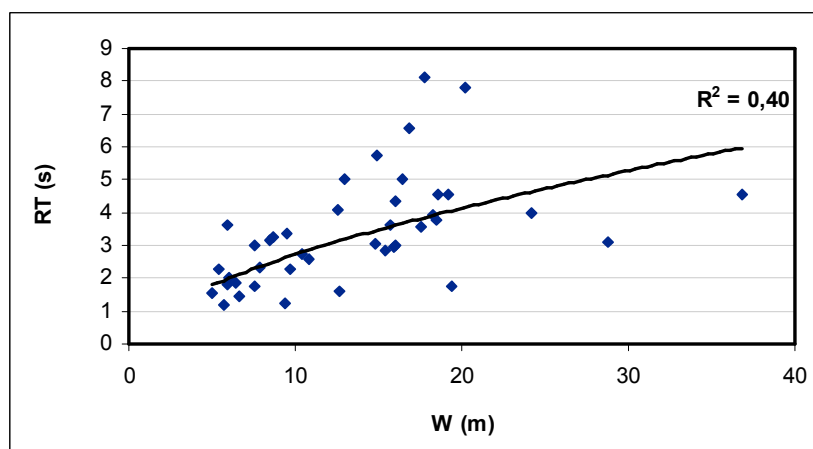


Fig. 4.6 – Correlação entre Tempo de Reverberação (500 Hz – 1000 Hz), RT, e Largura Média (W) nas 41 igrejas Católicas

Dos resultados obtidos pode-se concluir que há de facto uma correlação entre o Tempo de Reverberação e as características geométricas das igrejas. Apesar dos valores de R^2 não se aproximarem muito da unidade, podem-se considerar aceitáveis e bastante razoáveis para os fins em estudo. Entre os parâmetros arquitectónicos analisados, o que melhor se correlaciona (apresenta maior coeficiente de correlação) com o Tempo de Reverberação é a altura máxima (H) com $R^2 \approx 0,55$. No entanto, o volume (V) apresenta um valor idêntico ($R^2 \approx 0,51$) pelo que também demonstra ter um bom grau de interdependência com o parâmetro acústico. O comprimento máximo (L) é a característica geométrica que menor correlação apresenta ($R^2 \approx 0,35$).

4.4.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO NAS MESQUITAS

Como já referido anteriormente, os parâmetros acústicos recolhidos referentes às mesquitas foram obtidos como valores médios das medições para cada grupo considerado. O Quadro 4.13 apresenta os valores médios do Tempo de Reverberação para cada grupo considerado, obtido a partir das bandas de frequência de 500 Hz e 1000 Hz

Quadro 4.13 – Valores médios do Tempo de Reverberação, RT, por grupos de mesquitas

GRUPOS	RT (s) (500-1000Hz)
A	2,0
B	1,3
C	1,1
D	1,7
E	2,2
F	2,7

O gráfico “Tempo de Reverberação *versus* Grupo (volume)” ilustrado na Fig. 4.7 permite uma melhor interpretação dos valores do quadro anterior, para além de dar uma melhor noção da dependência entre ambos os parâmetros em análise (RT e V).

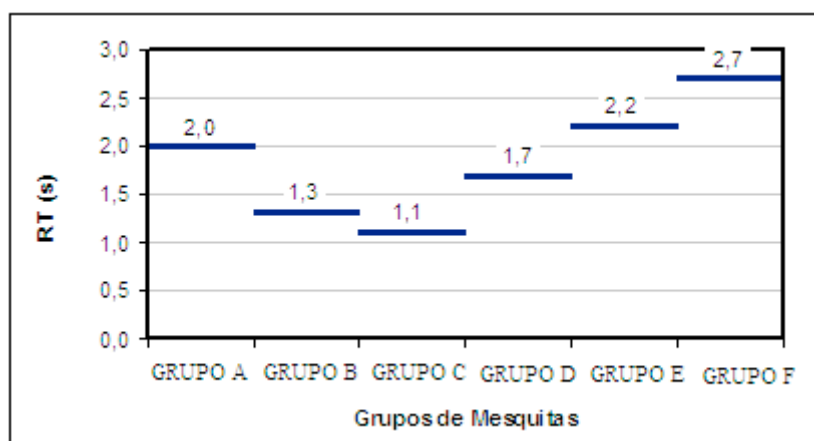


Fig. 4.7 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, relativamente aos grupos de mesquitas

Se alterarmos o gráfico anterior e colocarmos nas abcissas uma escala real de volume, o aspecto final será o da Fig. 4.8.

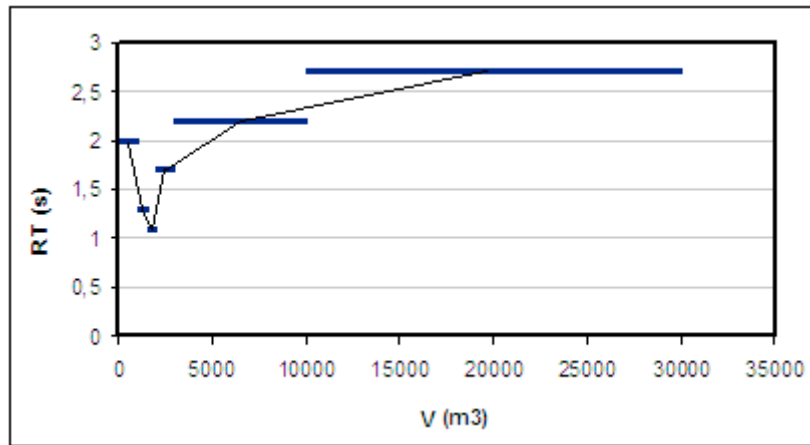


Fig. 4.8 – Variação do Tempo de Reverberação, RT, com o Volume Total (V) das mesquitas

Na mesma figura foram ainda unidos com uma linha os pontos intermédios de cada grupo. Trata-se de uma aproximação um pouco grosseira, uma vez que assume o valor do Tempo de Reverberação de cada grupo ao volume médio do mesmo. No entanto, para uma análise comparativa entre acústica em igrejas e mesquitas será mais útil e de melhor interpretação o uso de um gráfico de linhas representativo da correlação entre parâmetros.

Para uma melhor aproximação da realidade, foi ainda traçada uma linha entre os grupos, mas em vez de cruzar estes no seu ponto intermédio fez-se passá-la pela média do parâmetro arquitectónico das mesquitas dentro cada grupo.

Como aspecto final da correlação entre o Tempo de Reverberação e o volume das mesquitas, temos a linha representada na Fig. 4.9.

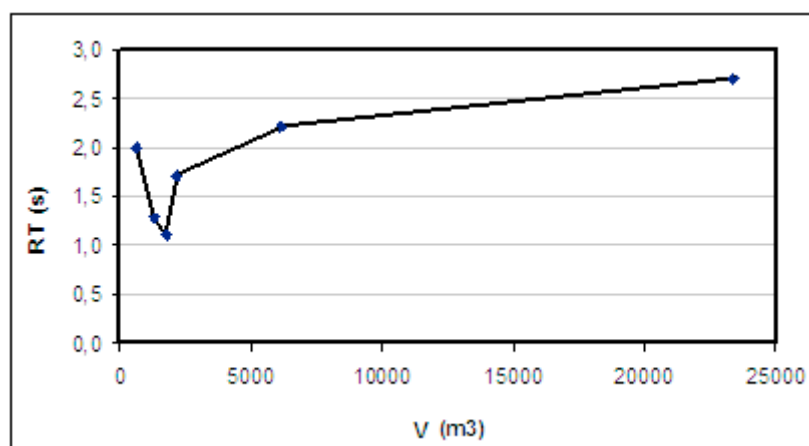


Fig. 4.9 – Linha de variação do Tempo de Reverberação, RT, com a média do Volume Total (V) de cada grupo de mesquitas

Esta figura permite verificar que o Tempo de Reverberação nas mesquitas pequenas (menos de 1000 m³) é elevado, rondando os dois segundos. Contudo este valor tende a descer até mesquitas com 2000 m³. A partir deste valor, há um claro crescimento do Tempo de Reverberação com o aumento de volume, como se pode verificar no gráfico acima.

Embora possa ter um significado pouco rigoroso, foram feitas regressões para os valores médios dos parâmetros arquitectónicos de cada grupo de mesquitas. De facto as regressões fariam verdadeiro sentido se fossem feitas para gráficos de dispersão de pontos, onde estes correspondessem ao valor da medição em cada uma das mesquitas. No entanto a aproximação feita considera-se representativa do que acontece na generalidade das mesquitas.

O Quadro 4.14 apresenta os valores médios de cada parâmetro arquitectónico estudado, para cada grupo de mesquitas.

Quadro 4.14 – Valores médios de cada parâmetro arquitectónico, para cada grupo de mesquitas

	PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS: VALORES MÉDIOS POR GRUPO					
	A	B	C	D	E	F
V – Volume Total (m ³)	633	1288	1821	2203	6142	23390
S – Área Total (m ²)	144	295	424	461	1218	2704
H – Altura Máxima (m)	4,37	4,47	4,33	4,92	5,12	8,65
L – Comprimento Máximo (m)	13,40	21,35	28,29	29,84	43,51	52,00
W – Largura Média (m)	10,81	13,98	15,15	15,38	27,94	52,00

Com estes valores construíram-se gráficos, na perspectiva de encontrar curvas de regressão que correlacionassem o Tempo de Reverberação das mesquitas e os seus parâmetros arquitectónicos.

As melhores correlações são apresentadas no Quadro 4.15 e nas Figuras 4.10 a 4.11.

Quadro 4.15 – Melhores regressões para correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e os parâmetros arquitectónicos das mesquitas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R ²
V – Volume Total (m ³)	$RT = -3,01 \times 10^{-9} \cdot V^2 + 0,000127 \cdot V + 1,38$	0,64
S – Área Total (m ²)	$RT = 3,01 \times 10^{-8} \cdot S^2 + 0,000398 \cdot S + 1,4388$	0,63
L – Comprimento Máximo (m)	$RT = 0,0269 \cdot L + 0,9879$	0,42
H – Altura Máxima (m)	$RT = 1,8084 \cdot \ln(H) - 1,1271$	0,65
W – Largura Média (m)	$RT = 0,00015 \cdot W^2 + 0,0205 \cdot W + 1,2644$	0,63

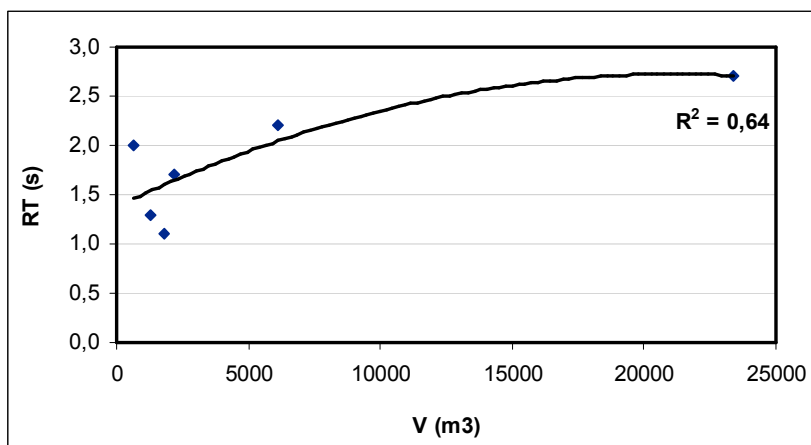


Fig. 4.10 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e a média do Volume Total (V) de cada grupo de mesquitas

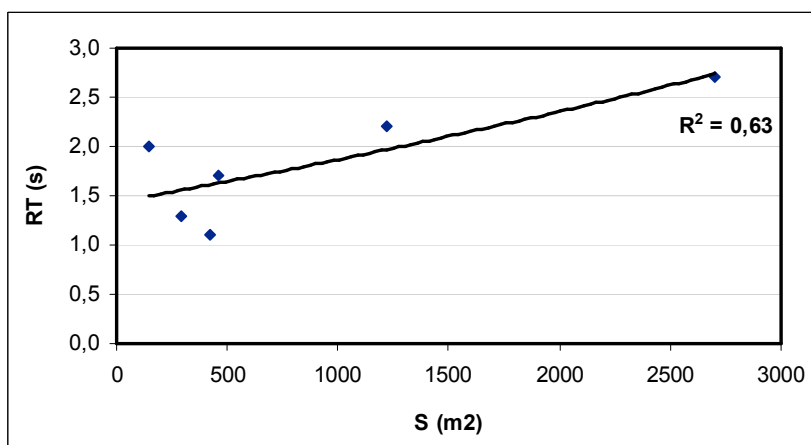


Fig. 4.11 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e a média da Área Total (S) de cada grupo de mesquitas

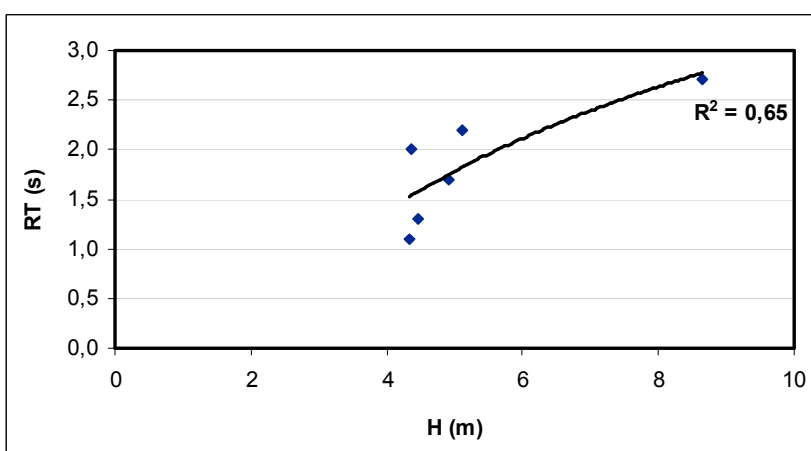


Fig. 4.12 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e a média da Altura Máxima (H) de cada grupo de mesquitas

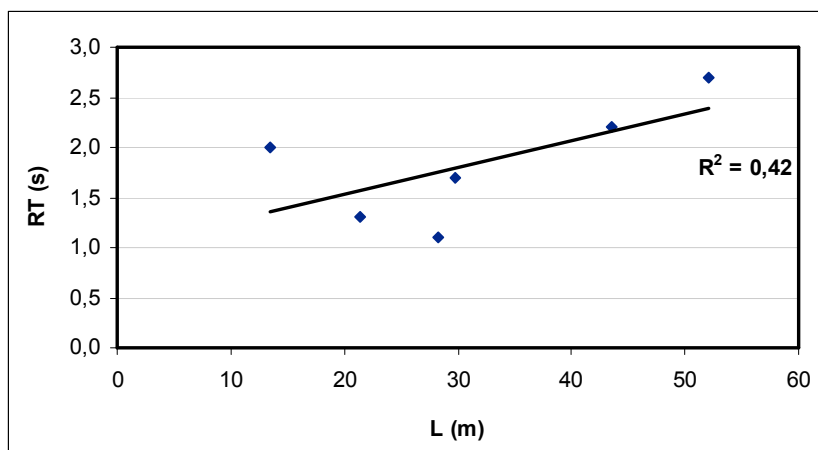


Fig. 4.13 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e a média do Comprimento Máximo (L) de cada grupo de mesquitas

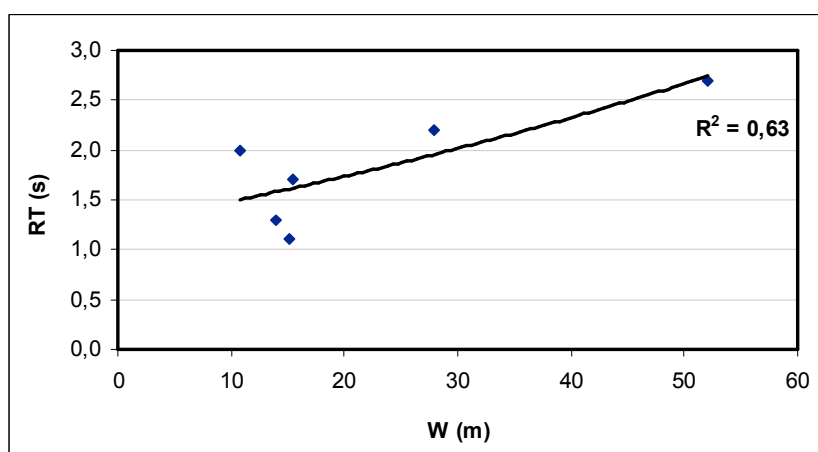


Fig. 4.14 – Correlação entre Tempo de Reverberação, RT, e a média da Largura Média (W) de cada grupo de mesquitas

Estas regressões permitem concluir que de facto a altura máxima é o parâmetro arquitectónico que melhor se correlaciona com o Tempo de Reverberação, nas mesquitas ($R^2 \approx 0,65$). No entanto outros parâmetros apresentam uma correlação idêntica, como é o caso do volume total ($R^2 \approx 0,64$), da largura média ($R^2 \approx 0,63$) e da área total ($R^2 \approx 0,63$). O comprimento máximo foi a característica geométrica que menor valor de R^2 apresentou, com um valor $R^2 \approx 0,42$.

Note-se que é possível encontrar regressões com um coeficiente de correlação superior, por exemplo para a altura máxima e comprimento máximo, embora não se considerem representativas da realidade pois apresentam variações de inclinação muito acentuadas.

4.5. CORRELAÇÃO ENTRE A CLARIDADE E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

4.5.1. CLARIDADE NAS IGREJAS CATÓLICAS

Para a Claridade, C_{80} , também foram calculados os valores médios relativos a cada uma das categorias de igrejas. O Quadro 4.16 apresenta esses valores médios relativos à Claridade medidos nas igrejas Católicas, segundo os grupos considerados.

Quadro 4.16 – Valores médios da Claridade, C_{80} , por grupos de igrejas

GRUPOS	C_{80} (dB) (500-1000 Hz)
A	0,1
B	-1,8
C	-4,3
D	-2,3
E	-5,0
F	-6,3

Os valores expostos no quadro anterior são ilustrados através de um gráfico “Claridade *versus* Grupo (volume)” na Figura 4.15, de forma a dar uma ideia mais nítida da variação do parâmetro C_{80} com o aumento de volume das igrejas.

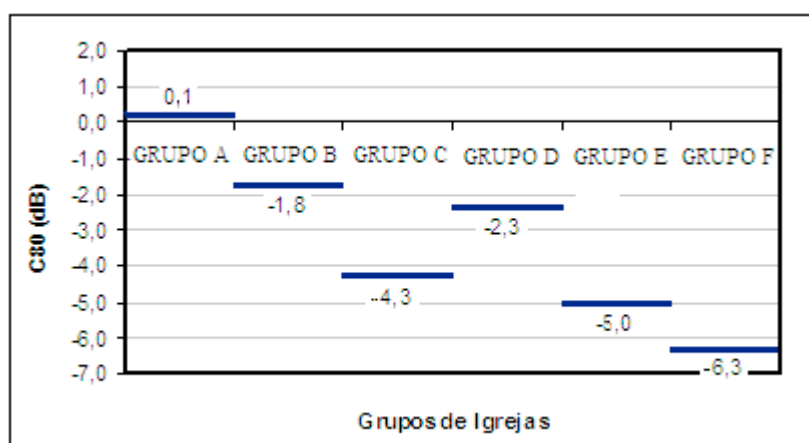


Fig. 4.15 – Variação da Claridade, C_{80} , relativamente aos grupos de igrejas

Pode-se observar que a Claridade (C_{80}) decresce desde o Grupo A até ao Grupo F, com excepção do Grupo C que apresenta maior valor que o D. Esta situação já havia acontecido com o Tempo de Reverberação (RT), pelo que reforça a teoria de que o facto do Grupo C ser composto por poucas amostras pode levar a que um caso pontual afecte de forma acentuada o seu valor médio.

É de facto o Grupo A o único com um valor médio da Claridade positivo, ou seja, todos os restantes grupos propendem para valores negativos cada vez maiores. Isto demonstra uma clara perda de transparência principalmente na música tocada em igrejas, tendendo a ouvir-se o som cada vez mais “empastelado” à medida que o volume do espaço aumenta.

Mais uma vez foram usadas rectas de regressão na tentativa de correlacionar de forma mais correcta os diferentes parâmetros arquitectónicos e a Claridade nas igrejas Católicas. Começou-se por proceder desta forma usando o volume total como termo de correlação. No Quadro 4.17 apresentam-se as duas melhores equações das linhas de tendência e os respectivos coeficientes de correlação, sendo identificada a sombreado e com R^2 a negrito a melhor regressão. De notar que no caso da Claridade, uma vez que adquire valores negativos, não se pode aproximar a regressões exponenciais e potenciais.

Quadro 4.17 – Duas melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{80} , e Volume Total, V , nas igrejas

TIPO DE REGRESSÃO	EQUAÇÃO	R^2
Logarítmica	$C_{80} = -1,9954 \cdot \ln(V) + 12,405$	0,59
Polinomial 2ª ordem	$C_{80} = 2,8 \times 10^{-8} \cdot V^2 - 0,000838 \cdot V - 0,7281$	0,51

Das regressões testadas verifica-se que a logarítmica é a que traduz melhor a correlação entre a Claridade e o volume das igrejas Católicas, uma vez que apresenta o coeficiente de correlação mais alto ($R^2 \approx 0,59$). Assim, conclui-se que há uma boa interdependência entre os parâmetros analisados.

Na Fig. 4.16 é apresentado um gráfico de dispersão de pontos, relativos à Claridade (média das bandas de frequência 500 Hz e 1000 Hz) associada aos valores do volume de cada igreja. Nesse gráfico está representada a regressão logarítmica, que melhor correlaciona ambos os parâmetros.

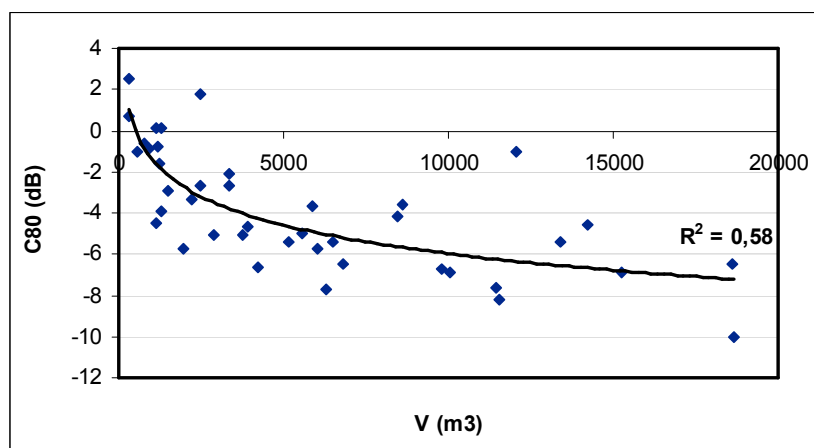


Fig. 4.16 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Volume Total, V , em igrejas Católicas

Este gráfico traduz o que o gráfico de categorias já dava a entender, ou seja, uma diminuição (para valores negativos) da Claridade associado a um crescimento do volume total das igrejas.

Tal como feito com o Tempo de Reverberação, correlacionou-se a Claridade (C_{80}) com os restantes parâmetros arquitectónicos. As melhores regressões obtidas para cada um são apresentadas no Quadro 4.18, juntamente com o respectivo coeficiente de correlação R^2 .

Quadro 4.18 – Melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{80} , e os parâmetros arquitectónicos das igrejas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R^2
V – Volume Total (m^3)	$C_{80} = -1,9954 \cdot \ln(V) + 12,405$	0,59
S – Área Total (m^2)	$C_{80} = -2,5557 \cdot \ln(S) + 10,997$	0,53
L – Comprimento Máximo (m)	$C_{80} = -4,4625 \cdot \ln(L) + 11,359$	0,42
H – Altura Máxima (m)	$C_{80} = 0,0062 \cdot H^2 - 0,5431 \cdot H + 2,4894$	0,49
W – Largura Média (m)	$C_{80} = -3,8216 \cdot \ln(W) + 5,6106$	0,44

É possível observar através do quadro anterior que apenas a altura máxima se comporta como uma função polinomial de segunda ordem, enquanto que os restantes parâmetros se aproximam de regressões logarítmicas.

As melhores regressões encontradas para cada elemento geométrico das igrejas são ilustradas nas Figuras 4.17 a 4.20.

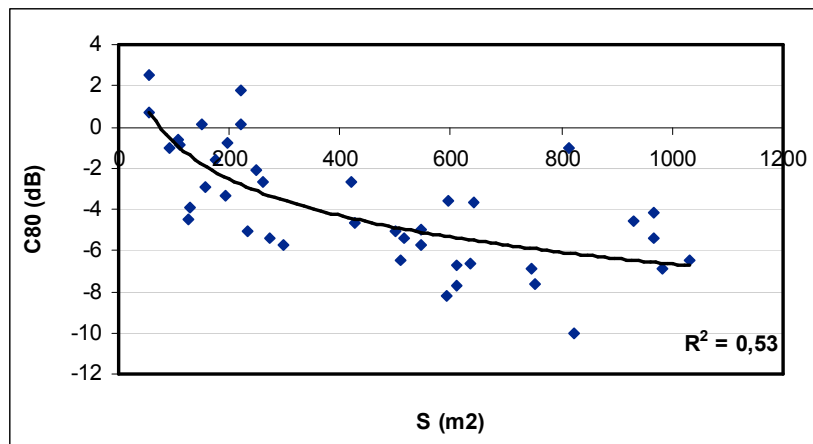


Fig. 4.17 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Área Total, S, em igrejas Católicas

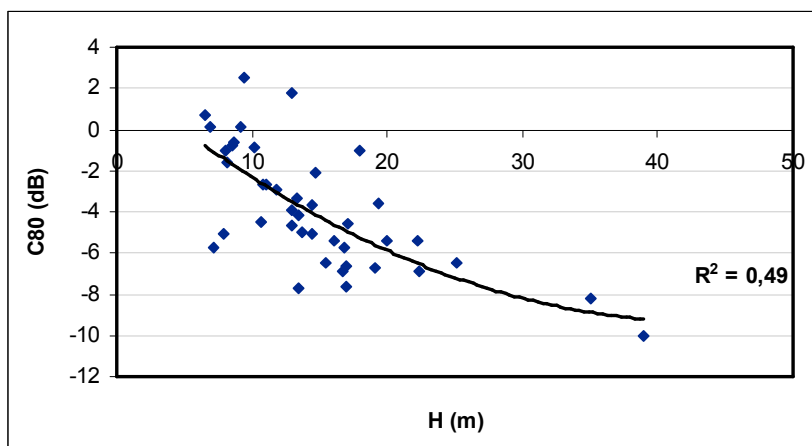


Fig. 4.18 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Altura Máxima, H , em igrejas Católicas

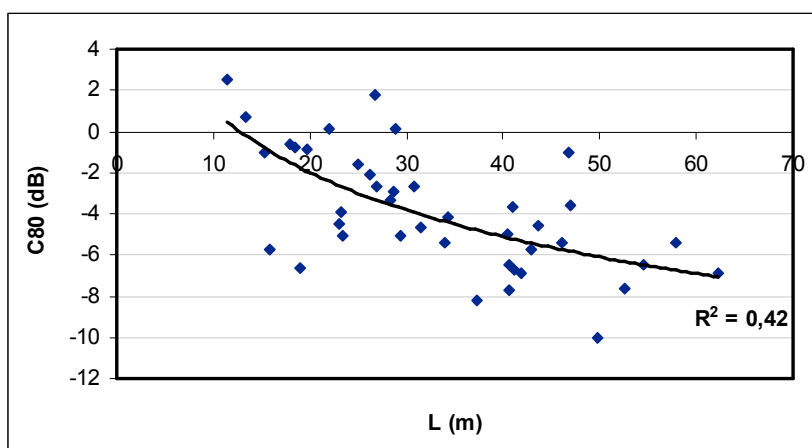


Fig. 4.19 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Comprimento Máximo, L , em igrejas Católicas

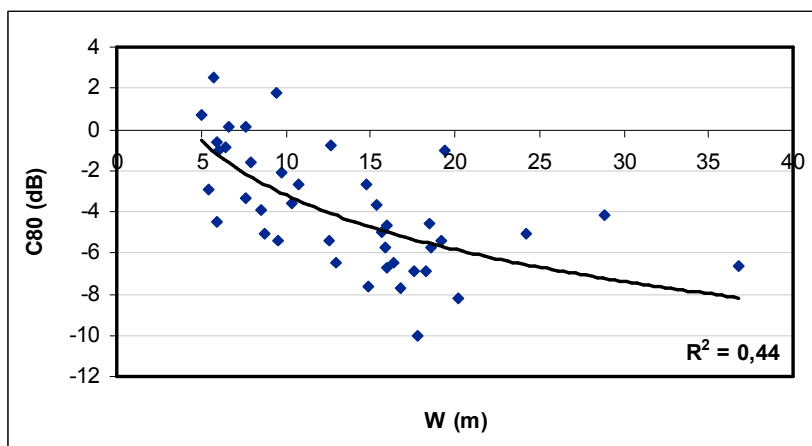


Fig. 4.20 – Correlação entre Claridade, C_{80} , e Largura Média, W , em igrejas Católicas

Das figuras acima conclui-se o mesmo que no Quadro 4.16, ou seja, que as melhores correlações encontradas para a Claridade nas igrejas foram o volume total e a área total com um coeficiente de correlação aproximadamente de $R^2 \approx 0,6$. Por outro lado, o comprimento máximo parece ser o parâmetro arquitectónico que menos se correlaciona com a Claridade ($R^2 \approx 0,42$). No entanto este valor não é baixo e verifica-se que os coeficientes de correlação estão muito próximos uns dos outros para este parâmetro acústico (variam entre 0,42 e 0,59), o que demonstra que todos esses parâmetros arquitectónicos interferem na Claridade do som nas igrejas.

4.5.2. CLARIDADE NAS MESQUITAS

Os valores médios da Claridade (C_{50}), para cada grupo de mesquitas considerado, são apresentados no Quadro 4.19.

Quadro 4.19 – Valores médios da Claridade, C_{50} , por grupos de mesquitas

GRUPOS	C_{50} (dB) (500-1000Hz)
A	-2,7
B	0,2
C	0,8
D	-1,6
E	-3,9
F	-6,5

Na Fig. 4.21 é ilustrado um gráfico com os valores médios da Claridade (C_{50}) para cada categoria, ou seja, a transposição dos dados do quadro acima para um gráfico de forma a dar a perceber melhor a dependência entre este parâmetro acústico e o volume das mesquitas.

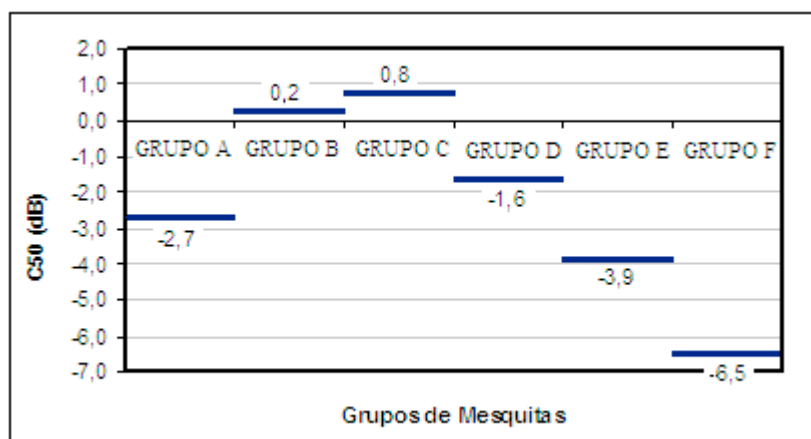


Fig. 4.21 – Variação da Claridade, C_{50} , relativamente aos grupos de mesquitas

Na Fig. 4.22 é representado um gráfico idêntico mas com o volume total nas abcissas, em vez dos grupos. Para este gráfico procedeu-se à mesma alteração que na análise do Tempo de Reverberação das mesquitas, fazendo novamente uma consideração menos exacta de considerar que, para cada grupo, o valor médio de C_{50} corresponde ao valor do volume médio desse grupo.

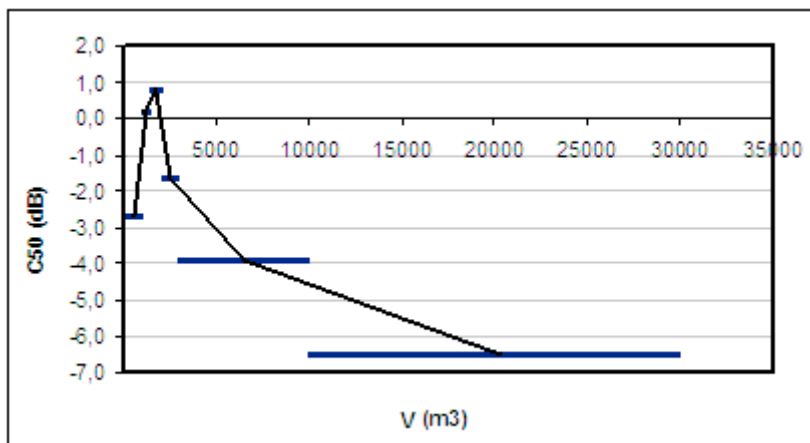


Fig. 4.22 – Variação da Claridade, C_{50} , com o Volume Total, V , das mesquitas

A Fig. 4.23 mostra o gráfico da variação da Claridade (C_{50}) com o volume, através de uma linha de união entre os pontos de volume médio de cada grupo, de forma a entender-se melhor a interdependência entre estes dois parâmetros.

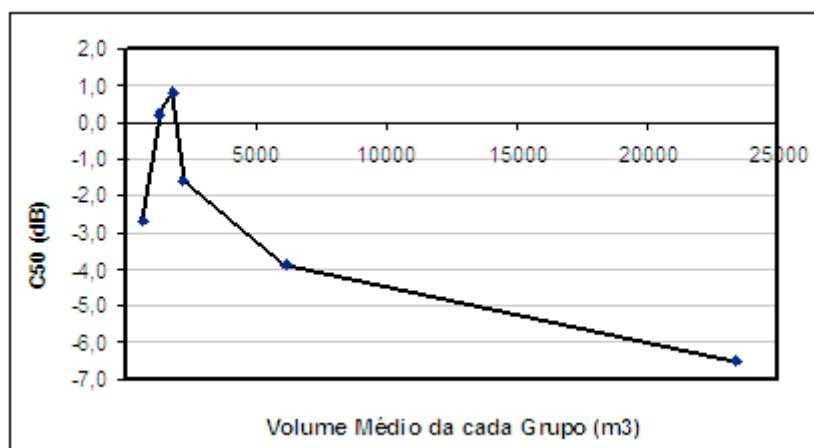


Fig. 4.23 – Linha de variação da Claridade, C_{50} , com a média do Volume Total, V , de cada grupo de mesquitas

Do gráfico anterior podemos deduzir que enquanto nas mesquitas de menor volume (inseridas no Grupo A) a Claridade (C_{50}) toma valores negativos, à medida que o volume aumenta (até perto dos 2000 m³) a Claridade também aumenta atingindo valores positivos, embora que baixos. A partir desta ordem de grandeza de volumes, nota-se uma clara descida da Claridade de forma contínua até às mesquitas de maiores volumes, atingindo o valor de -6,5 dB para o último grupo de mesquitas.

Para a Claridade foram também feitas regressões a partir dos valores médios dos parâmetros arquitectónicos de cada grupo. Com esses valores médios obtiveram-se correlações, traduzidas por curvas de regressão, sendo as melhores indicadas no Quadro 4.20 e ilustradas nas Figuras 4.24 a 4.28.

Quadro 4.20 – Melhores regressões para correlação entre Claridade, C_{50} , e os parâmetros arquitectónicos das mesquitas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R^2
V – Volume Total (m^3)	$C_{50} = 1,41 \times 10^{-8} \cdot V^2 - 0,000605 \cdot V - 0,1076$	0,72
S – Área Total (m^2)	$C_{50} = -1,15 \times 10^{-7} \cdot S^2 - 0,00202 \cdot S - 0,3397$	0,71
L – Comprimento Máximo (m)	$C_{50} = -0,1335 \cdot L + 1,9078$	0,49
H – Altura Máxima (m)	$C_{50} = -8,7027 \cdot \ln(H) + 11,963$	0,72
W – Largura Média (m)	$C_{50} = -0,00059 \cdot W^2 - 0,1082 \cdot W + 0,5747$	0,70

Este quadro mostra que as melhores curvas de correlação que se obtiveram correspondem a rectas polinomiais de segunda ordem e a funções logarítmicas.

Salienta-se o facto de todos os valores obtidos de R^2 serem elevados, o que se percebe relativamente às igrejas dado que o número de pontos é inferior no caso das mesquitas, tornando mas fácil aproximar uma linha de tendência. De qualquer das maneiras, há ainda a verificar o facto dos valores serem muito idênticos (excepto no caso do comprimento máximo), situação que já tinha sido confrontada na análise da Claridade (C_{80}) em igrejas, e que demonstra que também nas mesquitas todos os parâmetros arquitectónicos têm influência na Claridade do discurso.

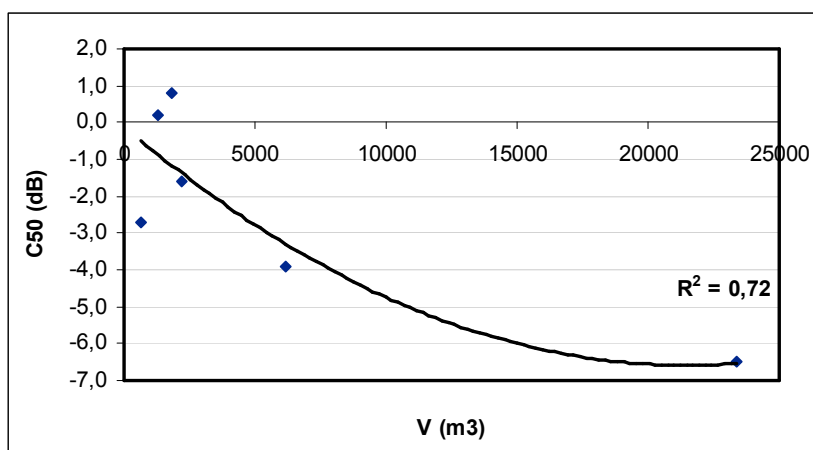


Fig. 4.24 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média do Volume Total, V, de cada grupo de mesquitas

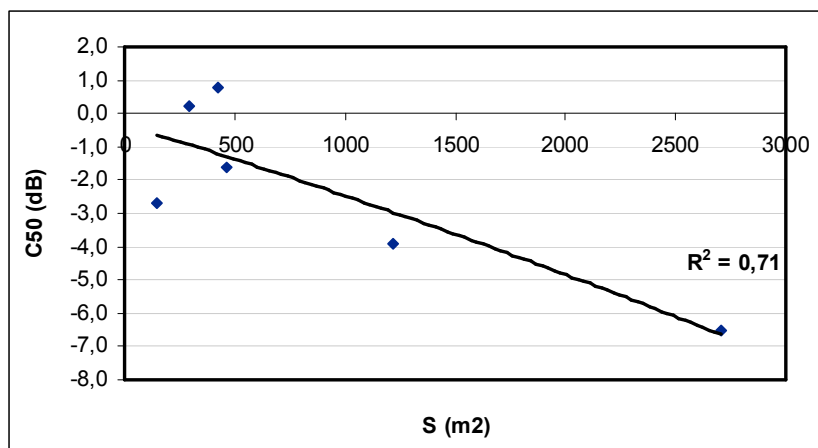


Fig. 4.25 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Área Total, S , de cada grupo de mesquitas

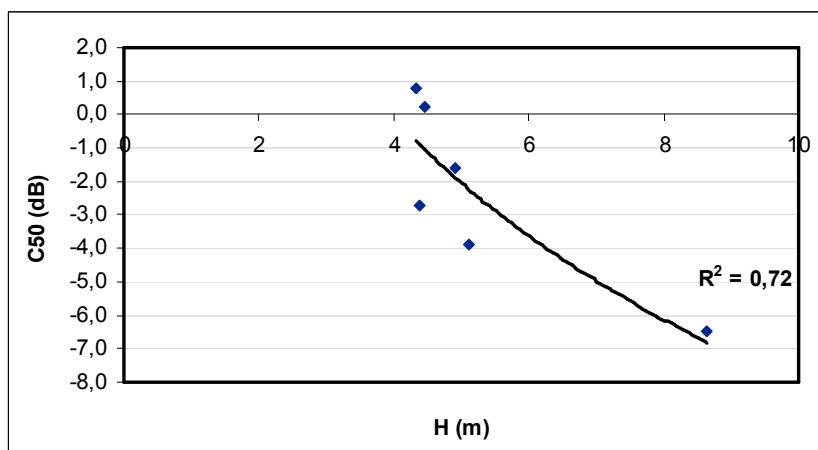


Fig. 4.26 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Altura Máxima, H , de cada grupo de mesquitas

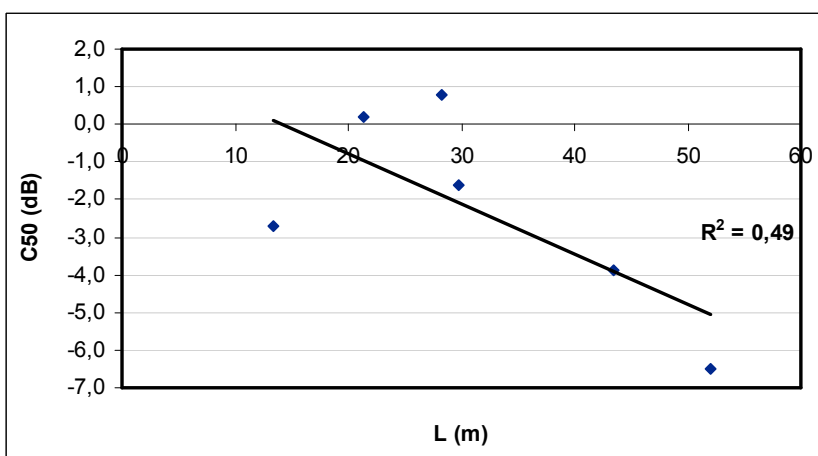


Fig. 4.27 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média do Comprimento Máximo, L , de cada grupo de mesquitas

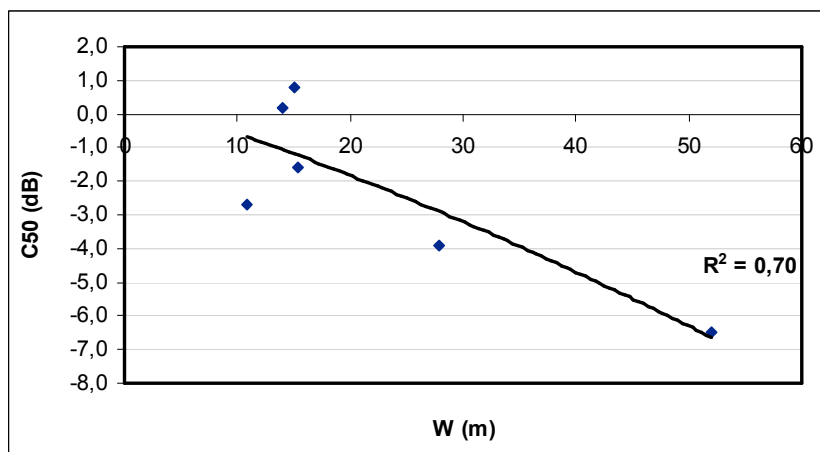


Fig. 4.28 – Correlação entre Claridade, C_{50} , e a média da Largura Média, W , de cada grupo de mesquitas

Conclui-se da análise a estas regressões que o volume total e a altura máxima são os parâmetros arquitectónicos a apresentar melhores coeficientes de correlação, ambos com $R^2 \approx 0,72$. O área total ($R^2 \approx 0,71$), a largura média ($R^2 \approx 0,70$) apresentam coeficientes de correlação muito semelhantes, sendo o comprimento máximo o único parâmetro a apresentar pouca interdependência relativamente à Claridade ($R^2 \approx 0,49$).

As conclusões tiradas com a observação do Quadro 4.20 relativamente à forte interdependência entre todos os parâmetros arquitectónicos e a Claridade (C_{50}) tornam-se mais evidentes com as figuras anteriormente ilustradas.

4.6. CORRELAÇÃO ENTRE O RASTI/STI E OS PARÂMETROS ARQUITECTÓNICOS

4.6.1. RASTI NAS IGREJAS CATÓLICAS

No Capítulo 3, quando foram descritos os parâmetros acústicos, fez-se referência ao STI e ao RASTI. Na verdade trata-se da medição do mesmo índice – o índice de transmissão de discurso (*speech transmission index*) – mas de maneiras diferentes, sendo o RASTI um processo mais rápido e simplificado. Nos trabalhos usados como base para a presente dissertação foram obtidos tanto valores de STI como de RASTI. No caso das igrejas, as medições feitas por Margarida Lencastre (Lencastre, 1998) correspondem ao RASTI.

Quadro 4.21 – Conversão do RASTI numa escala de inteligibilidade da palavra

RASTI	Inteligibilidade
0,00 – 0,30	Má
0,30 – 0,45	Medíocre
0,45 – 0,60	Suficiente
0,60 – 0,75	Bom
0,75 – 1,00	Excelente

A avaliação da inteligibilidade da palavra através do RASTI pode ser feita de acordo com o Quadro 4.21.

A média dos valores obtidos pelos quatro receptores colocados em diferentes posições no interior das igrejas Católicas, sem a instalação sonora ou altifalantes (*Sound Reinforcement System* – SRS) em funcionamento e com a fonte no altar, é apresentada no Quadro 4.22.

Quadro 4.22 – Valores do RASTI médio com fonte sonora no altar (SRS desligado) das 31 igrejas Católicas
(Lencastre, 1998)

Nº igreja	RASTI (SRS desligado)	CLASSIFICAÇÃO	Nº igreja	RASTI (SRS desligado)	CLASSIFICAÇÃO
1	0,38	Medíocre	17	0,45	Suficiente
2	0,38	Medíocre	18	0,41	Medíocre
3	0,48	Suficiente	19	0,48	Suficiente
4	0,38	Medíocre	20	0,22	Má
5	0,49	Suficiente	21	0,38	Medíocre
6	0,55	Suficiente	22	0,40	Medíocre
7	0,33	Medíocre	23	0,40	Medíocre
8	0,47	Suficiente	24	0,46	Suficiente
9	0,53	Suficiente	25	0,37	Medíocre
10	0,41	Medíocre	26	0,42	Medíocre
11	0,56	Suficiente	27	0,29	Má
12	0,44	Medíocre	28	0,41	Medíocre
13	0,38	Medíocre	29	0,49	Suficiente
14	0,41	Medíocre	30	0,42	Medíocre
15	0,23	Má	31	0,44	Medíocre
16	0,48	Suficiente	MÉDIA	0,42	Medíocre

Observando este quadro com atenção, salienta-se o facto de três igrejas (correspondente a aproximadamente 10% da amostra) apresentarem uma “má” inteligibilidade da palavra, nomeadamente as igrejas da Lourosa, da Nossa Senhora da Boavista e de São Gens. Quanto às igrejas com uma inteligibilidade “medíocre” pode-se dizer que constituem a maioria, com perto de 55% das ocorrências. As restantes igrejas Católicas apresentam uma “suficiente” inteligibilidade.

Se calcularmos a média dos valores do RASTI nesta amostra de trinta e uma igrejas, chegamos a um valor de 0,42 o que se traduz numa inteligibilidade de qualidade “medíocre”, embora esteja perto da fronteira do “suficiente” (0,45).

Para o RASTI foram criados também gráficos de dispersão para cada um dos parâmetros arquitectónicos, mas desta vez aproximados apenas a curvas de regressão lineares uma vez que, como os gráficos indicam, os valores do RASTI oscilam em torno de uma recta de inclinação constante o que torna as restantes regressões pouco realistas.

O coeficiente de correlação usado para transmitir o grau de correlação entre este parâmetro acústico e as características geométricas é denominado coeficiente de Pearson e representa-se por R. No Quadro 4.23 são indicadas as equações das rectas de regressão lineares que melhor aproximação têm com cada um dos parâmetros arquitectónicos, juntamente com os respectivos coeficientes de Pearson.

Quadro 4.23 – Regressões lineares para correlação entre RASTI médio (SRS desligado) e os parâmetros arquitectónicos das 31 igrejas Católicas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R
V – Volume Total (m ³)	$RASTI = -1,34 \times 10^{-6} \cdot V + 0,4264$	0,10
S – Área Total (m ²)	$RASTI = -1,82 \times 10^{-5} \cdot S + 0,4264$	0,07
H – Altura Máxima (m)	$RASTI = -1,32 \times 10^{-4} \cdot H + 0,4208$	0,38
L – Comprimento Máximo (m)	$RASTI = -0,00529 \cdot L + 0,5012$	0,02
W – Largura Média (m)	$RASTI = -0,00175 \cdot W + 0,4414$	0,13

Constata-se que entre os parâmetros arquitectónicos analisados, o que melhor se relaciona com o RASTI é a altura máxima com um $R \approx 0,4$. Isto significa que para este parâmetro se pode encontrar uma relação linear de dependência com algum significado estatístico. Para além da altura máxima, mais nenhum parâmetro apresenta um coeficiente de Pearson idêntico, nem mesmo superior a 0,20. As restantes características arquitectónicas exibem valores para o mesmo coeficiente inferiores a 0,15 sendo o comprimento máximo o que traduz uma menor relação linear.

As Figuras 4.29 e 4.30 ilustram os gráficos de dispersão de pontos e as respectivas linhas de tendência das duas melhores regressões mostradas no Quadro 4.23.

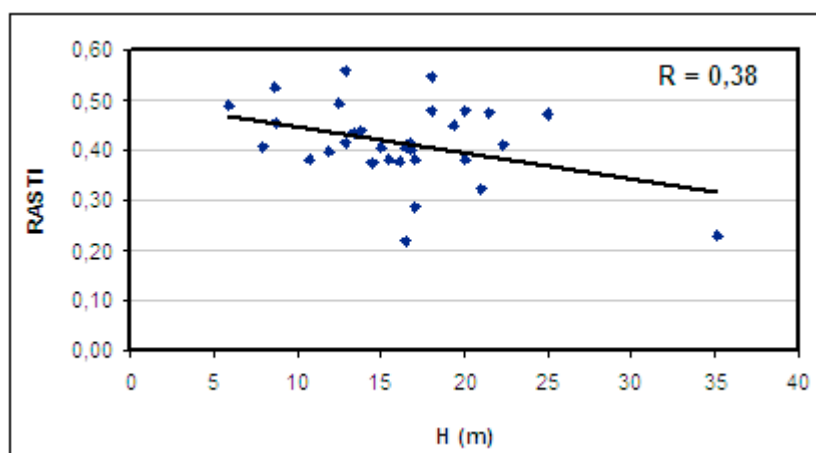


Fig. 4.29 – Correlação linear entre RASTI e a Altura Máxima, H, em igrejas Católicas

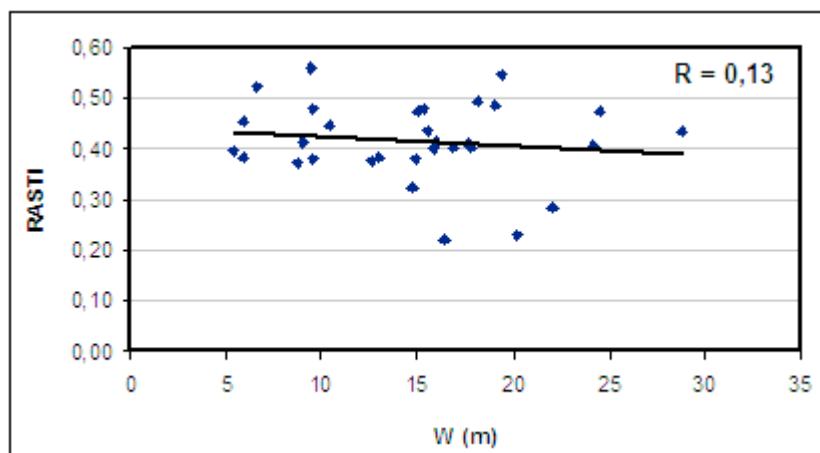


Fig. 4.30 – Correlação linear entre RASTI e a Largura Média, W, em igrejas Católicas

Os valores obtidos para o coeficiente de correlação linear de Pearson não são muito elevados, mas é preciso ter em consideração que na realidade foram medidos quatro valores diferentes de RASTI por igreja, referentes a quatro posições dos receptores.

Em estudos anteriores verificou-se que os parâmetros arquitectónicos poderiam ser relacionados de melhor maneira com o RASTI se essa relação fosse feita por posição de medida, em vez do uso de valores médios.

Tanto no caso das igrejas Católicas como no caso das mesquitas as medições do RASTI ou STI foram feitas com o sistema de reforço acústico (SRS) ligado e desligado, com o intuito de se estabelecer a comparação da inteligibilidade da palavra com e sem esse sistema operacional.

A comparação dos resultados obtidos com o sistema de reforço acústico ligado e desligado serão analisados no último capítulo, uma vez que se trata de uma curiosidade relacionada com a eficácia deste tipo de equipamento e não de algo directamente interligado com o objectivo principal desta investigação, que é o de estabelecer a comparação entre a acústica entre dois locais de culto bastante distintos.

A média dos valores obtidos pelos receptores colocados em diferentes posições no interior das igrejas Católicas, com a instalação sonora ou altifalantes (*Sound Reinforcement System* – SRS) em funcionamento é apresentada no Quadro 4.24.

Quadro 4.24 – Valores do RASTI médio com fonte sonora no altar (SRS ligado) das 31 igrejas Católicas

(Lencastre, 1998)

Nº igreja	RASTI (SRS ligado)	CLASSIFICAÇÃO	Nº igreja	RASTI (SRS ligado)	CLASSIFICAÇÃO
1	0,46	Suficiente	17	0,47	Suficiente
2	0,52	Suficiente	18	0,43	Medíocre
3	0,49	Suficiente	19	0,45	Suficiente
4	0,41	Medíocre	20	0,26	Má
5	0,41	Medíocre	21	0,39	Medíocre
6	0,57	Suficiente	22	0,45	Suficiente
7	0,39	Medíocre	23	0,42	Medíocre
8	0,48	Suficiente	24	0,47	Suficiente
9	0,51	Suficiente	25	0,41	Medíocre
10	0,36	Medíocre	26	0,51	Suficiente
11	0,66	Bom	27	0,31	Medíocre
12	0,40	Medíocre	28	0,44	Medíocre
13	0,36	Medíocre	29	0,52	Suficiente
14	0,38	Medíocre	30	0,38	Medíocre
15	0,35	Medíocre	31	0,54	Suficiente
16	0,49	Suficiente	MÉDIA	0,44	Medíocre

Na análise deste quadro salienta-se o facto de apenas uma igreja (correspondente a aproximadamente 3% da amostra) apresentar uma “má” inteligibilidade da palavra, na Igreja do Marco de Canavezes. Quanto às igrejas com uma inteligibilidade “medíocre” pode-se dizer que constituem a maioria, com cerca de 48% das ocorrências. As restantes igrejas Católicas apresentam uma “suficiente” inteligibilidade, à excepção da Igreja de Santa Clara que apresenta uma inteligibilidade “boa”.

O valor médio obtido para o RASTI nesta amostra de trinta e uma igrejas com o SRS ligado, é cerca de 0,44 o que se traduz numa inteligibilidade de qualidade “medíocre”, embora esteja perto da fronteira do “suficiente” (0,45). No entanto este valor médio mostra-se ligeiramente superior ao obtido com o SRS desligado.

Em oito das trinta e uma igrejas analisadas (cerca de 26% da amostra), verificou-se uma diminuição dos valores de RASTI com a instalação sonora ligada. O tempo de reverberação, já elevado em algumas igrejas, tornou-se ainda maior com as reflexões das ondas sonoras nas paredes interiores provocadas pelo accionamento do SRS, o que levou a um decréscimo da inteligibilidade da palavra e, consequentemente, a valores mais baixos do RASTI.

Criaram-se gráficos de dispersão e curvas de regressão lineares agora para os valores do RASTI médio medido nas igrejas Católicas com o SRS ligado. As equações obtidas para a correlação linear entre cada um dos parâmetros arquitectónicos e os RASTI das igrejas (SRS ligado) são apresentadas no Quadro 4.25 juntamente com os respectivos coeficientes de Pearson.

Quadro 4.25 – Regressões lineares para correlação entre RASTI médio (SRS ligado) e os parâmetros arquitectónicos das 31 igrejas Católicas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R
V – Volume Total (m ³)	$RASTI = -1,23 \times 10^{-6} \cdot V + 0,4509$	0,09
S – Área Total (m ²)	$RASTI = -4,95 \times 10^{-5} \cdot S + 0,4704$	0,20
L – Comprimento Máximo (m)	$RASTI = -4,54 \times 10^{-4} \cdot L + 0,4588$	0,07
H – Altura Máxima (m)	$RASTI = -0,00137 \cdot H + 0,4631$	0,10
W – Largura Média (m)	$RASTI = -0,00404 \cdot W + 0,5007$	0,29

O Quadro 4.25 permite verificar algumas situações curiosas. De facto enquanto que as melhores correlações lineares encontradas entre o RASTI com o SRS desligado tinham sido para a altura máxima e largura média, no caso do sistema de reforço acústico estar ligado a largura média continua a revelar uma grande correlação linear com o RASTI juntamente com a área total. O comprimento máximo é mais uma vez o parâmetro arquitectónico a apresentar menor correlação com o RASTI ($R < 0,1$). A altura máxima e o volume total apresentam o mesmo coeficiente com um valor de aproximadamente 0,1.

As Figuras 4.31 e 4.32 ilustram os gráficos de dispersão de pontos e as respectivas linhas de tendência das duas melhores regressões mostradas no Quadro 4.25.

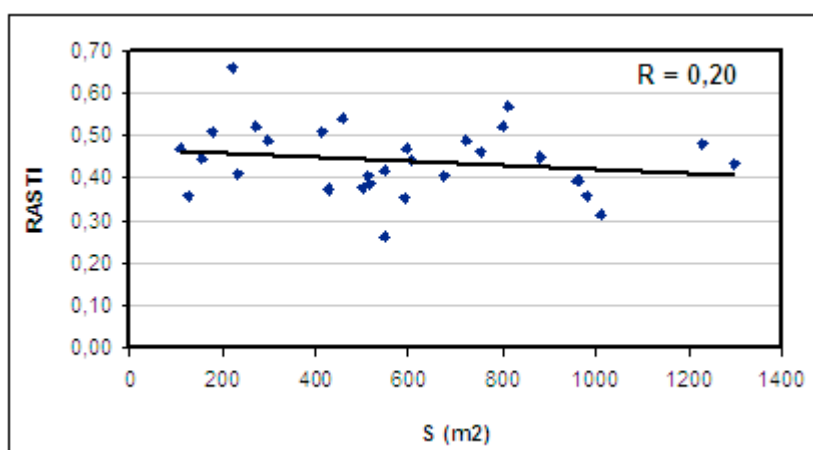


Fig. 4.31 – Correlação linear entre RASTI e a Área Total, S, em igrejas Católicas

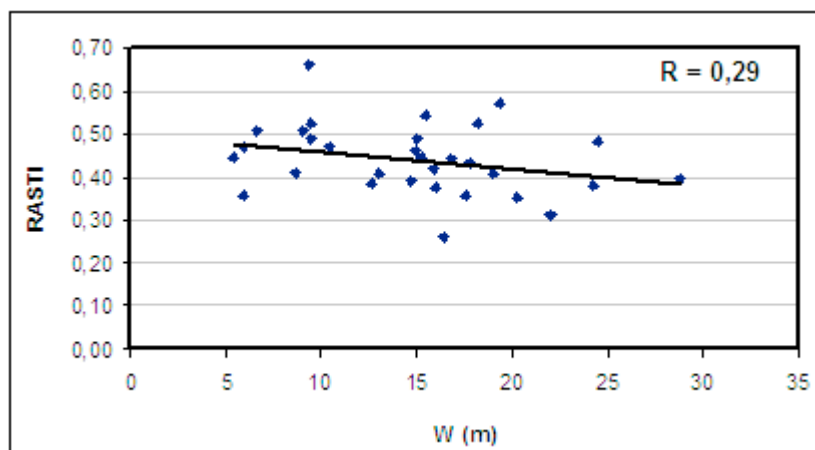


Fig. 4.32 – Correlação linear entre RASTI e a Largura Média, W, em igrejas Católicas

As figuras anteriores permitem verificar que a melhor recta de correlação linear obtida para o RASTI com o SRS ligado apresenta um menor valor para o coeficiente de Pearson ($R \approx 0,3$), relativamente à melhor correlação obtida para o RASTI com o SRS desligado ($R \approx 0,4$).

No entanto, nesta última análise (com SRS ligado) é possível encontrar dois parâmetros arquitectónicos com um coeficiente de correlação linear igual ou superior a 0,2, enquanto que na análise com o SRS desligado apenas a altura máxima apresentava o mesmo coeficiente com valor superior a 0,2.

4.6.2. STI NAS MESQUITAS

No caso das mesquitas, Abdou (Abdou, 2003) procedeu à medição do STI nos trinta e um edifícios tendo sido essas medições feitas com o SRS (*Sound Reinforcement System*) ligado e desligado, tal como havia sido feito com as igrejas Católicas.

Neste sub-capítulo é analisada a dependência e variabilidade do STI com os cinco diferentes parâmetros arquitectónicos em estudo, sendo os valores utilizados correspondentes aos medidos numa primeira fase com o SRS desligado e posteriormente com o mesmo sistema ligado.

Ao contrário do que foi feito com as igrejas, nas mesquitas a medição deste parâmetro acústico objectivo foi feita recorrendo a um número de receptores variável de mesquita para mesquita, dependendo da sua área útil.

O Quadro 4.26 apresenta os valores médios desse parâmetro obtidos para cada uma das mesquitas analisadas. Como óbvio que é, os valores do STI podem se converter numa escala de inteligibilidade da palavra tal como é feito para os valores do RASTI, uma vez que ambos os parâmetros procedem ao mesmo tipo de medição (embora um seja efectuado de forma mais simplificada que o outro).

Quadro 4.26 – Valores do STI médio em 21 mesquitas com o SRS desligado

(Abdou, 2003)

Nº mesquita	STI (SRS desligado)	CLASSIFICAÇÃO	Nº mesquita	STI (SRS desligado)	CLASSIFICAÇÃO
1	0,40	Medíocre	12	0,50	Suficiente
2	0,48	Suficiente	13	0,42	Medíocre
3	0,43	Medíocre	14	0,47	Suficiente
4	0,46	Suficiente	15	0,40	Medíocre
5	0,58	Suficiente	16	0,51	Suficiente
6	0,45	Suficiente	17	0,49	Suficiente
7	0,44	Medíocre	18	0,37	Medíocre
8	0,47	Suficiente	19	0,41	Medíocre
9	0,50	Suficiente	20	0,38	Medíocre
10	0,42	Medíocre	21	0,47	Suficiente
11	0,47	Suficiente	MÉDIA	0,45	Suficiente

A análise do Quadro 4.24 permite verificar alguns aspectos curiosos. Se calcularmos a média do STI medido na totalidade das mesquitas, chegamos a um valor de 0,45, ou seja, pode-se considerar que as mesquitas por norma apresentam uma inteligibilidade do discurso aceitável ou “suficiente” (seguindo os critérios de classificação anteriores). Contudo este valor situa-se no limite entre a situação “medíocre” e “suficiente”, o que com uma amostra maior de mesquitas poderia chegar-se a um valor que definisse de maneira mais precisa a qualidade média da compreensibilidade do discurso nestes locais. Nota ainda para o facto de nenhuma das mesquitas ter uma “má” inteligibilidade da palavra, correspondendo a uma qualidade “medíocre” uma fatia de 43% da totalidade dos casos e os restantes 57% a uma qualidade “suficiente”.

Tal como foi feito para as igrejas Católicas, foram feitas aproximações lineares à variação do STI com os vários parâmetros arquitectónicos. Os resultados a que se chegaram são apresentados no Quadro 4.27 onde também visível os coeficientes de correlação linear de Pearson obtidos para cada uma das correlações.

Quadro 4.27 – Regressões lineares para correlação entre STI médio (SRS desligado) e os parâmetros arquitectónicos das 21 mesquitas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R
V – Volume Total (m ³)	$STI = -9,86 \times 10^{-7} \cdot V + 0,4565$	0,10
S – Área Total (m ²)	$STI = -1,33 \times 10^{-5} \cdot S + 0,4609$	0,16
H – Altura Máxima (m)	$STI = -1,12 \times 10^{-2} \cdot H + 0,5073$	0,25
L – Comprimento Máximo (m)	$STI = -6,07 \times 10^{-4} \cdot L + 0,4700$	0,14
W – Largura Média (m)	$STI = -8,65 \times 10^{-4} \cdot W + 0,4686$	0,17

Entre os parâmetros arquitectónicos analisados verifica-se que o que apresenta melhor correlação com o STI é a altura máxima, com um coeficiente de correlação de Pearson de $R \approx 0,3$. Note-se que a altura máxima foi também a característica arquitectónica que melhor se relacionou com o RASTI nas igrejas Católicas (com o SRS desligado).

Pode ainda ser constatado o facto de mais nenhum parâmetro apresentar um $R > 0,2$ embora também seja de salientar que todos eles apresentam valores maiores ou iguais a 0,1.

Estes valores demonstram mais uma vez que a correlação entre a inteligibilidade da palavra e a arquitectura das mesquitas é um pouco limitada, como se pode observar nas Figuras 4.33 e 4.34 onde são ilustrados os gráficos de dispersão de pontos das duas melhores regressões lineares.

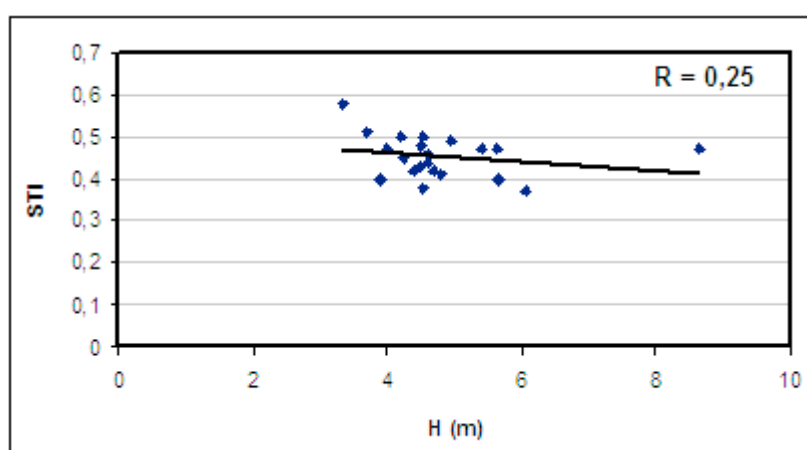


Fig. 4.33 – Correlação linear entre STI e a Altura Máxima, H, nas mesquitas

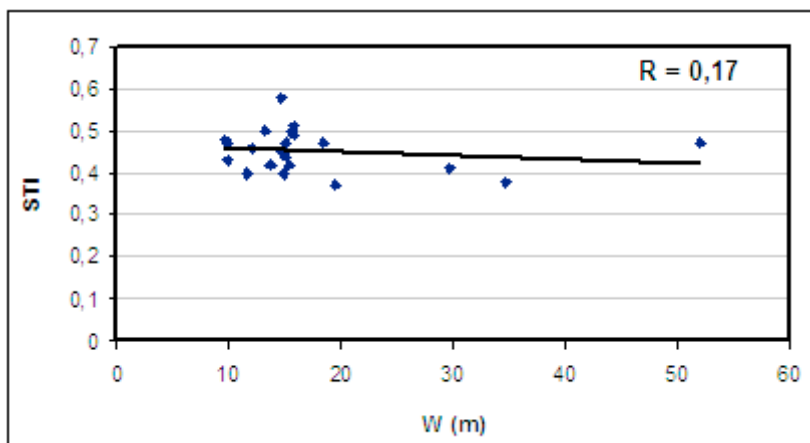


Fig. 4.34 – Correlação linear entre STI e a Largura Média, W, nas mesquitas

Como já fora referido anteriormente, foi também analisada a correlação entre os parâmetros arquitectónicos das mesquitas e o STI com o sistema de reforço acústico (SRS) ligado.

A média dos valores obtidos pelos receptores colocados em diferentes posições no interior das mesquitas, com a instalação sonora ou altifalantes (SRS) em funcionamento é apresentada no Quadro 4.28 juntamente com a respectiva classificação de inteligibilidade da palavra. Note-se que na mesquita número 20 (TH01) não foi possível efectuar a medição com o equipamento SRS ligado uma vez que se encontrava indisponível.

Quadro 4.28 – Valores do STI médio em 21 mesquitas com o SRS ligado

(Abdou, 2003)

Nº mesquita	STI (SRS ligado)	CLASSIFICAÇÃO	Nº mesquita	STI (SRS ligado)	CLASSIFICAÇÃO
1	0,48	Suficiente	12	0,48	Suficiente
2	0,45	Suficiente	13	0,51	Suficiente
3	0,43	Medíocre	14	0,57	Suficiente
4	0,45	Suficiente	15	0,58	Suficiente
5	0,56	Suficiente	16	0,48	Suficiente
6	0,51	Suficiente	17	0,41	Medíocre
7	0,49	Suficiente	18	0,45	Suficiente
8	0,45	Suficiente	19	0,49	Suficiente
9	0,54	Suficiente	20	---	---
10	0,53	Suficiente	21	0,42	Medíocre
11	0,44	Medíocre	MÉDIA	0,49	Suficiente

Observando o Quadro 4.28 verifica-se que a média do STI medido na totalidade das mesquitas é cerca de 0,49 o que corresponde a uma classificação da inteligibilidade da palavra “suficiente”. Este valor é superior à média do STI medido com o SRS desligado, embora a diferença não seja muito acentuada e a classificação seja a mesma.

Nenhuma das mesquitas apresenta uma “má” inteligibilidade, mas também é importante salientar que com os dispositivos de reforço acústico ligados nenhuma das mesquitas passou a apresentar uma “boa” inteligibilidade da palavra. Perto de 20% corresponde a uma qualidade “mediocre” e os restantes 80% a uma qualidade “suficiente”.

Foram feitas aproximações lineares à variação do STI com os vários parâmetros arquitectónicos. Os resultados a que se chegaram são apresentados no Quadro 4.29 onde também visível os coeficientes de correlação linear de Pearson obtidos para cada uma das correlações.

Quadro 4.29 – Regressões lineares para correlação entre STI médio (SRS ligado) e os parâmetros arquitectónicos das 21 mesquitas

PARÂMETRO ARQUITECTÓNICO	EQUAÇÃO	R
V – Volume Total (m ³)	$STI = -3,06 \times 10^{-6} \cdot V + 0,4951$	0,30
S – Área Total (m ²)	$STI = -2,44 \times 10^{-5} \cdot S + 0,4987$	0,28
H – Altura Máxima (m)	$STI = -1,13 \times 10^{-2} \cdot H + 0,5405$	0,25
L – Comprimento Máximo (m)	$STI = -8,50 \times 10^{-4} \cdot L + 0,5085$	0,19
W – Largura Média (m)	$STI = -1,22 \times 10^{-3} \cdot W + 0,5065$	0,23

Entre os parâmetros arquitectónicos analisados verifica-se que o que apresenta melhor correlação com o STI é o volume total, com um coeficiente de correlação de Pearson de $R \approx 0,3$. A área total apresenta um coeficiente de correlação linear também muito próximo de 0,3.

Pode ainda ser constatado que praticamente todos os parâmetros apresentam um $R > 0,2$ com a excepção do comprimento máximo que, no apesar de inferior, tem um valor muito próximo das duas décimas ($R \approx 0,19$).

Nas Figuras 4.35 e 4.36 onde são ilustrados os gráficos de dispersão de pontos das duas melhores regressão lineares obtidas para o STI e os parâmetros arquitectónicos.

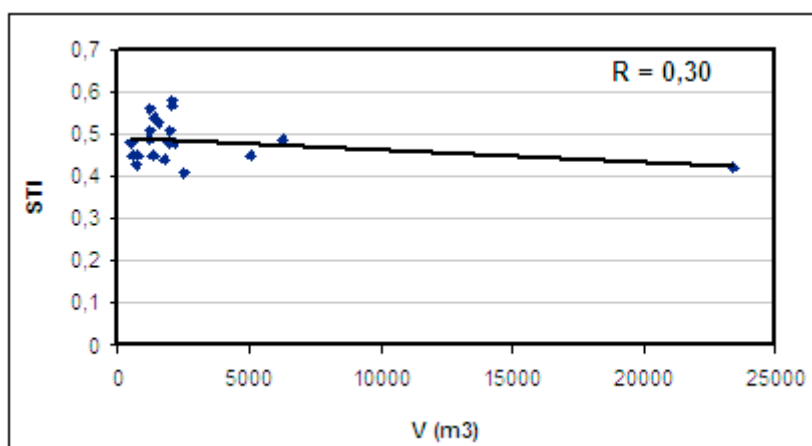


Fig. 4.35 – Correlação linear entre STI e o Volume Total, V, nas mesquitas

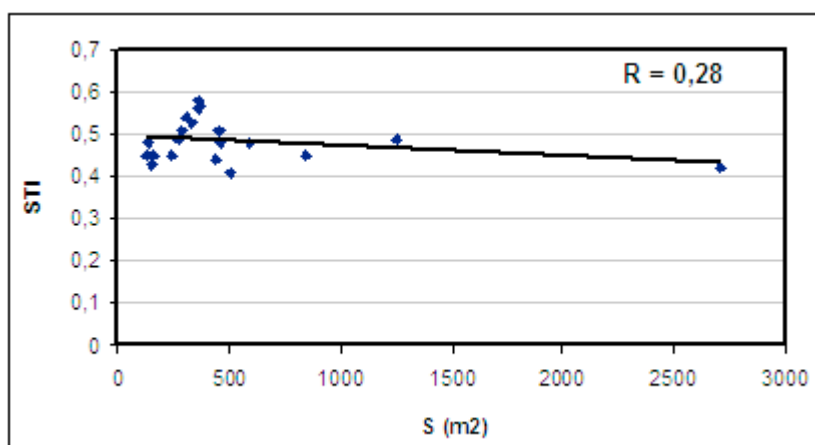


Fig. 4.36 – Correlação linear entre STI e a Área Total, S, nas mesquitas

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

Esta investigação toca num ponto bastante particular da Acústica de Edifícios, mais em concreto a acústica de dois tipos de locais de culto onde a necessidade de haver uma boa audibilidade e inteligibilidade do discurso é impreterível para que se possam realizar de forma adequada as orações e serviços respeitantes às religiões neles praticadas. De facto, tanto as igrejas Católicas como as mesquitas são construções com arquitecturas e características muito diferentes, factor que influencia directamente o desempenho acústico deste tipo de edifícios.

Uma vez que o tema da acústica de mesquitas ainda não havia sido aprofundado em Portugal, este estudo torna-se num valioso e oportuno complemento a toda a investigação feita na área da acústica de locais de culto já iniciado em anos anteriores. Serve assim para aumentar a base de dados disponível e permite que o conhecimento do desempenho acústico de mesquitas possa ser mais facilmente absorvido, sendo para isso utilizadas as igrejas como termo de comparação.

A premissa base deste estudo é a diferença entre o desempenho acústico observado para as igrejas e para as mesquitas face às suas características arquitectónicas. Pretende-se, por essa razão, demonstrar que é possível analisar a variabilidade nos valores de vários parâmetros acústicos objectivos e obter relações justificativas dessa variabilidade. Para se proceder a esta avaliação foram recolhidos dados anteriores relativos a medições acústicas em igrejas e mesquitas, tendo-se obtido amostras consideradas bastante abrangentes e representativas de um universo bastante amplo de edifícios deste tipo.

Neste capítulo é feita uma análise global a todo o trabalho desenvolvido sendo dada maior ênfase aos resultados comparativos obtidos no capítulo anterior, de forma a serem tiradas algumas ilações relativamente à acústica das igrejas e das mesquitas e ainda para se poder estabelecer uma comparação entre a acústica de ambas.

Como foi visto no Capítulo 2, os objectivos acústicos nos dois locais de culto diferem em alguns aspectos. Tratam-se de sítios onde se praticam religiões com alguns valores, tradições e práticas distintas pelo que seria de esperar resultados diferentes na avaliação do desempenho acústico de cada um deles. O tipo de discurso, a presença ou não de música e a disposição dos oradores/receptores influenciam toda a concepção do espaço e projectos de especialidades, como é o caso do projecto de acústica.

Tomemos como exemplo o caso da música de igreja, onde o coro e o órgão (além de eventuais outros instrumentos musicais) estão muitas vezes presentes durante as orações e exigem parâmetros acústicos adequados para a sua perfeita audição, clareza e percepção. Já nas mesquitas a situação difere bastante neste aspecto, uma vez que a música não está presente e toda a acústica tende a contribuir para uma boa inteligibilidade da palavra e clareza do discurso.

Este exemplo de como a acústica pode variar de local para local, consoante os usos que se dão aos mesmos, reflecte a abordagem feita ainda no Capítulo 2 quanto aos objectivos acústicos das igrejas Católicas e das mesquitas.

Outro aspecto bastante importante e condicionante na acústica de edifícios em geral, é a arquitectura dos mesmos. Uma observação ao *design* e formas de cada local, permite verificar que os parâmetros arquitectónicos têm um papel determinante no resultado acústico dos espaços. No Capítulo 4 são encontradas correlações precisamente entre parâmetros acústicos objectivos e parâmetros arquitectónicos, tanto nas igrejas Católicas como nas mesquitas. De salientar que para além das características geométricas analisadas (volume total, área total, altura máxima, comprimento máximo e largura média), outros factores inseridos na arquitectura dos espaços podem contribuir para o desempenho acústico dos mesmos, como é o caso dos pilares (quantidade e disposição), das superfícies redondas (abóbadas, paredes circulares, etc.), das cúpulas (nomeadamente no caso das mesquitas) e dos próprios revestimentos das superfícies interiores.

Três parâmetros acústicos objectivos foram utilizados neste estudo a fim se proceder à comparação já referida. Esses parâmetros são: o tempo de reverberação (RT), a clareza (C_{80} e C_{50}) e o STI (ou RASTI).

5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Constata-se que o parâmetro acústico tempo de reverberação (RT) é relacionável com a arquitectura dos dois tipos de edifícios. No caso das igrejas Católicas, as melhores correlações encontradas, para cada parâmetro arquitectónico considerado, apresentam todos valores de R^2 igual ou superior a 0,35. O destaque vai para a interdependência entre o tempo de reverberação e altura máxima ($R^2 \approx 0,56$) e ainda com o volume total ($R^2 \approx 0,51$). É ainda importante referir que o valor de RT tende a crescer com o aumento de todos os parâmetros arquitectónicos analisados.

No caso das mesquitas, a situação presenciada é idêntica, relativamente a esta última observação. Todos os parâmetros arquitectónicos demonstram uma boa correlação com o tempo de reverberação e, no geral, o crescimento de parâmetros está também associado a um aumento do RT.

Se se colocar lado a lado os tempos de reverberação das igrejas e mesquitas, podemos chegar a algumas conclusões interessantes. A primeira delas, é o facto de em ambos os casos se ter chegado a um coeficiente de correlação mais elevado quando relacionados o tempo de reverberação com a altura máxima ($R^2 \approx 0,56$ para as igrejas e $R^2 \approx 0,84$ para as mesquitas). Recordo que esta situação já tinha sido analisada para o caso das igrejas por Oliveira de Carvalho, mas que é agora verificada também para as mesquitas.

Outro aspecto é o facto das igrejas Católicas apresentarem, regra geral, tempos de reverberação superiores aos registados nas mesquitas.

Para melhor percepção da diferença entre o comportamento do tempo de reverberação e os vários parâmetros arquitectónicos de ambos os locais de culto, foram traçadas em simultâneo as melhores regressões obtidas para cada um deles.

Representou-se ainda a variação do tempo de reverberação, ΔRT , em função das várias características geométricas. Note-se que ΔRT corresponde à diferença entre o tempo de reverberação das igrejas Católicas e o das mesquitas ($\Delta RT = RT_{\text{igrejas}} - RT_{\text{mesquitas}}$).

Os gráficos das Figuras 5.1 a 5.5 ilustram a diferença entre a variação do tempo de reverberação e os vários parâmetros arquitectónicos, para as igrejas Católicas e mesquitas.

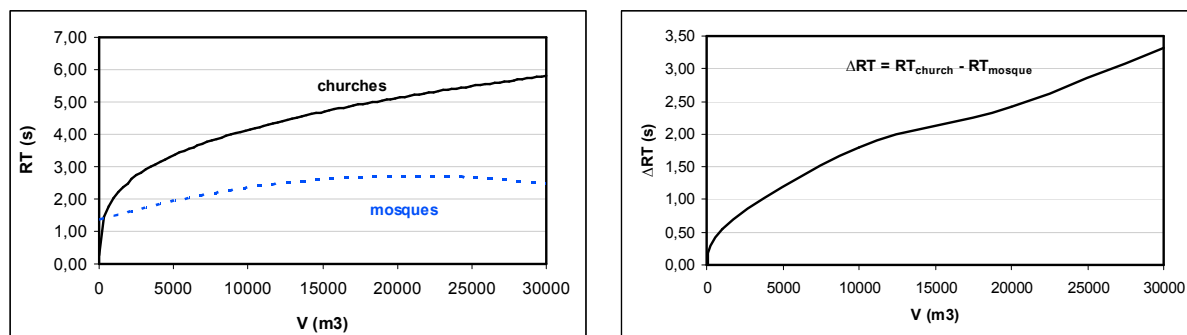


Fig. 5.1 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com o Volume Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas

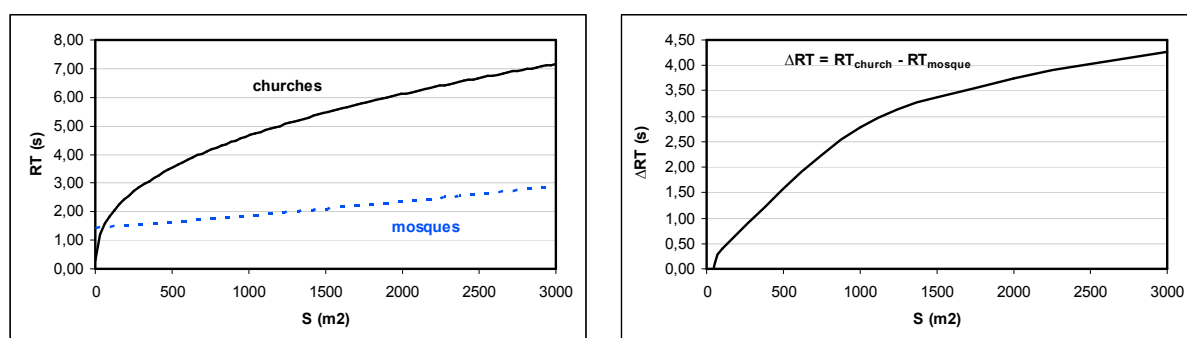


Fig. 5.2 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Área Total, S, nas mesquitas e igrejas Católicas

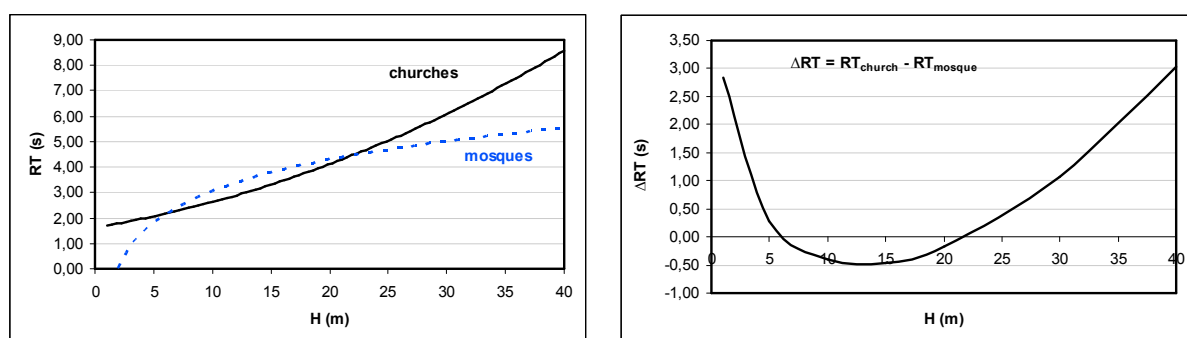


Fig. 5.3 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Altura Máxima, H, nas mesquitas e igrejas Católicas

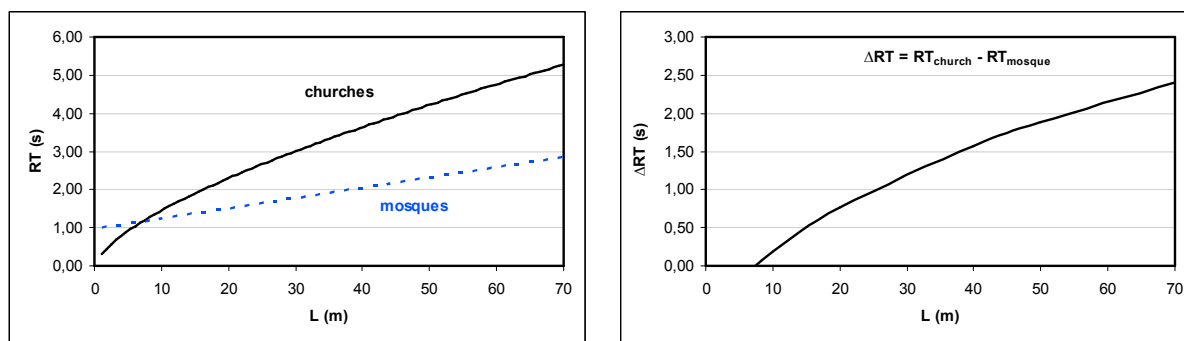


Fig. 5.4 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com o Comprimento Máximo, L, nas mesquitas e igrejas Católicas

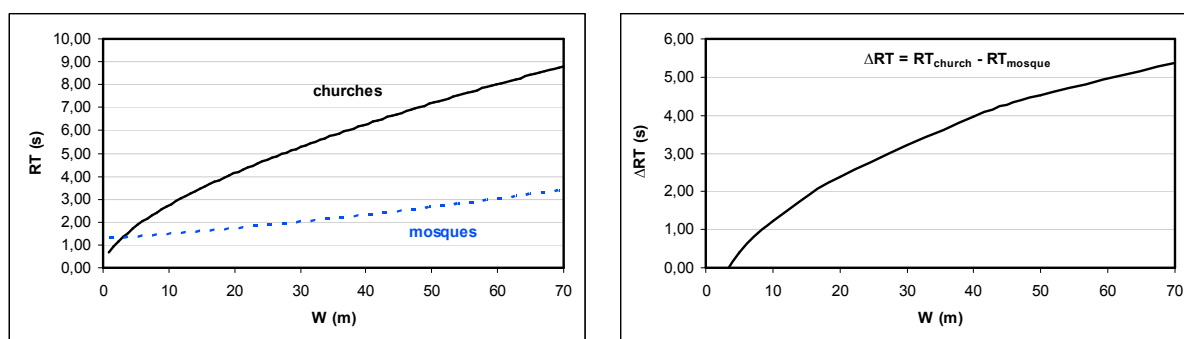


Fig. 5.5 – Diferença entre comportamento do Tempo de Reverberação, RT, com a Largura Média, W, nas mesquitas e igrejas Católicas

Dos gráficos anteriores pode-se concluir que o tempo de reverberação tende a crescer com o aumento das dimensões dos parâmetros arquitectónicos, sendo esse crescimento mais acentuado nas igrejas Católicas que nas mesquitas. De facto, à excepção do que acontece com a altura máxima, todas as outras características geométricas apresentam uma diferença entre tempos de reverberação (ΔRT) crescente. No caso da altura (H) verifica-se que o tempo de reverberação é maior em igrejas pequenas do que em mesquitas da mesma dimensão, embora esta situação tenda a inverter-se até alturas intermédias mas volte a verificar-se para edifícios de grande altura.

De facto as igrejas Católicas têm objectivos acústicos diferentes das mesquitas. Em ambos os espaços o discurso está presente, embora nas igrejas também a música tem que ser tida em conta. Para além dos coros de igreja, há ainda a presença habitual do órgão e eventualmente de outros instrumentos, o que torna a concepção acústica duma igreja num forte desafio em encontrar um equilíbrio entre a percepção do discurso e da música. O melhor tempo de reverberação para um espaço no qual a música é tocada depende do tipo de música. Música lenta, solene, melódica, assim como a de alguns órgãos, é melhor servida por longos tempos de reverberação. Ritmos rápidos requerem tempos de reverberação mais curtos. Não existe um único valor óptimo que se encaixe universalmente em todos os tipos de música. O melhor que se pode fazer é estabelecer uma gama de valores baseada em acordos subjectivos entre especialistas.

Espaços vocacionados apenas para o discurso requerem tempos de reverberação mais curtos que outros direccionados para a música, devido à importância do som directo. Regra geral, tempos de reverberação mais longos tendem à falta de clareza e perda de inteligibilidade do discurso. Em espaços “mortos”, onde o tempo de reverberação é muito curto, a sonoridade e o equilíbrio de tom podem ser afectados. Não é possível especificar com precisão tempos de reverberação óptimos para serviços diferentes, embora haja valores recomendáveis dados por vários peritos neste campo, que nem sempre concordam entre eles.

5.3. CLARIDADE (C_{50} E C_{80})

O parâmetro acústico Claridade foi avaliado para ambos os locais, embora a comparação directa entre os resultados não possa ser feita, uma vez que para as igrejas se mediu o C_{80} (relacionado com a percepção musical) e nas mesquitas mediu-se o C_{50} (utilizado para caracterizar a compreensibilidade do discurso).

A única comparação que poderá ser estabelecida neste caso é quanto à evolução dos parâmetros acústicos com os arquitectónicos, ou seja, perceber se no caso das igrejas a claridade musical se perde mais depressa com o aumento das dimensões geométricas do que a claridade do discurso nas mesquitas com o mesmo aumento de tamanhos.

Para tal procedeu-se da mesma maneira que para o tempo de reverberação, colocando-se no mesmo gráfico duas curvas correspondentes cada uma delas a um dos locais de culto em estudo e repetindo o procedimento para cada um dos parâmetros arquitectónicos.

Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 5.6 a 5.10, sendo de chamar a atenção o facto da diferença de claridade (ΔC) não ser representada uma vez que não tem grande significado a diferença entre os parâmetros C_{80} e C_{50} .

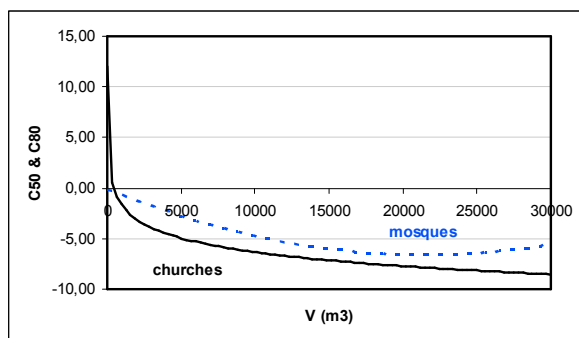


Fig. 5.6 – Diferença entre o comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com o Volume Total, V , nas mesquitas e igrejas Católicas

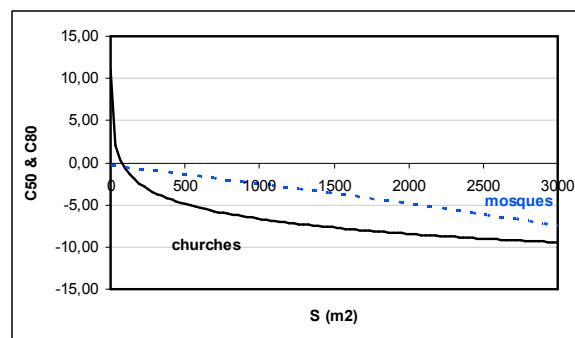


Fig. 5.7 – Diferença entre o comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Área Total, S , nas mesquitas e igrejas Católicas

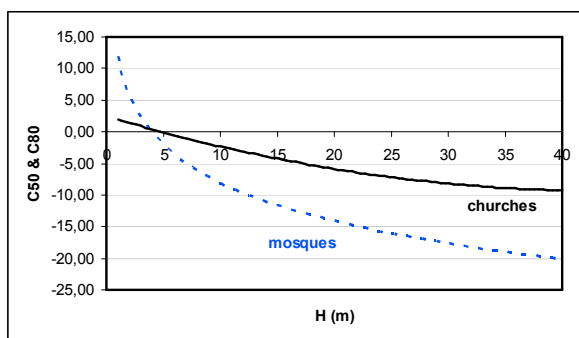


Fig. 5.8 – Diferença entre o comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Altura Máxima, H , nas mesquitas e igrejas Católicas

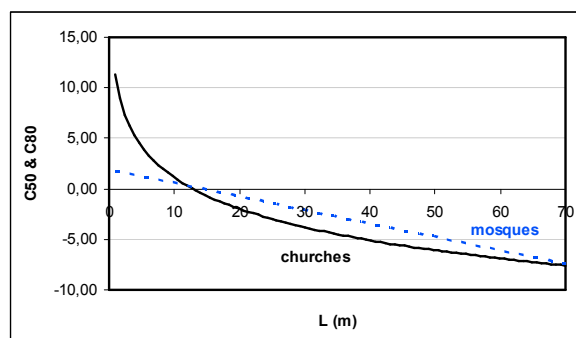


Fig. 5.9 – Diferença entre o comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com o Comprimento Máximo, L , nas mesquitas e igrejas Católicas

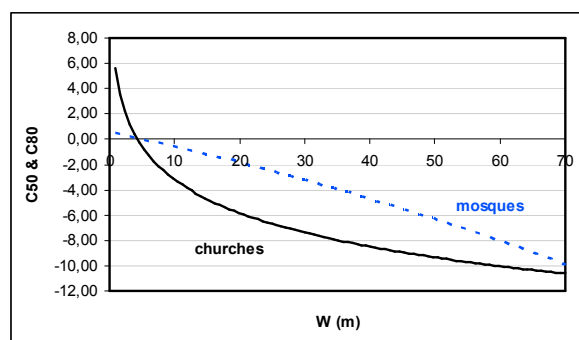


Fig. 5.10 – Diferença entre o comportamento da Claridade, C_{50} e C_{80} , com a Largura Média, W , nas mesquitas e igrejas Católicas

Tanto no caso das igrejas Católicas como no caso das mesquitas, observa-se uma diminuição da Claridade com o aumento de qualquer um dos parâmetros arquitectónicos.

É possível observar que apenas para a altura máxima, a Claridade (C_{50}) do discurso nas mesquitas decresce mais rapidamente que a Claridade (C_{80}) da música nas igrejas. Para todos os restantes parâmetros arquitectónicos observa-se a situação contrária.

Através do desenvolvimento e proximidade das curvas, constata-se ainda o facto da Claridade variar de forma bastante idêntica, em ambos os locais em estudo, com o aumento do volume total e do comprimento máximo.

As Figuras 5.6 a 5.10 permitem verificar que para igrejas de muito pequenas dimensões (até 1000 m^3 e com os restantes parâmetros arquitectónicos de baixo valor) a música é percebida com boa clareza (apresentando valores positivos para este parâmetro acústico). No entanto esta situação tende a inverter-se para uma situação em que o som da música denota pouca nitidez e “empastelado”. A partir dos 1000 m^3 a Claridade (C_{80}) tende para valores negativos e de forma brusca com um pequeno aumento do volume das igrejas. Para valores mais elevados, a Claridade mantém-se negativa mas tende quase sempre para um valor constante. Quanto à situação observada nas mesquitas, verifica-se que a Claridade do discurso (C_{50}) varia também de forma semelhante.

5.4. RASTI / STI

Como já referido anteriormente, nas igrejas Católicas mediu-se este índice com recurso a um método mais rápido e simples: o RASTI.

Os valores obtidos foram relacionados com os cinco parâmetros arquitectónicos em estudo, através de regressões lineares (uma vez que as regressões de outra natureza não se consideravam representativas da realidade) e foram extraídos os coeficientes de correlação linear de Pearson, com a finalidade de encontrar a melhor interdependência entre esses parâmetros e o RASTI/STI.

No caso das igrejas verifica-se que há uma característica geométrica que se salienta pelo facto de apresentar um valor para este coeficiente bastante mais alto que as restantes (com o SRS desligado). Trata-se da altura máxima, com um valor de $R \approx 0,38$. Já com o SRS ligado, a largura média é o parâmetro que melhor relação de dependência apresenta, tendo o mesmo coeficiente um valor de 0,29.

Quanto às mesquitas a situação foi semelhante, pelo menos relativamente à característica arquitectónica que melhor correlação apresentou com o STI com o SRS desligado. Neste caso obteve-se para a altura máxima um coeficiente de Pearson $R \approx 0,25$. Com o sistema de reforço acústico ligado, a característica geométrica com melhor correlação com o STI foi o volume total ($R \approx 0,3$).

Interessa fazer uma análise comparativa com o RASTI/STI. Este índice permite fazer uma conversão dos valores obtidos numa escala de inteligibilidade da palavra, o que é importante dar a conhecer a diferença entre os resultados obtidos para os dois locais de culto. No Quadro 5.1 é apresentado um resumo desses resultados.

Quadro 5.1 – Quadro estatístico relativo à inteligibilidade da palavra nas igrejas e mesquitas (SRS desligado)

STI / RASTI	CLASSIFICAÇÃO	Nº de igrejas	Nº de mesquitas
0,00 – 0,30	Má	3 (10%)	---
0,30 – 0,45	Medíocre	17 (55%)	9 (43%)
0,45 – 0,60	Suficiente	11 (35%)	12 (57%)
0,60 – 0,75	Boa	---	---
0,75 – 1,00	Excelente	---	---

Verifica-se que enquanto as igrejas Católicas apresentam uma fatia correspondente a 10% da amostra com uma “má” inteligibilidade, nenhuma das vinte e uma mesquitas estudadas apresenta a mesma classificação. As igrejas apresentam na sua maioria uma inteligibilidade “medíocre” ($STI_{\text{médio}} \approx 0,42$) enquanto que cerca de 57% das mesquitas são classificadas como suficientes ($STI_{\text{médio}} \approx 0,45$).

Procedeu-se à representação gráfica conjunta das rectas de regressão lineares do RASTI das igrejas e do STI das mesquitas (Figuras 5.11 a 5.15). Embora, como já visto anteriormente, as correlações para este parâmetro acústico não sejam muito fortes, esta análise permite ter uma ideia da diferença entre a evolução da inteligibilidade da palavra nos dois locais. Note-se que a nomenclatura $\Delta RASTI/STI$ refere-se à diferença $STI_{\text{mesquitas}} - RASTI_{\text{igrejas}}$.

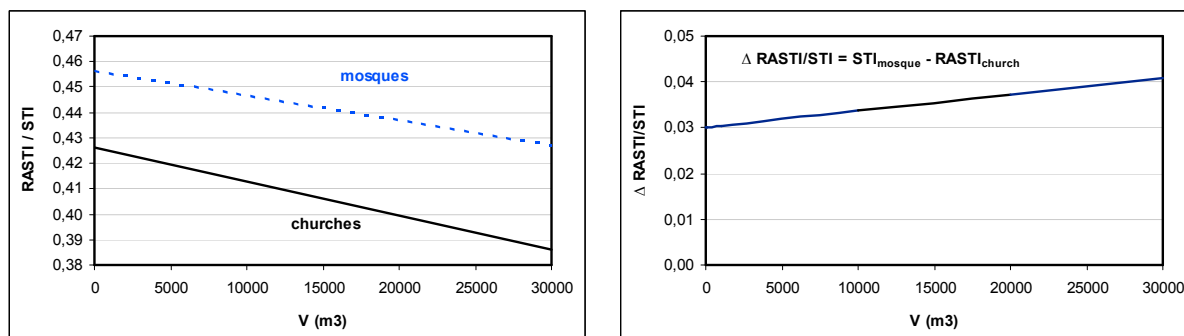


Fig. 5.11 – Diferença entre o comportamento do STI/RASTI com o Volume Total, V, nas mesquitas e igrejas Católicas

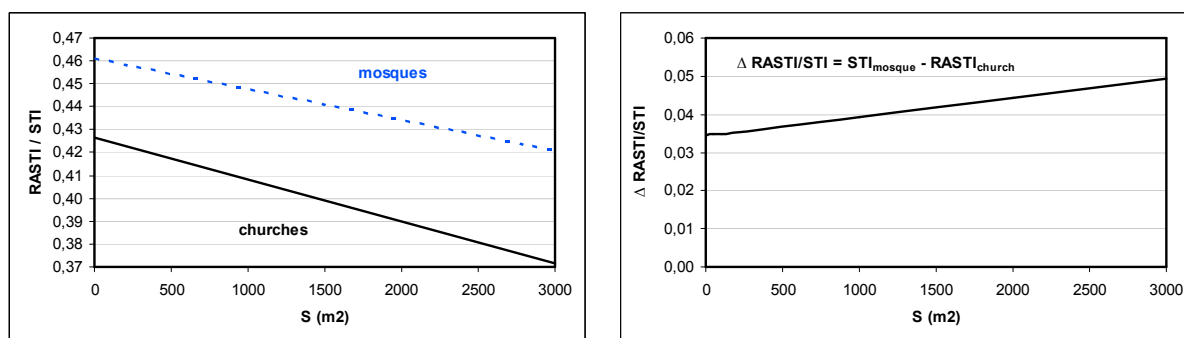


Fig. 5.12 – Diferença entre o comportamento do STI/RASTI com a Área Total, S, nas mesquitas e igrejas Católicas

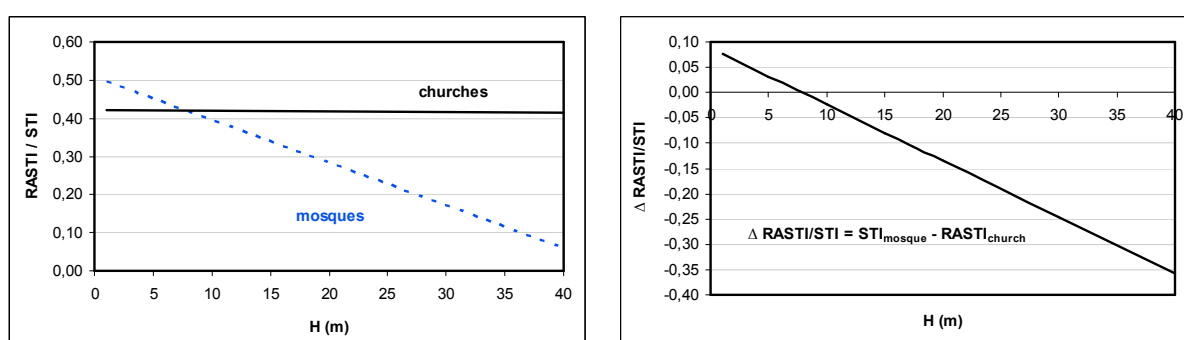


Fig. 5.13 – Diferença entre o comportamento do STI/RASTI com a Altura Máxima, H, nas mesquitas e igrejas Católicas

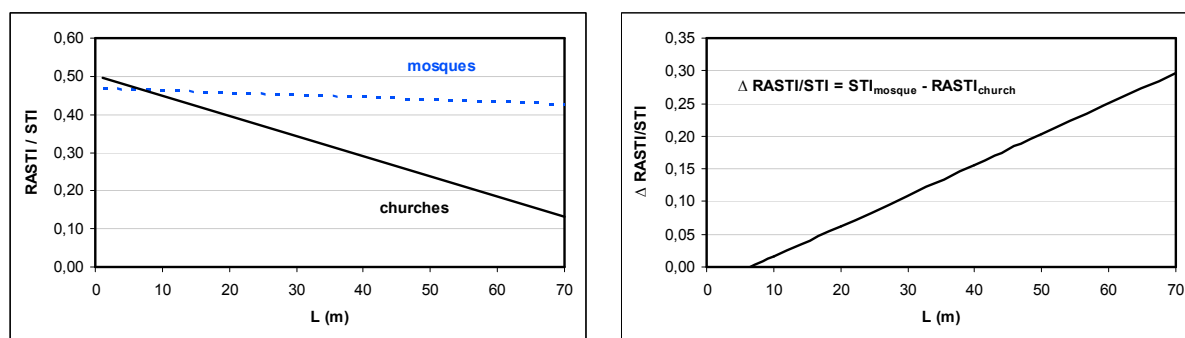


Fig. 5.14 – Diferença entre o comportamento do STI/RASTI com o Comprimento Máximo, L, nas mesquitas e igrejas Católicas

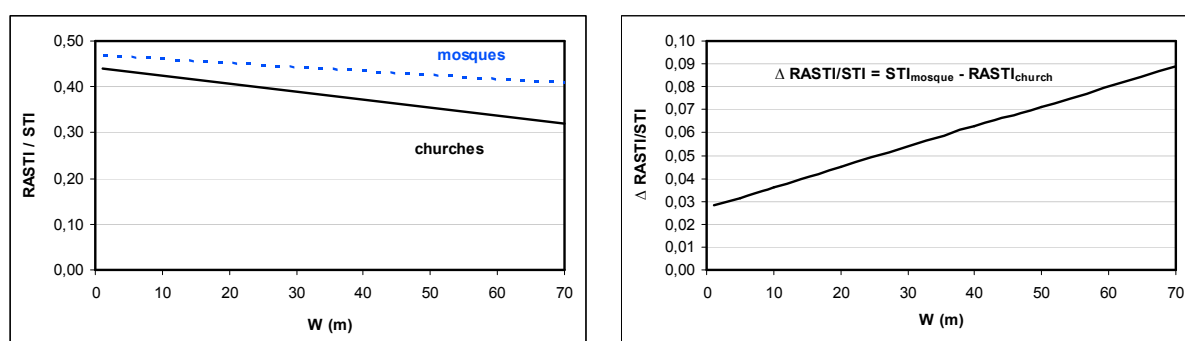


Fig. 5.15 – Diferença entre o comportamento do STI/RASTI com a Largura Média, W, nas mesquitas e igrejas Católicas

Os gráficos anteriores permitem verificar que, regra geral, as mesquitas apresentam uma melhor inteligibilidade da palavra do que as igrejas Católicas. Esta situação apenas não se verifica com o aumento da altura máxima dos edifícios, onde a inteligibilidade nas igrejas se torna melhor do que nas mesquitas.

Constata-se também que a diferença entre o RASTI/STI nos dois locais tende quase sempre a dilatar-se com o aumento da dimensão de cada uma das características geométricas.

A observação da Fig. 5.14 permite ainda concluir que a largura média é o parâmetro arquitectónico que se relaciona de forma mais idêntica com o RASTI/STI das igrejas Católicas e das mesquitas.

Note-se que estes valores foram obtidos para medições feitas em ambos os locais com os equipamentos de instalação sonora (SRS) desligados.

No entanto, os autores das medições procederam de forma idêntica em ambos os locais, tendo obtido resultados do RASTI/STI com esses equipamentos desligados e também ligados.

Os valores obtidos com as instalações sonoras ligadas foram um pouco diferentes, e o Quadro 5.2 revela os valores estatísticos desses resultados.

Quadro 5.2 – Quadro estatístico relativo à inteligibilidade da palavra nas igrejas e mesquitas (SRS ligado)

STI / RASTI	CLASSIFICAÇÃO	Nº de igrejas	Nº de mesquitas
0,00 – 0,30	Má	1 (3,5%)	---
0,30 – 0,45	Medíocre	15 (48%)	4 (20%)
0,45 – 0,60	Suficiente	14 (45%)	16 (80%)
0,60 – 0,75	Boa	1 (3,5%)	---
0,75 – 1,00	Excelente	---	---

Verifica-se que com os dispositivos de reforço acústico ligados, há uma melhoria geral nos resultados da inteligibilidade da palavra. Note-se que agora apenas uma igreja apresenta uma “má” inteligibilidade, enquanto anteriormente haviam três com essa classificação. Nas mesquitas a melhoria é mais acentuada, sendo necessário salientar que apenas se contabilizam vinte mesquitas nestas medições uma vez que uma delas não possuía instalação sonora disponível.

Estas melhorias por vezes forçam uma tendência para o desleixo na fase de execução do projecto de arquitectura, situação que se deve contrariar. No entanto, apesar das melhorias que o SRS traz à acústica dos locais de culto, os Quadros 5.1 e 5.2 mostram, por outro lado, que estes dispositivos não são sempre solução para os problemas acústicos dos locais de culto.

É possível ver no Quadro 5.1 que 65% da amostra de igrejas Católicas apresenta uma inteligibilidade da palavra “medíocre” ou “má” com os dispositivos de reforço acústico desligados. Com a activação do SRS permanecem ainda aproximadamente 52% das igrejas com uma inteligibilidade “medíocre” ou “má”. Há de facto uma melhoria na percepção da palavra, embora não se possa considerar que o SRS soluciona o problema da acústica de igrejas. Como já foi possível analisar no Capítulo 4, o valor médio do RASTI nas igrejas aumenta ligeiramente de 0,42 para 0,44 com a activação deste equipamento.

Já no caso das mesquitas, o resultado é diferente. De facto, com o equipamento de reforço acústico desligado obteve-se um valor médio do STI de 0,45 enquanto que após o accionamento do SRS, foi obtido um STI médio de 0,49. Mas o impacto deste equipamento nas mesquitas é mais facilmente perceptível se se constatar que numa fase inicial (SRS desligado) 43% das mesquitas apresentavam uma inteligibilidade “medíocre” e após a activação do SRS esse valor desceu para 20%.

Estes resultados permitem concluir que as instalações electro-acústicas têm resultados diversos na acústica dos locais de culto. Regra geral podem ser utilizados para uma melhoria pequena no resultado final, mas não constituem a solução no desempenho acústico dos edifícios. Estas conclusões reforçam a ideia de que um bom desenho de arquitectura e um projecto acústico devidamente elaborado numa fase de concepção, são os elementos fundamentais para o bom desempenho acústico das igrejas e mesquitas.

6

PISTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As condições acústicas dependem em grande parte da geometria e arquitectura dos edifícios, tal como se mostrou neste estudo. A existência e diversidade de igrejas Católicas e mesquitas no mundo é enorme, o que torna impossível fazer um modelo de correlação entre parâmetros acústicos e arquitectónicos que tenha cem por cento de eficácia. Daí advém a importância de se recolherem amostras cuidadas para se obterem bons resultados em estudos deste tipo. Não se devem procurar edifícios semelhantes, mas sim com grande abrangência de dimensões geométricas, épocas construtivas, estilos, usos e localizações.

Considera-se que o presente trabalho teve amostras representativas das igrejas e mesquitas em geral, no entanto seria bastante útil conseguir alargar um pouco esta amostra e de preferência usando edifícios existentes em países e continentes diferentes.

Além destes aspectos sugere-se que sejam feitos mais estudos acerca do desempenho acústico das mesquitas, recorrendo agora a parâmetros acústicos subjectivos. Apesar de ser possível que já se tenham efectuado estudos deste tipo, a sua existência bibliográfica é escassa e a acessibilidade aos valores obtidos nas medições ainda mais difícil de ser obtida.

Um estudo posterior ao acima descrito poderia ainda ser feito, conjugando parâmetros acústicos objectivos e subjectivos de mesquitas, na tentativa de encontrar correlações o mais perfeitas possíveis, como já foi feito no caso das igrejas Católicas.

Por fim, tendo todos estes parâmetros medidos e à disposição, convenientemente tratados, poderiam ser feitas novas medições agora para igrejas e mesquitas com ocupação e desocupadas. Note-se que a influência de pessoas no interior dos espaços é bastante acentuada no que toca aos resultados acústicos obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelazeez, Mohamed K., Hammad, Riziq. N., Mustafa, Ahmed A. *Acoustics of King Abdullah Mosque*. The Journal of the Acoustical Society of America, Setembro de 1991, Vol. 90 (Nº 3), pág. 1441 a 1445.
- Abdou, Adel A. *Measurement of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia*. The Journal of the Acoustical Society of America, Março de 2003, Vol. 113 (Nº 3), pág. 1505 a 1517.
- Abdou, Adel A. *Comparision of the Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies*. Eighth International IBPSA Conference, 11 a 14 de Agosto de 2003, Eindhoven, Holanda.
- Akkach, Samer. *Cosmology and Architecture in Premodern Islam: an Architectural Reading of Mystical Ideas*. State University of New York Press, Albany, 2005.
- Almeida, M., Silva, S., Ferreira, T. *Sebenta de Acústica Ambiental e de Edifícios (Física das Construções)*. Universidade do Minho, Braga, 2006.
- Beranek, Leo L. *Acoustics*. Acoustical Society of America, Nova York, 1996.
- Cavanaugh, William J., Wilkes, Joseph A. *Architectural Acoustics: Principles and Practice*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- Carvalho, A. P. Oliveira. *Influence of Architectural Features and Styles on Various Acoustical Measures in Churches*. Dissertação de Doutoramento, University of Florida, 1994.
- Carvalho, A. P. Oliveira. *Relations Between RASTI and other Acoustical Measures in Portuguese Churches*. Inter Noise '94, 29 a 31 de Agosto de 1994, Yokohama, Japão.
- Carvalho, A. P. Oliveira e Lencastre, Margarida. *How does RASTI Change with Sound Reinforcement Systems in Churches?*. Sixth International Congress on Sound and Vibration, 5 a 8 de Julho de 1999, Copenhaga, Dinamarca.
- Carvalho, A. P. Oliveira. *The Significance of the Church Occupancy in the RASTI values in a Catholic Church*. 5e Congrès Français d'Acoustique (CFA), 3 a 6 de Setembro de 2000, Lausanne, Suíça.
- Carvalho, A. P. Oliveira. *Sebenta de Acústica Ambiental e de Edifícios*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- Carvalho, Anabela P. de Babo. *Caracterização Acústica de Claustros Religiosos Históricos*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2005.
- CEI IEC 268-16, Rapport de la Comission Electrotechnique Internationale «*Equipements pour systèmes électroacoustiques - Seizième partie: Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole dans les salles de conférence par la méthode "RASTI"*», 1988.
- Desarnaulds, Victor. *De l'Acoustique des Eglises en Suisse – une Approche Pluridisciplinaire*. Dissertação de Doutoramento, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2002.
- Everest, F. Alton. *The Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill, Estados Unidos da América, 2001.
- Fausti, P., Pompoli, R., Prodi, N. *Comparing the Acoustics of Mosques and Byzantine Churches*. Università di Ferrara, Itália, 2003.

- Fearn, W. F. *Reverberation in Spanish, English, and French Churches*. 1975.
- Hammad, Rizi N. S. *RASTI Measurements in Mosques in Amman, Jordan*, Applied Acoustics 30, 1990.
- Imam, Sheikh Muhammad Najmul. *Speech Intelligibility in the Community Mosques of Dhaka City*. The Journal of the Acoustical Society of America, Novembro de 2002, Vol. 112 (Nº 5), Parte 2.
- Karabiber, Zerhan. *Acoustical Problems in Mosques*. ASA/EAA/DAGA '99 Meeting, 16 de Março de 1999, Berlin, Alemanha, Publicado em Istambul, Turquia, Yildiz Technical University.
- Khaiyat, Sami A. *Mosque Acoustics: an Overview of Current Design Practice in Saudi Arabia*. Third ASA/ASJ Joint Meeting, 4 de Dezembro de 1996, Honolulu, Hawaii, Publicado em Dhahran, Arábia Saudita, King Fahd University of Petroleum & Minerals.
- Lencastre, Margarida Maria Mendes de Freitas de Queirós e. *A Inteligibilidade da Palavra em Igrejas Católicas, Através de Análises de Carácter Objectivo e Subjectivo*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 1988.
- Jacobsen, F., Poulsen, T., Rindel, Jens H., Gade, Anders C., Ohlrich, Mogens. *Fundamentals of Acoustics and Noise Control*. Technical University of Denmark, Lyngby, 2007.
- Martellotta, Francesco. *Caratteristiche Acustiche delle Chiese Romaniche in Puglia*. Dissertação de Doutoramento, Università degli Studi di Ancona, 2001, Itália.
- Monteiro, Carlos Aquino. *Caracterização Acústica de Salas de Audiência de Tribunais*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2003.
- Morgado, António Eduardo Jorge. *Estudo Acústico de Igrejas Portuguesas Através de Parâmetros Subjectivos*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 1996.
- Orfali, Wasim Asaad. *Room Acoustic and Modern Electro-Acoustic Sound System Design during Constructing and Reconstructing Mosques*. Dissertação de Doutoramento, Technische Universität Berlin, 2007.
- Orfali, Wasim Asaad. *Sound Parameters in Mosques*. 153rd Meeting of the Acoustical Society of America, 8 de Junho de 2007, Nova Iorque.
- Parkin, P. H. e Taylor, J. H. *Speech Reinforcement in St. Paul's Cathedral – Experimental System Using Line-source Loudspeakers and Time Delays*, Wireless World, Fevereiro 1952.
- Prodi, N., Marsilio, M., Pompoli, R. *On the Effect of Floor Inside Mosques*. Proceedings of the Conference ICA2001, 2001, Roma, Itália.
- Prodi N., Marsilio M., Pompoli R.. *On the Prediction of Reverberation Time and Strength in Mosques*. Proceedings of the 17th ICA, 2001, Roma, Itália.
- Santos, A. Ribeiro dos. *Introdução à Acústica das Construções*. In *Sebenta de Física das Construções*, Cap. 6, FEUP, Porto, 2005.
- Shankland, R. S. e Shankland, H. K. *Acoustics of St. Peter's and Patriarchal Basilicas in Rome*. The Journal of the Acoustical Society of America, Abril 1971, Vol. 50 (Nº 2), Parte 1.
- Topaktaş, Levent. *Acoustical Properties of Classical Ottoman Mosques: Simulation and Measurements*. Dissertação de Doutoramento, Middle East Technical University, 2003.
- Tzekakis, E. G. *Reverberation Time of the Rotunda of Thessaloniki*. The Journal of the Acoustical Society of America, Maio 1975, Vol. 57 (Nº 5).

Utami, Sentagi S.. *An Acoustical Analysis of Domes Coupled to Rooms, with Special Application to the Darussholah Mosque, in East Java, Indonesia*. Dissertação de Mestrado, Brigham Young University, 2005.

- Sítio [1]: <http://www.ukgraves.info>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [2]: <http://chestofbooks.com>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [3]: <http://www.santagnese.org>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [4]: <http://www2.e-yliko.gr>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [5]: <http://www.skyscrapercity.com>. Acedido em 25.06.2008
- Sítio [6]: <http://mudarfelgueiras.blogspot.com>. Acedido em 20.04.2008
- Sítio [7]: <http://www.wikipedia.org>. Acedido em 02.04.2008
- Sítio [8]: <http://www.pbase.com>. Acedido em 03.04.2008
- Sítio [9]: <http://gatofedorento-corunha.blogspot.com>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [10]: <http://www.portugal-ferien.net>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [11]: <http://www.dl.ket.org>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [12]: <http://www.planetware.com>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [13]: <http://www.portugalmaispositivo.com>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [14]: <http://www.bluffton.edu>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [15]: <http://www.structurae.de>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [16]: <http://tjvd.blogs.sapo.pt>. Acedido em 05.04.2008
- Sítio [17]: <http://amen.no.sapo.pt>. Acedido em 06.06.2008
- Sítio [18]: <http://www.chamberchorus.org>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [19]: <http://www.docomomo-fi.com>. Acedido em 17.04.2008
- Sítio [20]: <http://www.muslimheritage.com>. Acedido em 08.04.2008
- Sítio [21]: <http://bestwayoflife.blogspot.com>. Acedido em 08.04.2008
- Sítio [22]: <http://www.flickr.com>. Acedido em 08.04.2008
- Sítio [23]: <http://www.sacred-destinations.com>. Acedido em 08.04.2008
- Sítio [24]: <http://www.niccolomaffeo.es>. Acedido em 08.04.2008
- Sítio [25]: <http://www.touregypt.net>. Acedido em 09.04.2008
- Sítio [26]: <http://picasaweb.google.com/TheFlingFlong>. Acedido em 06.06.2008
- Sítio [27]: <http://ed-t.blogspot.com>. Acedido em 06.06.2008
- Sítio [28]: <http://www.bksv.com>. Acedido em 14.04.2008
- Sítio [29]: <http://www.clarisonus.com>. Acedido em 04.05.2008

