



**UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DE CAMPINAS**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo

**Igrejas setecentistas mineiras: a influência das  
características arquitetônicas na qualidade acústica**

**Marcelo Carvalho Bottazzini**

**Campinas, 2007**

**Igrejas setecentistas mineiras: a influência das  
características arquitetônicas na qualidade acústica**

**Universidade Estadual de Campinas**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**Igrejas setecentistas mineiras: a influência das  
características arquitetônicas na qualidade acústica**

**Marcelo Carvalho Bottazzini**

**Orientado por: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Stelamaris Rolla Bertoli**

*Tese de Doutorado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.*

**Campinas, 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B659i Bottazzini, Marcelo Carvalho  
Igrejas setecentistas mineiras: a influência das  
características arquitetônicas na qualidade acústica. /  
Marcelo Carvalho Bottazzini. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Acústica Arquitetônica. 2. Arquitetura Barroca. 3.  
Acústica. I. Bertoli, Stelamaris Rolla. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: The influence of architectural characteristics on acoustic  
quality of churches of Minas Gerais State built in the 1700's.

Palavras-chave em Inglês: churches acoustic, intelligibility, baroque churches,  
reverberation

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina, Leandro Silva  
Medrano, Paulo Medeiros Massarani e Sylvio Reynaldo  
Bistafa

Data da defesa: 25/05/2007.

Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**Igrejas setecentistas mineiras: a influência das características  
arquitetônicas na qualidade acústica**

Marcelo Carvalho Bottazzini

Defesa de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Stelamaris Rolla Bertoli  
Presidente e Orientadora / FEC – UNICAMP

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina  
FEC – UNICAMP

Prof<sup>o</sup> Dr Leandro Silva Medrano  
FEC – UNICAMP

Prof<sup>o</sup> Dr Paulo Medeiros Massarani  
INMETRO-RJ

Prof<sup>o</sup> Dr Sylvio Reynaldo Bistafa  
POLI-USP

**Campinas, 25 de maio de 2007.**

## **Dedicatória**

À minha querida esposa **Marinês**,  
pelo seu amor, paciência e incentivo nos momentos de desânimo,

Aos meus filhos **Bruno e Mariana**,  
pela compreensão devido as minhas ausências,

Aos meus pais **Ezio e Juversina** (*in memorian*),  
por terem sempre acreditado em mim.

*Agradeço ao*  
**GRANDE ARQUITETO DO UNIVERSO,**  
*Por ter sido sempre a luz do meu caminho.*

## Agradecimentos

À Universidade Estadual de Campinas,  
À Professora Dr<sup>a</sup> Stelamaris Rolla Bertoli,  
pela maneira cordial, simpática e respeitosa como se conduziu  
na tarefa de orientadora, sobretudo pela preocupação e  
critério com a elaboração deste trabalho,  
À todos os Professores da Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Ao Dr. Eng<sup>o</sup> Márcio Henrique de Avelar Gomes,  
por contribuir na superação de vários obstáculos surgidos durante a pesquisa,  
Ao Obadias Pereira Silva Jr,  
pela colaboração na realização de grande parte das medições,  
Aos administradores das igrejas pesquisadas,  
por permitirem a realização das medições acústicas,  
Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN),  
pela disponibilização de documentação e  
parte dos projetos arquitetônicos das igrejas barrocas,  
finalmente, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram  
para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Lista de Figuras.....	xi
	Lista de Quadros.....	xviii
	Lista de Tabelas.....	xix
	Resumo.....	xx
	Abstract.....	xxi
Capítulo 1.	Introdução.....	1
1.1	Apresentação.....	2
1.2	Objetivos.....	5
1.2.1	Objetivo Geral.....	5
1.2.2	Objetivos Específicos.....	5
1.3	Justificativa.....	6
1.4	Estrutura do Trabalho.....	7
Capítulo 2.	Fundamentos Teóricos.....	9
2.1	Considerações Gerais.....	10
2.2	Sabine e o Tempo de Reverberação.....	11
2.3	Os Parâmetros Acústicos Objetivos e Subjetivos.....	20
2.4	Índices Objetivos de Qualidade Sonora.....	21
2.4.1	Intervalo de Tempo de Atraso Inicial (Initial Time Delay Gap).....	23
2.4.2	Tempo de Reverberação TR (Reverberation Time).....	24
2.4.3	Tempo de Decaimento Inicial EDT (Early Decay Time).....	25
2.4.4	Definição D50 (Definition).....	26
2.4.5	Clareza C80 (Objective Clarity).....	26
2.4.6	Índice de Transmissão da Fala STI (Speech Transmission Index) e Índice de Transmissão da Fala Rápido RASTI (Rapid Speech Transmission Index).....	27
2.5	Atributos Subjetivos de Qualidade Sonora.....	30
2.5.1	Vivacidade (liveness).....	32
2.5.2	Audibilidade (Strenght factor G ou Loudness).....	33
2.5.3	Clareza (Clarity).....	33

2.5.4	Calor (Warmth).....	33
2.5.5	Intimismo (Intimacy).....	34
2.5.6	Envolvimento (Envelopment ou Spatial Impression).....	34
2.5.7	Brilho (Brilliance).....	34
2.5.8	Timbre.....	35
Capítulo 3.	As Igrejas Setecentistas de Minas Gerais.....	37
3.1	Considerações Gerais.....	38
3.2	As Igrejas Seleccionadas.....	47
3.2.1	Catedral de Mariana.....	48
3.2.2	Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.....	52
3.2.3	Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias.....	58
3.2.4	Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.....	64
3.2.5	Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.....	69
3.2.6	Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.....	75
3.2.7	Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.....	81
3.2.8	Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.....	88
3.2.9	Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.....	94
Capítulo 4.	Materiais e Métodos.....	101
4.1	Apresentação.....	102
4.2	Os Equipamentos Utilizados.....	103
4.2.1	A Fonte Sonora.....	104
4.2.2	O Microfone.....	106
4.2.3	O Amplificador de Potência.....	106
4.2.4	O Microcomputador Portátil.....	106
4.3	Método de Medição Acústica.....	108
4.3.1	Técnica de Correlação “Maximum Length Sequences” (MLS).....	116
4.3.2	Técnica de Deconvolução (Varredura de Senos).....	118
4.4	O Programa de Computador (Software) Utilizado.....	120
4.4.1	Métodos de Medida.....	121
4.4.2	Parâmetros Acústicos.....	122
4.5	Procedimento para Avaliação Acústica das Igrejas.....	123

Capítulo 5. Resultados e Análises.....	125
5.1 Introdução.....	126
5.2 Parâmetro Acústico Clareza (C80).....	129
5.3 Parâmetro Acústico “Tempo de Decaimento Inicial” (EDT).....	137
5.4 Parâmetro acústico “Tempo de Reverberação” (TR).....	146
5.5 Parâmetro acústico “Definição” (D50).....	156
5.6 Índice de transmissão da fala (STI).....	165
Capítulo 6. Conclusões.....	173
6.1 Considerações.....	174
6.2 Clareza (C80).....	174
6.3 Tempo de Decaimento Inicial (EDT).....	175
6.4 Tempo de Reverberação (TR).....	176
6.5 Definição (D50).....	177
6.6 Índice de Transmissão da Fala (STI).....	177
6.7 Considerações Finais.....	178
Referências.....	181
Glossário.....	189
Apêndice – A: Gráficos da Relação Impulso Ruído das igrejas setecentistas de Minas Gerais Avaliadas.....	193
Apêndice – B: Resultados numéricos dos parâmetros acústicos obtidos das medições nas igrejas setecentistas de Minas Gerais.....	198
Anexo – A: Planta baixa e corte longitudinal das igrejas setecentistas de Minas Gerais.....	207
Anexo – B: Especificações técnicas da placa de digitalização de som.....	216
Anexo – C: Eficiência Lateral LE (Lateral Efficiency).....	217
Anexo – D: Fração Lateral LF (Lateral Fraction).....	218
Anexo – E: Tempo Central TS (Center Time).....	219
Anexo – F: Suporte G (Strenght).....	220
Anexo – G: Correlação Cruzada Inter-Aural IACC (Inter-aural Cross Correlation).....	221

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1	Tempo de reverberação. Fonte: Adaptado de Johnson; Metha; Rocafort (1999).....	12
Figura 2.4.1	Exemplo de registro da resposta impulsiva. Fonte: Adaptado de Farina, (1993).....	23
Figura 2.4.2	Diagrama de decaimento sonoro. Fonte: BERANEK, 1996.....	24
Figura 2.4.3	Modulação da energia envolvida na entrada e na saída. Fonte: TRONCHIN; FARINA, 2000.....	28
Figura 3.1.1	Primeira da edificação da igreja.....	41
Figura 3.1.2	Segunda fase da edificação da igreja.....	42
Figura 3.1.3	Terceira fase da edificação da igreja.....	43
Figura 3.1.4	Quarta e última fase da edificação da igreja.....	44
Figura 3.2.1	Parte do Mapa de Minas Gerais mostrando a localização das quatro cidades históricas. Adaptado de DER-MG, (2006).	47
Figura 3.2.2	Fachada da Catedral de Mariana.....	49
Figura 3.2.3	Planta baixa da Catedral de Mariana. Fonte: adaptado de Santos (1951).....	50
Figura 3.2.4	Teto da Capela-mor da Catedral de Mariana.....	51
Figura 3.2.5	Fachada da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.....	54
Figura 3.2.6	Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio (1952).....	55
Figura 3.2.7	Interior da capela-mor da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei.....	56
Figura 3.2.8	Teto da nave da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei.....	57
Figura 3.2.9	Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias, Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Sampaio (1948)...	60
Figura 3.2.10	Fachada da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.....	61

Figura 3.2.11	Interior da Capela-mor da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.....	63
Figura 3.2.12	Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, Ouro Preto. Fonte: Adaptado de SANTOS, 1951.....	66
Figura 3.2.13	Fachada da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.....	67
Figura 3.2.14	Capela-mor da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.	68
Figura 3.2.15	Planta baixa da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte: Adaptado de: Sampaio (1995).....	71
Figura 3.2.16	Fachada da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.....	72
Figura 3.2.17	Lateral da capela-mor da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.	73
Figura 3.2.18	Coro e lateral da nave da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.....	74
Figura 3.2.19	Fachada da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.....	77
Figura 3.2.20	Planta Baixa da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. FONTE: Adaptado de SANTOS, 1951.....	78
Figura 3.2.21	Teto da nave da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.....	80
Figura 3.2.22	Planta Baixa da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.Fonte: SANTOS, 1951.....	83
Figura 3.2.23	Fachada da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.....	84
Figura 3.2.24	Capela-mor da Capela de Nossa Senhora do Rosário.....	86
Figura 3.2.25	Púlpito da Capela de Nossa Senhora do Rosário.....	87
Figura 3.2.26	Planta Baixa da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de: Grillo (1988).....	90
Figura 3.2.27	Fachada da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.	92
Figura 3.2.28	Interior da capela-mor da Capela de São Francisco de Assis, Ouro Preto. Fonte: MOURÃO, 1986.....	93
Figura 3.2.29	Planta baixa da Capela de São Francisco de Assis, São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio (1950).....	96

Figura 3.2.30	Fachada da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei. Fonte: MOURÃO, 1986.....	97
Figura 3.2.31	Interior da capela -mor da Capela de São Francisco de Assis, São João Del Rei. Fonte: MOURÃO, 1986.....	98
Figura 4.2.1	Esquema de ligação entre os equipamentos.....	104
Figura 4.2.2	Diagrama de diretividade de um dodecaedro. Análise feita em 1/3 de oitava, em 100 H, 1 kHz e 10 kHz. Fonte: BERTOLI ; GOMES, 2005.....	105
Figura 4.3.1	Resposta impulsiva. Fonte: BERTOLI; GOMES, 2005.....	109
Figura 4.3.2	Resposta impulsiva experimental de um ambiente.....	110
Figura 4.3.3	Resposta impulsiva energia -tempo.....	112
Figura 4.3.4	Características de várias fontes impulsivas. Fonte: FARINA, 1986.....	113
Figura 4.3.5	Representação de um Sistema Linear e Invariante no Tempo.....	113
Figura 4.3.6	Representação temporal de um Ruído Branco. Fonte: MÜLLER; MASSARANI, 2001.....	116
Figura 4.3.7	Esquema da técnica de correlação “Maximum Length Sequences” (MLS) para obtenção da resposta impulsiva. Fonte: adaptado de MÜLLER; MASSARANI, 2001.....	117
Figura 4.3.8	Deconvolução linear para obtenção da resposta impulsiva por meio de varredura de senos. Fonte: adaptado de MÜLLER; MASSARANI, 2001.....	119
Figura 5.2.1	Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MNSP-SJDR.....	130
Figura 5.2.2	Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MNSP-OP.....	130
Figura 5.2.3	Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MSA-TI.....	131
Figura 5.2.4	Clareza (C80): 6 posições de medição, CNSC-OP.....	131
Figura 5.2.5	Clareza (C80): 6 posições de medição, CNSR-OP.....	132
Figura 5.2.6	Clareza (C80): 6 posições de medição, CSFA-SJDR.....	132
Figura 5.2.7	Clareza média das igrejas avaliadas.....	136
Figura 5.3.1	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 7 posições de medição, SÉ-MA.....	137

Figura 5.3.2	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSP-SJDR.....	138
Figura 5.3.3	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 8 posições de medição, MNSC-OP.....	138
Figura 5.3.4	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSP-OP.....	139
Figura 5.3.5	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MSA-TI.....	139
Figura 5.3.6	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSC-OP.....	140
Figura 5.3.7	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CNSR-OP.....	140
Figura 5.3.8	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CSFA-OP.....	141
Figura 5.3.9	Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CSFA-SJDR.....	141
Figura 5.3.10	EDT médio das igrejas em formato retangular.....	144
Figura 5.3.11	EDT médio das igrejas em forma de elipse.....	145
Figura 5.4.1	Tempo de Reverberação (TR) das 7 posições, SE-MA.....	147
Figura 5.4.2	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MNSP-SJDR.....	147
Figura 5.4.3	Tempo de Reverberação (TR) das 8 posições de medição, MNSC-OP.....	148
Figura 5.4.4	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MNSP-OP.....	148
Figura 5.4.5	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MSA-TI.....	149
Figura 5.4.6	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CNSC-OP.....	149
Figura 5.4.7	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CNSR-OP.....	150

Figura 5.4.8	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CSFA-OP.....	150
Figura 5.4.9	Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CSFA-SJDR.....	151
Figura 5.4.10	TR médio das igrejas em formato retangular.....	153
Figura 5.4.11	TR médio das igrejas em forma de elipse.....	154
Figura 5.5.1	Definição (D50) das 7 posições, Sé-MA.....	157
Figura 5.5.2	Definição (D50) das 6 posições, MNSP-SJDR.....	157
Figura 5.5.3	Definição (D50) das 8 posições, MNSC-OP.....	158
Figura 5.5.4	Definição (D50) das 6 posições, MNSP-OP.....	158
Figura 5.5.5	Definição (D50) das 6 posições, MSA-TI.....	159
Figura 5.5.6	Definição (D50) das 6 posições, CNSC-OP.....	159
Figura 5.5.7	Definição (D50) das 6 posições, CNSR-OP.....	160
Figura 5.5.8	Definição (D50) das 6 posições, CSFA-OP.....	160
Figura 5.5.9	Definição (D50) das 6 posições, CSFA-SJDR.....	161
Figura 5.5.10	Definição média das igrejas em formato retangular.....	163
Figura 5.5.11	Definição média das igrejas em forma de elipse.....	164
Figura 5.6.1	Qualificação do STI e escore de inteligibilidade. Fonte: Adaptado de IEC 60268-16 (2003-05).....	170
Figuras do apêndice.		
Figura A1	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Sé de Mariana.....	193
Figura A2	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.....	194
Figura A3	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.....	194
Figura A4	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.....	195
Figura A5	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz	

	de Santo Antônio de Tiradentes.	195
Figura A6	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto....	196
Figura A7	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.....	196
Figura A8	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.....	197
Figura A9	Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.....	197
Figura do anexo.		
Figura A1	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Sé de Mariana. Fonte: Adaptado de Santos (1951).....	207
Figura A2	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio (1952).....	208
Figura A3	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Sampaio (1948).....	209
Figura A4	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).....	210
Figura A5	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte: Adaptado de Sampaio (1995).....	211
Figura A6	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).....	212
Figura A7	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).....	213
Figura A8	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).....	214
Figura A9	Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de São Francisco	

de Assis de São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio  
(1950)..... 215

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.4.1	Exemplo da matriz de modulação do STI. Fonte: Adaptado de DIRAC (2005).....	29
Quadro 4.3.1	Vantagens e desvantagens do uso de MLS. Fonte: adaptado de Muller e Massarani (2005).....	118
Quadro 4.4.1	Usos do Software Dirac. Fonte: Adaptado de (BRÜEL & KJAER, 2005d).....	121
Quadro 4.4.2	Relação entre os tipos de microfones selecionados e os parâmetros a serem calculados. Fonte: BRÜEL & KJAER, 2005.	123
Quadro 5.1.1	Parâmetros Arquitetônicos das Igrejas Avaliadas.....	129
Quadro 5.6.1	Valores de STI, para voz masculina, medidos nas igrejas.....	166
Quadros do apêndice		
Quadro B1	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Sé de Mariana....	198
Quadro B2	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.....	199
Quadro B3	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.....	200
Quadro B4	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.....	201
Quadro B5	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.....	202
Quadro B6	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de Nossa Senhora do Carmo de Ouro Preto.....	203
Quadro B7	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.....	204
Quadro B8	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.....	205
Quadro B9	Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.....	206

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2.1	Medidas da Catedral de Mariana.....	52
Tabela 3.2.2	Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora de Pilar de São João Del Rei. Fonte: SAMPAIO, 1952.....	58
Tabela 3.2.3	Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto. Fonte: SAMPAIO, 1948.....	64
Tabela 3.2.4	Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.....	69
Tabela 3.2.5	Medidas da Igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte: SAMPAIO, 1995.....	75
Tabela 3.2.6	Medidas da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. Fonte: PAIVA, 1979.....	80
Tabela 3.2.7	Medidas da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto. Fonte: PAIVA, 1979.....	88
Tabela 3.2.8	Medidas da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto. Fonte: GRILLO, 1988.....	94
Tabela 3.2.9	Medidas da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei. Fonte: SAMPAIO, 1950.....	99
Tabela 4.5.1	Relação das igrejas selecionadas.....	124
Tabela 5.1.1	Relação das igrejas selecionadas suas abreviaturas.....	128
Tabela 5.4.1	TR por posição e por frequência da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.....	155
Tabela 5.6.1	Relação entre STI e a inteligibilidade da fala.....	169
Tabelas do anexo.		
Tabela B1	Especificações técnicas da placa VXpocket V2. Fonte: (DIGIGRAM, 2005).....	216

## Resumo

A constituição do Concílio Vaticano II promoveu profundas reformas na Igreja Católica. Sobre a liturgia da missa trouxe várias modificações, onde se destaca o uso da língua nacional e não mais da língua latina. Esta alteração somada a crescente participação dos fiéis nas celebrações foram responsáveis pelas mudanças nos costumes e conseqüentemente no uso destes ambientes, tanto no que se refere à execução de músicas como na prática da oratória. Inúmeras reclamações têm sido relatadas por padre e fiéis sobre as condições de audibilidade destes espaços. Estas questões somadas aos constantes problemas acústicos relatados pelos usuários e as dificuldades encontradas por profissionais na obtenção de subsídios para a adequação acústica desses ambientes, motivaram a elaboração desta pesquisa. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a influência das características arquitetônicas de nove igrejas barrocas construídas no século XVIII no Estado de Minas Gerais verificando as suas interferências na qualidade acústica, e ao mesmo tempo, produzir um documento que possa atender a demanda profissional por informações técnicas, especificamente elaboradas. As igrejas devem atender à dupla finalidade, isto é, servir tanto para uso da palavra falada quanto para a execução de músicas. Dada a importância artística e histórica das igrejas barrocas e a dupla finalidade a que elas atendem, elas foram escolhidas como objetos deste estudo. A inteligibilidade da fala foi analisada por meio do parâmetro STI (Speech Transmission Index). Também foram obtidos parâmetros acústicos tais como: clareza (C80), definição (D50), tempo de reverberação (TR). Esses parâmetros foram obtidos por meio da técnica da resposta impulsiva, utilizando o programa de avaliação acústica de salas Dirac da Bruel&Kjaer. Os resultados mostraram que a inteligibilidade da fala, e da música são bastante específicas para esse tipo de construção e a qualidade acústica é fortemente influenciada pelas características arquitetônicas desses ambientes.

Palavras chave: acústica de igrejas, inteligibilidade, igrejas barrocas, reverberação.

## **Abstract**

The Vatican Council II constitution promoted deep changes in Catholic Church and the mass liturgy, in which one can highlight the use of the national language instead of Latin. This transformation together with the growing participation followers in the celebrations was responsible for changes in habits and consequently use of these places concerning acoustic quality for music and speech. Innumerable complaints have been reported by priest and followers about audibility in such spaces. These points added to the constant acoustic problems related by users and troubles found by professionals in obtaining the subsidy necessary to the acoustic adaptation in these environments motivated this research. This work has as main target to gather architectural characteristics of nine baroque churches built during the XVIII century in Minas Gerais state and verify interferences in their acoustic quality, and at the same time create a document to provide specif technical information. Baroque churches were chosen as study object for their artistic and historical importance and for serving the double of adequately accomodating both spoken words and music performance. Speech intelligibility was analysed using the STI parameter (Speech Transmission Index). Other acoustic parameters (clarity (C80), definition (D50), reverberation time (RT)) were also obtained through impulsive response technique using the Dirac rooms evaluation program by Bruel&Kjaer. Results showed that music and speech intelligibility are very specific to this kind of construction and the acoustic quality is strongly influenced by architectural characteristics.

Keywords: churches acoustic, intelligibility, baroque churches, reverberation.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

*“Our echoes roll from soul to soul,  
and grow for ever and for ever.  
Blow, bugle, blow, set the wild echoes flying,  
and answer, echoes, answer, dying, dying, dying.*

*(The Princess, Tennyson)*

## 1.1 Apresentação

Além da inteligência diferenciada, o ser humano se distingue, e muito, dos demais animais, pela sua capacidade de comunicação e pelas diversas formas com que ela se processa. Hoje, com o desenvolvimento de novas tecnologias é possível se fazer entender praticamente apenas usando o sentido da visão, mesmo tendo a barreira das longas distâncias como obstáculo. Mesmo assim, o sentido da audição é fundamental para uma perfeita comunicação entre as pessoas, envolvendo e tocando profundamente o homem e suas relações.

Tanto do ponto de vista do conferencista, que tem como objetivos promover o ensino e o convencimento ao expor suas idéias, como do ouvinte, que de forma passiva deseja aprender e deste modo ampliar seus conhecimentos, a inteligibilidade é a principal característica acústica que deve ser observada em um ambiente. Principalmente aquele que é edificado para atingir esta finalidade como: salas de aula, auditórios, teatros e igrejas. A qualidade acústica destes ambientes, bem como das salas próprias para concertos, tem sido objetos de estudos dos mais importantes acústicos sem que tenham chegado a uma conclusão sobre um conjunto de parâmetros objetivos que sejam capazes de prever o desempenho acústico adequados durante a fase de projeto.

Para avaliação pós-ocupação de edificações, utiliza-se a avaliação subjetiva da sua qualidade acústica por um número expressivo de ouvintes. Os resultados desta análise dependem de muitas variáveis, como por exemplo, do tipo de música que está sendo executada e de uma grande variedade de gosto musical daqueles que ouvem. Um outro problema é que existem alguns parâmetros objetivos relacionados ao campo acústico, em que os valores nem sempre dependem dos ouvintes. Método semelhante também é utilizado para avaliação da inteligibilidade da fala em salas de aula, auditórios, teatros e igrejas.

Foi Sabine, no início do século XX, que definiu o parâmetro Tempo de Reverberação, no desenvolvimento de estudos de ambientes para a execução de vários tipos de música, fornecendo uma fórmula para a previsão do valor deste parâmetro em função de alguns elementos relativos ao projeto (FARINA, 1986).

Durante os últimos cem anos, muitos pesquisadores propuseram diversos métodos para a determinação de vários parâmetros acústicos. Com eles é possível, obedecendo determinados limites, fazer uma previsão do comportamento acústico de um ambiente.

Mudanças litúrgicas ocorreram na Igreja Católica, nas últimas décadas, após a constituição do Concílio Vaticano II, onde se destaca o uso da língua nacional de cada país e não mais da língua latina. Esta alteração somada a crescente participação dos fiéis nas celebrações, foram responsáveis pelas mudanças nos costumes e conseqüentemente no uso destes ambientes, tanto no que se refere à execução de músicas como na prática da oratória.

A motivação para o desenvolvimento desta pesquisa surgiu em decorrência de diversos problemas acústicos encontrados ao longo de vários anos, no desempenho da função de executor de obra de construção civil, somados às inúmeras reclamações relatadas por padres e fiéis sobre as condições de audibilidade das igrejas e as dificuldades encontradas por profissionais na solução de problemas relacionados à acústica destes espaços. Tanto sejam igrejas novas como antigas.

As celebrações desenvolvidas em igrejas requerem não apenas as qualidades acústicas para se entender a palavra falada, mas também qualidades acústicas que atendam ao bom desempenho na execução de músicas instrumentais e ao canto em coro. Mesmo reconhecendo sua importância, as questões envolvendo a acústica de igrejas estão relegadas ao segundo plano. Tendo em vista que o objetivo principal daqueles que atuam nesta área é relacionar as necessidades arquitetônicas destes templos, às questões de ordem litúrgicas e decorativas.

Até o momento existem poucos estudos sobre a acústica de igrejas, e estão relacionados em sua maioria ao tempo de reverberação como apresentam Lubman e Wetherill (1983), em levantamento realizado em diversos templos nos Estados Unidos, Cocchi e Farina (1987, 1990, 1992) na Itália, apresentam resultados de simulações computacionais com o objetivo de propor mudança de uso de igreja para sala de concerto, salas de múltiplo uso e outros. Em Portugal, Carvalho (2003) vem desenvolvendo uma série de estudos sobre acústica de igrejas aprofundando e analisando outras características acústicas do ponto vista físico e psico-acústico.

Sabe-se que é por meio dos símbolos imortalizados pelas artes plásticas e arquitetônicas que um povo consegue escrever a sua história e transmitir às gerações futuras seus conhecimentos, promovendo o desenvolvimento individual e coletivo. Deste modo pode-se avaliar a importância e o grande valor histórico, arquitetônico e cultural das igrejas barrocas construídas no Brasil.

Neste trabalho, são avaliados e analisados, um expressivo e representativo número de igrejas localizadas em cidades históricas do Estado de Minas Gerais tais como: São João Del Rei, Tiradentes, Mariana e Ouro Preto construídas no século XVIII, com o propósito de extrair subsídios que venham a contribuir no desenvolvimento de novos projetos arquitetônicos e ao mesmo tempo documentar as características destes antigos ambientes. Tendo em vista que outros estudos demonstram que as características arquitetônicas influenciam no desempenho acústico do ambiente construído.

O desempenho acústico destes ambientes é avaliado e analisado com base em índices objetivos de qualidade sonora tais como: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição (D50), clareza (C80). É avaliada também a inteligibilidade da fala (STI). Os parâmetros acústicos foram obtidos por meio da técnica impulsiva, utilizando o programa de computador Dirac da (Bruel&Kjaer) para medição dos parâmetros acústicos de salas. Após apresentação e discussão crítica dos resultados, relacionando-os aos parâmetros arquitetônicos obtidos in loco, constatou-se

uma forte influência da característica arquitetônica do barroco-rococo nas qualidades acústicas destes ambientes.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar as qualidades acústicas das igrejas históricas do Estado de Minas Gerais, construídas no século XVIII, correlacionando-as com seus parâmetros arquitetônicos.

### **1.2.2 Objetivo Específico**

◆ Determinar e avaliar os parâmetros acústicos mensuráveis (avaliação objetiva) tais como: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição (D50), clareza (C80), segundo norma ISO 3382 (1993) de várias igrejas setecentistas de Minas Gerais, localizadas nas cidades de São João Del Rei, Tiradentes, Mariana e Ouro Preto.

◆ Avaliar a inteligibilidade acústica analisando atributos subjetivos de qualidade sonora tanto para execução de música como para palavra falada, com base na norma IEC 60268-16 (2003-05).

◆ Levantar as características arquitetônicas das igrejas setecentistas avaliadas tais como: área dos pisos, área dos tetos, área das talhas barrocas, área das paredes em madeira, área das paredes em cal, área total das paredes, área total das superfícies, volume total da igreja, capacidade, percentual de áreas de talhas barrocas, percentual de superfícies em madeira, e demais medida internas.

- ◆ Analisar as condições mais adequadas e favoráveis ao bom desempenho acústico, com base nos parâmetros acústicos objetivos, para cada situação encontrada, segundo os materiais construtivos utilizados, tais como: pisos, revestimentos de paredes e ornamentos.

- ◆ Contribuir para a elaboração de diretrizes de projeto para arquitetos, acústicos e engenheiros como ferramenta de auxílio na tomada de decisão, para novos projetos ou na preservação do patrimônio histórico, pois, sabe-se que as igrejas representam um tipo muito particular de edifício com requisitos acústicos e arquitetônicos específicos.

### **1.3 Justificativa**

O conforto acústico em ambientes depende diretamente da garantia de níveis de ruídos, que sejam compatíveis com as condições humanas no desempenho de suas atividades, seja de trabalho ou de lazer. A qualidade sonora de uma sala de conferência é formada por uma série de atributos acústicos subjetivos, que venham proporcionar uma adequada inteligibilidade da fala. Para que isso ocorra será preciso reduzir os níveis de ruído, além de fazer com que o ambiente não produza ecos, pois, sabe-se que a inteligibilidade da fala é deteriorada pelos ecos, na medida que a mensagem atrasada se sobrepõe à mensagem mais recente, produzindo o mascaramento da última informação enviada.

A reverberação em excesso em um ambiente prejudica a inteligibilidade da fala. No entanto, em alguns casos, como em execução musicais, a reverberação pode até ser útil. Para cada uso é necessária a sua adequação (BISTAFA, 2003).

Os ambientes destinados a conferências devem ter o seu tempo de reverberação reduzido para se evitar o efeito do mascaramento. Entretanto, em um ambiente destinado a práticas musicais é necessário que se tenha uma certa reverberação, para se propiciar o efeito subjetivo conhecido por “envolvimento” e proporcionar uma

sonoridade que venha a contribuir com a música que está sendo executada. Desta forma, pode-se observar que cada tipo de ambiente exige características distintas para atender a sua finalidade.

A maior dificuldade que se depara é que as igrejas são ambientes destinados à prática tanto da palavra falada quanto da música, além de possuir características para atender as exigências litúrgicas e ritualísticas determinadas pela Igreja Católica. Condição que não permite uma adaptação ou alteração imediata do ambiente, mediante mudança de uso, como pode ocorrer em teatros e salas de concerto, apresentando deste modo um fator complicador a mais.

Desta forma, cabe aqui um estudo que venha a fornecer dados que possam auxiliar tanto a concepção de projetos arquitetônicos de igrejas, como a solução para problemas acústicos encontrados em igrejas em funcionamento, uma vez que esta é uma área que ainda precisa de muita pesquisa e desenvolvimento. Serão usados como parâmetro estes monumentos históricos, levando-se em consideração a sua importância histórica, cultural e arquitetônica, tendo em vista ainda que foram edificadas usando materiais disponíveis na região e obedecendo ao estilo e necessidades de uma época em que ainda não havia os recursos eletroacústicos, que em muitos casos podem suprir algumas falhas existentes, e que os tornam únicos em todo mundo.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Neste capítulo, que possui caráter introdutório, são apresentados os objetivos gerais e específicos, além da justificativa e motivação que levaram ao desenvolvimento deste trabalho, demonstrando desta forma, a sua relevância.

Uma revisão bibliográfica para a fundamentação teórica é apresentada no segundo capítulo, onde se buscou fornecer uma visão geral sobre a acústica de ambientes.

No terceiro capítulo, são apresentadas as igrejas setecentistas selecionadas como objetos de estudos, edificadas no século XVIII no Estado de Minas Gerais, sendo fornecido um breve histórico sobre sua construção, bem como uma descrição detalhada da sua arquitetura interna e externa com suas medidas.

No quarto capítulo são apresentadas as metodologias aplicadas para o levantamento dos dados acústicos das igrejas selecionadas, bem como os materiais e equipamentos utilizados.

No quinto capítulo são apresentados os resultados e as análises dos parâmetros acústicos e arquitetônicos avaliados das igrejas selecionadas.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões e as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Finalizando, as referências e um glossário com termos arquitetônicos específicos são apresentados com o propósito de facilitar o entendimento da descrição das igrejas. São também apresentados dois Apêndices e sete Anexos. No Apêndice A são apresentados gráficos contendo os resultados da relação impulso ruído da posição 3 de cada uma das igrejas. Os resultados dos parâmetros acústicos para todas as posições de medição e frequência são apresentados no Apêndice B. No Anexo A são apresentadas plantas baixas e cortes longitudinais das igrejas avaliadas com a localização da fonte sonora e as posições de medição. As especificações técnicas da placa de som analógico/digital utilizada são apresentadas no Anexo B. Nos Anexos C, D, E, F, G são apresentados índices objetivos de qualidade sonora adicionais.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

*“Acoustics is most fascinating subject.  
Music, architecture, engineering, science, drama,  
Medicine, psychology, and linguistics al seek from it  
answers to basic questions in their fields.”*

*(Leo L.Beraneek).*

## 2.1 Considerações Gerais

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica a respeito do desenvolvimento da acústica de salas e os parâmetros de avaliação. Nele são mostradas as técnicas e teorias desenvolvidas para caracterizar o campo acústico de ambientes como forma de avaliar suas qualidades sonoras. Fornecendo assim conceitos necessários à compreensão e interpretação dos dados obtidos ao se utilizar modernas técnicas digitais de tratamento dos sinais.

Uma das principais preocupações da acústica arquitetônica é o isolamento sonoro. A acústica de ambientes procura estudar as melhores condições acústicas que venham a promover um melhor conforto no que se refere audibilidade do público.

Até o século XIX os projetos acústicos dos ambientes destinados à música ou a palavra falada tinham como base critérios provenientes de comparação com ambientes existentes e que eram reconhecidos como de boa qualidade. Entretanto, o problema surgia quando se criavam novas formas, pois do ponto de vista da qualidade de audição só se conseguia avaliar após a conclusão da obra, o que em muitos casos o ambiente não correspondia à expectativa, em função do empirismo adotado.

Até meados do século passado, inúmeros casos de insucessos de obras realizadas segundo teorias físicas e acústicas, foram registrados. Entretanto, nos últimos tempos, fatos semelhantes têm se tornado mais raros, tendo em vista que houve uma separação entre as técnicas baseadas em conceitos empíricos e análogos, daquelas que usam avaliações e análises físicas de complexas formulações matemáticas.

Nepomuceno (1968), já destacava a importância de estudos desenvolvidos nesta área tendo em vista os prejuízos causados pelo excesso de barulho tanto no aspecto físico como psíquico, aos seres humanos a ele submetido, apresentando o custo do tratamento acústico previsto em projeto na época que poderiam chegar entre 0,5 % a 2

% do custo final da construção. Por outro lado, este custo não fica em menos 10 %, se tiver de ser realizado a posteriori. Essas considerações mostram a importância de se realizar um bom estudo ainda em fase de prancheta. Também Egan (1988) afirma que exigências acústicas sempre deveriam ser consideradas durante a fase de projeto. Mesmo sabendo que correções podem ser realizadas durante as fases posteriores, o que normalmente acaba sendo muito difícil de ser executado, como alturas, larguras e comprimentos de salas e ambientes adjacentes dentro de edifícios, uma vez que a relação entre espaço e orçamento já foram fixados. As deficiências em espaços acabados são freqüentemente muito difíceis e caras de se corrigir. Este tipo de surpresa não deve mais acontecer caso os projetistas entendam os princípios básicos da acústica levando em consideração as relações de espaço, volumes e formas dos edifícios para manter a qualidade de seus projetos atendendo ao propósito para os quais foram planejados.

## **2.2 Sabine e o Tempo de Reverberação**

Embora as bases da acústica arquitetônica tenham sido lançadas por Wallace Clement Sabine, Professor de Matemática e Filosofia da Universidade de Harvard, entre os anos de 1895 e 1915. Apenas nas últimas quatro décadas, tem surgido um número expressivo de trabalhos relacionados com a acústica de ambientes fechados.

Sabine foi chamado para corrigir a acústica do então inaugurado Fogg Art Museum, cujo auditório sofria de uma excessiva reverberação, o que interferia no entendimento das palavras, principalmente daqueles que se sentavam nas primeiras fileiras. Para compreender melhor o que ocorria com o som dentro de uma ambiente, Sabine permaneceu longas noites no silêncio do subterrâneo da Jefferson Physical Laboratory, escutando os decaimentos sonoros dos tubos de um órgão, principalmente da nota Dó da quarta oitava (freqüência de 517 Hz), sentado em uma espécie de banheira, da qual apenas emergia a cabeça. De modo que era permitido minimizar os efeitos absorventes de seu próprio corpo, assim determinou experimentalmente a lei

que relaciona a reverberação com o volume e a superfície do ambiente (FARINA, 1986).

Antes dele os projetos de arquitetura se limitavam a copiar as salas nas quais a acústica era considerada boa. Além disso, praticava-se uma série de atos supersticiosos como aqueles de se esticar fios nas partes altas das igrejas e teatros que não produziam nenhum efeito benéfico (PIERCE, 2003).

Sabine, portanto, foi o primeiro a reconhecer o tempo de reverberação como um importante parâmetro físico capaz de dar informações sobre a qualidade acústica do ambiente, e a defini-lo como sendo o tempo empregado por um som reverberante para tornar-se inaudível. Anos mais tarde quando tornou possível executar medidas eletrônicas do nível de pressão sonora, o tempo de reverberação veio a ser definido como o tempo empregado por um som, depois da fonte ser interrompida, para decrescer de 60 dB, como ilustra a Figura 2.2.1, também definido por (BERANEK, 1996) como “processo de decaimento sonoro”.

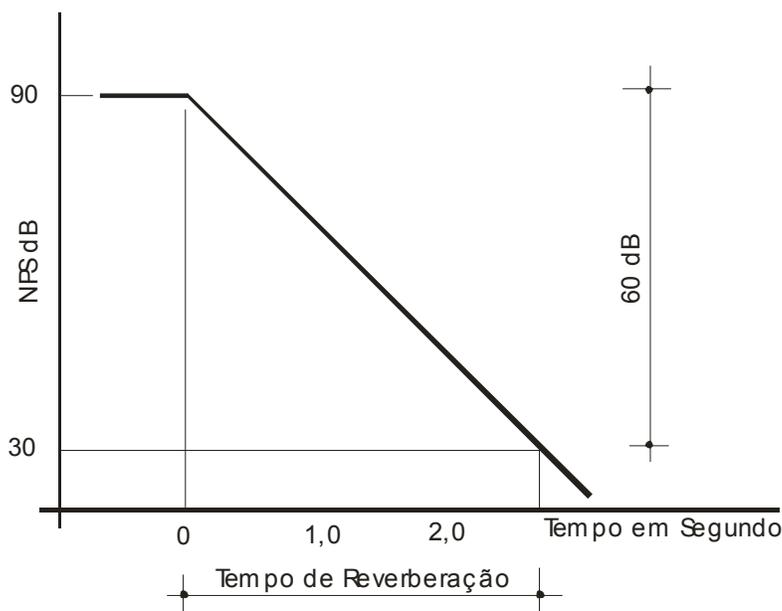


Figura 2.2.1 – Tempo de reverberação. Fonte: Adaptado de Johnson; Metha; Rocafort (1999).

Foi Sabine quem apresentou os primeiros critérios de projetos acústicos dos ambientes fechados, pois conseguiu fazer a relação entre o parâmetro tempo de reverberação e as características físicas e geométricas dos ambientes (volume e área de absorção equivalente), fixando algumas condições como requisitos necessários para obter uma boa qualidade acústica. A primeira delas é que o som tem que ser suficientemente forte. A segunda, que os componentes simultâneos de um som complexo mantenham uma relação apropriada entre a sua intensidade. A terceira e última condição, é que os sons sucessivos na sua rápida articulação sejam claros e distintos, livre da sobreposição mútua e de ruído de fundo. Ainda hoje os requisitos formulados por Sabine são válidos. Também foi possível interpretar melhor suas palavras, tendo sido permitido evidenciar a importância de um quarto requisito, relacionado a direcionalidade do campo acústico. Para uma boa audição é preciso ser envolvido pelo som, e isso só pode ocorrer em ambientes que apresentam suficientes reflexões laterais (FARINA, 1986).

Por meio das medidas experimentais realizadas por Sabine em diversos ambientes, com particular atenção às realizadas na Boston Concert Hall, foi possível concluir que o vínculo existente entre o tempo de reverberação por ele definido e as características do ambiente poderia ser expresso pela equação 2.1.

$$TR = 0,16 \cdot \frac{V}{\sum A} \quad (2.1)$$

Onde:

V é o volume do ambiente em (m<sup>3</sup>);

A é a absorção total (m<sup>2</sup>) obtido conforme equação:

$$A = \sum \alpha \cdot S \quad (2.2)$$

Onde:

$\alpha$  é o coeficiente de absorção sonora aparente da superfície de cada material presente no ambiente;

S é a área da superfície de cada material presente no ambiente.

Na época, os coeficientes de absorção dos materiais representavam um dado de determinação pouco segura, pela falta de um campo difuso na determinação do coeficiente de absorção, mas que o próprio Sabine resolveu este problema, ao comparar o tempo de reverberação medido em um mesmo ambiente antes e depois de introduzir um objeto, e aplicando duas vezes a sua fórmula foi possível determinar o coeficiente de absorção do material introduzido. Os resultados foram obtidos após um longo e exaustivo vai e vem com os materiais no local de medição.

Graças aos resultados obtidos foi possível avaliar as qualidades de absorção sonora de um número expressivo de materiais que têm sido usados nos teatros e auditórios com o propósito de reduzir a reverberação do som nestes ambientes.

Tendo em vista o sucesso obtido na Boston Symphony Hall, Sabine decidiu reproduzir os resultados das salas existentes mais apreciadas, e seguindo a orquestra da Boston Symphony em uma de suas turnês teve a oportunidade analisar dentre outras a Carnegie Hall de Nova York e a Academia da Música da Filadélfia. O resultado desta pesquisa consagrou Sabine com o pai da Acústica dos Ambientes Fechados, uma vez que possibilitou o desenvolvimento dos melhores projetos de salas até então realizados, tanto pelo próprio Sabine quanto por outros profissionais e pesquisadores que utilizaram a sua teoria.

Nos anos seguintes, com o intuito de aperfeiçoar seus estudos, Sabine decidiu entrar no complexo campo da individualização dos tempos de reverberação ótimos para diferentes eventos acústicos, concluindo que a palavra falada requeria um tempo de reverberação menor do que a música, se tornando também o pioneiro nos estudos da subjetividade sonora, uma vez que realizou pesquisas comparativas de preferência junto a um grupo de músicos, com base na sua própria execução musical.

O trabalho de Sabine motivou outros pesquisadores, que parte mediram os tempos de reverberação de inúmeras salas em todo o mundo, e outra aprofundou análises dos fundamentos teóricos, chegando a obter matematicamente o que Sabine tinha deduzido experimentalmente. A teoria de Sabine é sólida e muitíssima utilizada até os dias de hoje, não só para avaliar a qualidade de salas, mas também para a metrologia.

O próprio Sabine se deu conta das aproximações inseridas em sua fórmula, pois basta imaginar se fosse possível construir um ambiente em que suas superfícies fossem totalmente absorventes, ou seja, providos de coeficientes de absorção igual um, o resultado ao aplicar a sua fórmula seria diferente de zero, enquanto que na realidade não existe reverberação sem reflexão sobre as superfícies do ambiente.

Assim sendo foi necessário especificar cinco condições para justificar a aplicabilidade de sua fórmula:

- 1) A igualdade do tempo de reverberação em todos os pontos do ambiente, equivalendo aceitar que a lei do decaimento da energia sonora seja semelhante em todos os pontos, isto é, condição de campo difuso.
- 2) Ser possível substituir os comprimentos dos percursos simples dos raios sonoros em um livre caminho médio ( $l$ ), avaliado segundo a teoria cinética dos gases, equação 2.3, hipótese esta válida apenas se as três dimensões do ambiente não sejam muito diferentes entre si, perdendo significado nas situações comuns.

$$l = \frac{4V}{St} \quad (2.3)$$

Onde:

$V$  é o volume do ambiente;

$S_t$  é a soma das superfícies de contorno.

- 3) Poder considerar as paredes como se possuíssem coeficientes de absorção aparente, obtidos de uma média dos coeficientes de absorção, sendo válido apenas se estas superfícies tenham absorção pouco diferentes, condição que em geral não é encontrada nos teatros e auditórios, pela presença do público que possui absorção superior às demais.
- 4) Desprezar a capacidade de absorção pelo ar, o que de uma forma ou de outra pode ser considerada relevante em caso de ambientes grandes, principalmente em altas frequência.
- 5) Admitir a continuidade do decaimento sonoro, representado por uma curva exponencial, enquanto se sabe, que na realidade o primeiro traço da curva de decaimento apresenta degraus, devidos a onda direta e as primeiras reflexões.

Deste modo, com base nas premissas apresentadas, não se pode esperar que a fórmula de Sabine seja adequada a tratar de ambientes que possuem formato irregular, com distribuição aleatória de superfícies absorventes, e com elevado valor de coeficiente de absorção, fato que ocorreu no passado levando a resultados inexatas.

Segundo Gerges (2000), a fórmula de Sabine foi deduzida para campo difuso onde as reflexões durante o crescimento e o decaimento do som, bem como a energia refletida permite criar uma distribuição de densidade de energia uniforme, entretanto, não devendo aplicar no caso em que o coeficiente de absorção é alto, ou seja, o tempo de reverberação é pequeno.

Na tentativa de resolver tais questões foi desenvolvida por Carl F. Eyring em 1930, uma teoria mais apurada que leva em consideração a natureza do decaimento

sonoro, sendo válidas também para grandes ambientes e com absorções sonoras elevadas.

Eyring propõe uma fórmula ligeiramente diferente, adotando um coeficiente de reflexão médio  $\bar{\rho}$ , que representa a parcela de energia devolvida ao ambiente pelas paredes e outras superfícies, sujeitas ao campo acústico.

Sendo a fórmula expressa da seguinte forma:

$$TR = -0,161 \cdot \frac{V}{S \cdot \ln(\bar{\rho})} \quad (2.4)$$

Onde:

$V$  é o volume da sala em  $m^3$ ;

$S$  é a área total das superfícies dos materiais em  $m^2$ .

O cálculo da reflexão média  $\bar{\rho}$  leva em conta as diferentes distribuições dos materiais absorventes e uma eventual falta da difusão sonora dentro dos ambientes, conseguindo assim vencer alguns limites das expressões de Sabine. Entretanto, na medida que se levanta a hipótese de poder considerar o campo sonoro perfeitamente difuso, obtendo-se um valor para  $\bar{\rho}$  de forma simplificada  $1 - \bar{\alpha}$ , como mostra a equação 2.5, depara-se novamente com um limite no campo de aplicação.

$$TR = \frac{0,16 \cdot V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (2.5)$$

Onde:

$V$  é o volume da sala em  $m^3$ .

$S$  é área total das superfícies dos materiais ( $m^2$ ).

$\bar{\alpha}$  é a média dos coeficientes de absorção sonora presentes no ambiente.

Apesar de inúmeros estudos posteriores para a determinação de  $\bar{\rho}$  sendo aplicados em casos diversos, normalmente a sua fórmula tem sido aplicada onde se espera uma difusão uniforme e o valor do coeficiente de absorção não permita o uso da fórmula de Sabine.

Outra aproximação é proposta por Millington e Sette, onde a absorção sonora total leva em consideração cada uma das superfícies existentes no ambiente, sendo sua equação expressa da seguinte forma:

$$A = \sum_i -S_i \ln(1 - \alpha_i) \quad (2.6)$$

Onde:

$A$  é absorção total ( $m^2$ ).

$S_i$  é a área de cada superfície ( $m^2$ ).

$\alpha_i$  é o coeficiente de absorção sonora de cada superfície.

O que leva a um tempo de reverberação dado pela seguinte equação:

$$TR = \frac{0,161V}{\sum_i -S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (2.7)$$

Quando se tem materiais de absorção, com coeficientes de absorção em faixas mais altas, a equação 2.7 fornece valores com melhor precisão do que as equações de Sabine e Eyring no cálculo do tempo de reverberação (GERGES, 2000).

Um outro limite que se constata tanto na fórmula de Sabine como na de Eyring, Millington e Sette, é o fato de se desprezar a capacidade de absorção do som pelo ar, o que levou Meyer e Richardson (Apud FARINA, 1986) a propor a seguinte modificação na equação de Sabine:

$$TR = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha S + 4 \cdot \beta \cdot V} \quad (2.8)$$

Onde  $\beta$  representa um coeficiente de atenuação em função da capacidade de absorção do som pela atmosfera levando-se em consideração quatro variáveis: frequência do som, temperatura, umidade relativa e pressão do ar, podendo ser calculado segundo a norma ISO-9613-1 (1993).

O termo denominador pode ser desprezado na presença das baixas frequências e nos ambientes cujo volume  $V$  seja pequeno, pois a capacidade de absorção do ar está diretamente relacionada com o seu volume.

Mesmo sabendo da grande contribuição das teorias levantadas por Sabine, o desenvolvimento e a evolução da arquitetura, conduziram a construção de ambientes distante da capacidade de previsão de uma fórmula. Algumas construções deram bons resultados, outras nem tanto, uma vez que os tempos de reverberação se mostraram muito diferentes do previsto chegando ao limite do aceitável, o que comprometeu a qualidade da audição e gerou uma grande quantidade de críticas.

As fórmulas de Sabine, Eyring, Millington e Sette foram aceitas por mais de meio século, o que mostra que o tempo de reverberação não é apenas um parâmetro importante à boa acústica, e que fenômenos bem mais complexos foram considerados. Segundo Farina (1986), o primeiro destes fenômenos a ser considerado foi o equilíbrio espectral, além da capacidade do ambiente fornecer um campo acústico privado de atenuações ou reforços pronunciados sobre uma gama de frequências.

## 2.3 Os Parâmetros Acústicos Objetivos e Subjetivos

Importantes progressos foram obtidos nos últimos anos para se compreender melhor o comportamento do sistema auditivo humano na medida que se desenvolveu apuradas técnicas psico-subjetivas, pela análise estatística dos julgamentos de qualidade. Por outro lado foram desenvolvidas sofisticadas técnicas para determinação das características acústicas dos ambientes fechados, no mesmo tempo que se aproveitou dos resultados científicos obtidos em outras áreas do conhecimento para o esclarecimento de diversos pontos até então obscuros; o que não quer dizer que o trabalho está efetivamente concluído, pois ainda há muito a ser pesquisado e desenvolvido nesta área tão complexa.

Graças aos testes psico-subjetivos de qualidade foi possível criar uma conexão clara e confiável entre os índices objetivos extraídos do campo acústico e a preferência geral dos ouvintes, onde foram definidos os valores ótimos dos parâmetros físicos. Foi possível também precisar o grau de correlação entre os mesmos parâmetros físicos.

Baseado na extrapolação de diversos segmentos da curva de decaimento foram também definidos parâmetros relacionados à parcela de energia obtidas, filtrados em oitava ou terço de oitava, medidas com técnica de ruído estacionário ou impulsivo, utilizando-se como sinal de excitação a explosão da carga de uma pistola.

Hoje, por com o uso de microcomputadores é possível processar um sinal de excitação conhecido, e obter índices objetivos de desempenho acústico de ambientes, levando-se em consideração diversos fatores e com muito mais exatidão (CARVALHO, 1994).

A boa acústica de um ambiente depende diretamente de vários fatores como: a forma, o tamanho, os materiais utilizados nos revestimentos tanto do piso como das paredes e tetos, a distribuição dos assentos destinados ao público, etc. Deste modo, quando se desejar preparar ou adaptar as condições específicas de um ambiente, é

necessário agir diretamente sobre suas características arquitetônicas (FERNANDES, 2000).

Para avaliar estas condições existe um número expressivo de índices objetivos, prescritos pela norma internacional, ISO 3382 - Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993), que podem relacionar as condições arquitetônicas dos ambientes à subjetividade do receptor. Estes índices são obtidos a partir da resposta impulsiva do ambiente, registrando-se a pressão sonora em um determinado ponto, feito no momento em que este ambiente é sonorizado.

Como as primeiras reflexões que chegam ao receptor logo após o som direto, são responsáveis pela criação de importantes atributos subjetivos, estes são usados para definir as suas características.

A seguir será apresentada uma revisão específica à cerca dos índices objetivos e subjetivos de qualidade sonora.

## **2.4 Índices Objetivos de Qualidade Sonora**

Até o início deste século o estado da arte relacionado com as medidas de áudio é representado por duas diferentes espécies de medidas: caracterização da função de transferência linear de um sistema, medido por meio de sua resposta impulsiva, e análises da não linearidade medida por meio da distorção de harmônicos em várias ordens. Para a medida da resposta impulsiva as técnicas mais empregadas são MLS (Maximum Length Sequence) e TDS (Time-Delay Spectrometry), (FARINA, 2000a).

Medidas acústicas de ambientes podem ser executadas usando uma enorme variedade de ferramentas e equipamentos. É grande o número de diferentes combinações de ferramentas, equipamentos, técnicas e métodos. Os resultados são

claramente influenciados por estas diferentes situações, mas a importância dessas diferenças, ainda não são totalmente conhecidas. Os resultados também dependem das posições do ouvinte e da condição do ambiente no qual a medida é feita (FAUSTI; FARINA, 2000).

É possível calcular a maior parte dos índices objetivos obtidos tendo como ponto de partida a resposta impulsiva do ambiente. O conceito de resposta impulsiva pode ser dado como sendo a resposta da pressão sonora que é registrada na posição de interesse do ouvinte quando um impacto que produz um pulso muito intenso de curta duração é produzido por uma fonte em uma posição específica. Estes pulsos podem ser produzidos por tiros de pistolas ou por pulsos elétricos enviados por alto-falantes. A Figura 2.4.1 apresenta um exemplo da resposta de um ambiente a este pulso. A resposta impulsiva é particularmente atrativa, porque ela oferece uma completa descrição da transmissão entre dois pontos, já que não se preocupa com a direção. Todas as medidas não levam em consideração a direção, exceto “early lateral energy fraction”, pois são medidas omnidirecionais e são calculadas da resposta de impulso (BARROM, 1998).

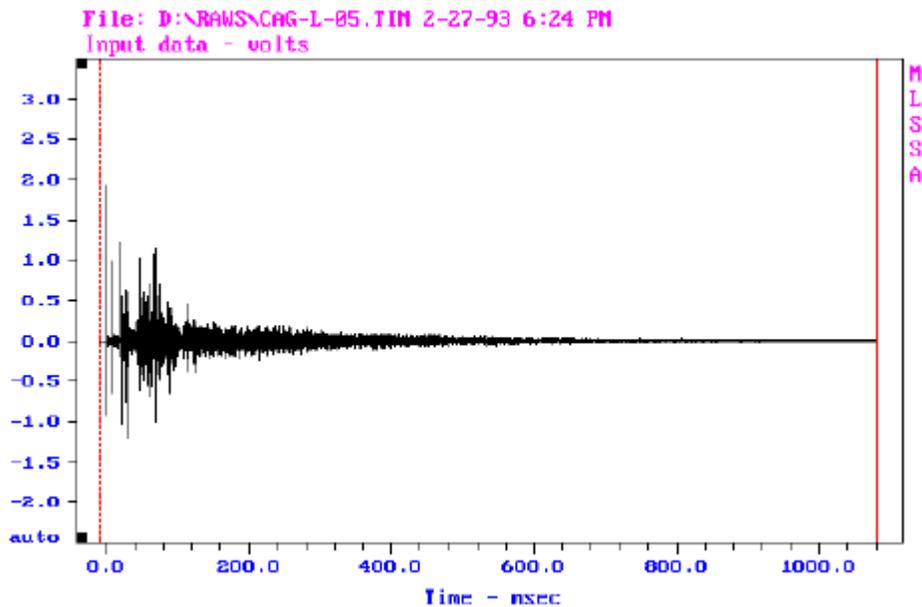


Figura 2.4.1 – Exemplo de registro da resposta impulsiva. Fonte: Adaptado de Farina, (1993).

Ao se observar a Figura 2.4.1, onde é apresentada a resposta impulsiva de um determinado ambiente, indicando incidência do som direto, as primeiras reflexões e as demais reflexões do decaimento do campo reverberante.

Nos itens que se seguem são definidos alguns dos parâmetros acústicos provenientes da resposta impulsiva.

#### 2.4.1 Intervalo Inicial de Atraso de Tempo (Initial Time Delay Gap)

Intervalo Inicial de Atraso de Tempo é o tempo decorrido entre o som direto e a primeira reflexão, ou seja, é o atraso da primeira reflexão da onda direta, expresso em milissegundos, e está relacionado com a impressão subjetiva de “intimidade”, sendo usualmente calculado diretamente da resposta impulsiva (BERANEK, 1962; BISTAFA, 2003). A figura 2.4.2 mostra o diagrama de decaimento sonoro percebido por um ouvinte. Aqui o som direto e sua intensidade aparecem como uma linha vertical à esquerda do diagrama seguido por um intervalo de tempo de atraso inicial (ITDG). O

ITDG é seguido por uma sucessão de reflexões sonoras que decrescem em amplitude, sofrendo perda a cada reflexão.

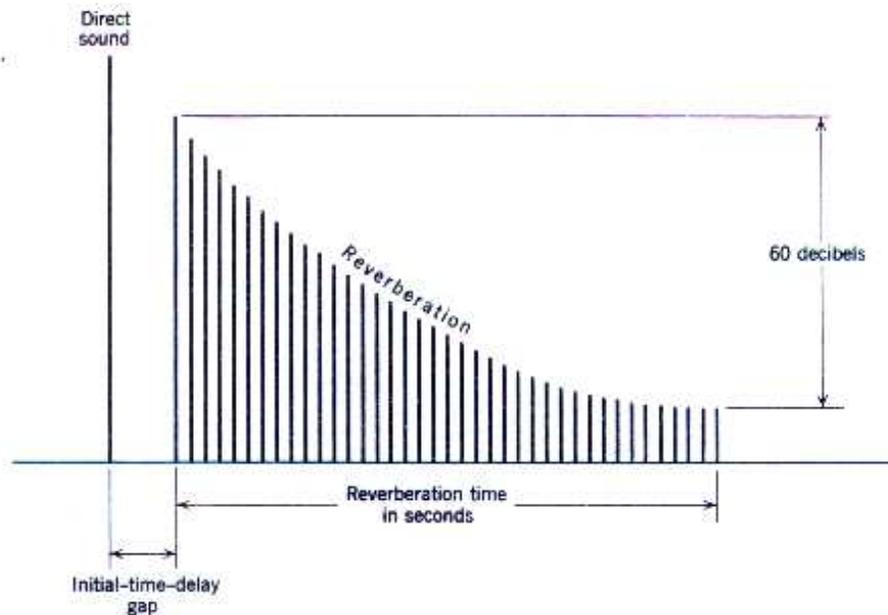


Figura 2.4.2 – Diagrama de decaimento sonoro. Fonte: BERANEK, 2004.

## 2.4.2 Tempo de Reverberação (Reverberation Time)

É definido como sendo o tempo necessário para que o Nível de Pressão Sonora (NPS) seja atenuado em 60 dB, após a interrupção da emissão do som pela fonte, e está relacionado com a inteligibilidade da fala (GERGES, 2000).

São também calculados tempos menores de decaimento entre os limites de -5 e -15 dB ( $T_{10}$ ), entre -5 e -25 ( $T_{20}$ ) e entre -5 e -35 ( $T_{30}$ ) integrado na curva de Schoroeder, em segundos. Segundo Schoroeder (1965) o decaimento reverberante pode ser descrito por um atraso na integração da resposta impulsiva conforme a equação:

$$\langle p^2(t) \rangle = N \cdot \int_t^{\infty} h^2(\tau) d\tau \quad (2.9)$$

Onde:

$\langle p^2(t) \rangle$  é média de infinito número de decaimentos;

$h^2(\tau)$  é o quadrado da resposta impulsiva;

$N$  é a força do ruído por largura de banda.

Segundo Farina (2000b) a equação (2.9) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\langle p^2(t) \rangle = N \cdot \left( \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau - \int_0^t h^2(\tau) d\tau \right) \quad (2.10)$$

### 2.4.3 Tempo de Decaimento Inicial EDT (Early Decay Time)

A percepção subjetiva da reverberação está correlacionada mais fortemente com o decaimento inicial do que com o restante do campo reverberante, como foi demonstrado por Jordan (1981), e está diretamente ligada com a impressão subjetiva de como o sinal transmitido parece ser transformado pela reverberação do ambiente.

O cálculo do EDT é feito no limite do decaimento entre 0 e -10 dB na curva integrada de Schoroeder, em segundos, multiplicado por um fator 6, uma vez que 10 dB ocorre em um período de tempo brusco equivalente a um sexto do tempo requerido para 60 dB de decaimento, definido como tempo de reverberação (BERANEK, 1996; GERGES, 2000).

#### 2.4.4 Definição D50 (Definition)

Definição é um parâmetro baseado na característica da audição na qual as reflexões que atinjam o receptor até 50 ms, depois da chegada do som direto. São usualmente consideradas reflexões benéficas, pois dão suporte ao som direto, contribuindo para a audibilidade do som sem apresentar prejuízos em sua qualidade (GRANADO JÚNIOR, 2002). As técnicas de gravação e visualização digital têm permitido integrar a energia sonora recebida em intervalos de tempo arbitrário, e desta possibilidade é extraída a individualização de relação entre a energia recebida imediatamente depois da onda e a sucessiva energia reverberante. A Definição, é a razão entre a energia da resposta impulsiva entre o 0 e 50 ms e a energia total da resposta impulsiva.

Este parâmetro, D (Definição), está correlacionado com a inteligibilidade da fala, comparando a energia do som direto somada a energia das reflexões úteis com a energia total da resposta de impulso, e foi definido por Thiele (Apud BARRON, 1998) como sendo:

$$D50 = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t).dt}{\int_0^{\infty} p^2(t).dt} \quad (2.11)$$

Onde:

- o termo numerador é a energia da resposta impulsiva entre 0 e 50 milissegundos;
- o termo no denominador é a energia total da resposta impulsiva.

#### 2.4.5 Clareza C80 (Objective Clarity)

Está relacionada com o equilíbrio entre a clareza percebida e a reverberação, a qual pode ser particularmente delicada para audição de música. Assim pode-se definir a

clareza como o tempo de integração para a energia útil chegando ao ouvido até 80 ms do som direto dividido pela energia tardia total que chega após os 80 ms do som direto (BARROM, 1998; EGAN, 1988).

A equação é definida como:

$$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{0,08s} p^2(t).dt}{\int_{0,08s}^{\infty} p^2(t).dt} \quad (2.12)$$

Onde:

o termo numerador é a energia da resposta impulsiva entre 0 e 80 milisegundos;  
o termo no denominador é a energia da resposta impulsiva entre 80 milisegundos e “∞”.

Quando a clareza estiver relacionada com a percepção musical, o intervalo de tempo é limitado em 80 ms, quando estiver relacionado com a fala, o intervalo de tempo é limitado em 50 ms (FARINA, 2000b).

#### **2.4.6 Índice de Transmissão da Fala STI (Speech Transmission Index) e Índice de Transmissão da Fala Rápido RASTI (Rapid Speech Transmission Index)**

Estes parâmetros são computados dos valores da modulação da função de transferência  $m(F)$ . Esta quantidade é definida pela razão da modulação da amplitude da energia recebida pela modulação da amplitude da energia original, fazendo uso de um sinal de excitação obtido em banda de 1/1 oitava de um ruído rosa filtrado, tendo uma energia envolvida (amplitude ao quadrado) lentamente modulada a uma frequência  $F$ , Figura 2.4.3.

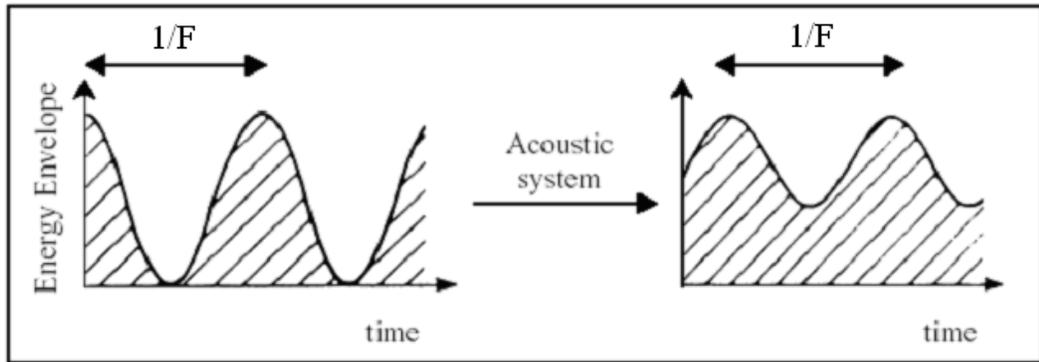


Figura 2.4.3 – Modulação da energia envolvida na entrada e na saída. Fonte: TRONCHIN; FARINA, 2000.

O microfone ao receber o sinal amostrado apresenta uma energia envolvida com a profundidade da modulação reduzida. A modulação da função de transferência é obtida pela expressão:

$$m(F) = \frac{m_{out}}{m_{in}} \quad (2.13)$$

Onde:

$m_{out}$  é a modulação da amplitude da energia na saída do sistema acústico;

$m_{in}$  é a modulação da amplitude da energia na entrada do sistema acústico

O valor da modulação da função de transferência  $m(F)$  pode ser computado para cada modulação de frequência  $F$  em 1/3 de oitava variando de 0,63 a 12,5 Hz, em 14 bandas, e por sete bandas de 1/1 oitava com frequências centrais variando de 125 Hz a 8 kHz, cobrindo o alcance da modulação da voz humana. Assim, um completo jogo de valores de  $m(F)$  contem globalmente 98 valores, como exemplifica o quadro 2.4.1.

Quadro 2.4.1 – Exemplo da matriz de modulação do STI. Fonte: Adaptado de DIRAC (2005).

Modulation Frequency F(Hz)	Octave Band Frequency (Hz)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.63	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.0	1.000	1.000	○ 1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.6	0.858	0.866	0.806	0.852	○ 0.837	0.841	0.835
2.0	0.858	0.866	○ 0.806	0.852	0.837	x 0.841	0.835
2.5	0.858	0.866	0.806	0.852	0.837	0.841	0.835
3.15	0.858	0.866	0.806	x 0.852	○ 0.837	0.841	0.835
4.0	0.858	0.866	○ 0.806	0.852	0.837	0.841	0.835
5.0	0.651	0.676	0.543	0.543	0.630	0.633	x 0.612
6.3	0.651	0.676	0.543	0.543	○ 0.630	0.633	0.612
8.0	0.506	0.533	○ 0.377	0.377	x 0.506	0.502	0.471
10	0.506	0.533	0.377	0.377	0.506	0.502	0.471
12.5	0.444	x 0.460	0.267	0.427	○ 0.406	0.413	0.373
MTI	0.75	0.76	0.7	0.75	0.73	0.74	0.73

Tecnicamente, o STI é calculado como soma ponderada do Índice da Modulação de Transferência (MTI). Este índice é derivado dos valores da Modulação da Função de Transferência  $m(F)$  levando-se em conta os efeitos audíveis de acordo com a norma IEC 60268-16 – Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, (2003-05).

Pela ponderação de diferentes fatores de MTI, uma diferenciação é feita entre a voz feminina e masculina para avaliação do STI. O STI masculino é medido, usando um sinal de excitação com um espectro padrão da frequência da voz masculina, que é obtido filtrando o sinal da fonte com um filtro masculino. Similarmente, o STI feminino é medido, usando um filtro feminino.

Embora o STI seja um parâmetro acústico completo, descrevendo a inteligibilidade de salas, Houtgast e Steeneken (Apud TRONCHIN e FARINA, 2000) consideraram que ele não foi suficiente para obter um conjunto completo de 98 valores de  $m(F)$  para quantificar a inteligibilidade de um ambiente fechado.

Deste modo, foi definido um curto parâmetro, o “RASTI”, limitando a análise para um número restrito de dados. O procedimento é muito semelhante, mas os portadores de frequência são referentes apenas para as bandas de oitava de 500 e 2000 Hz.

## 2.5 Atributos Subjetivos de Qualidade Sonora

A psicoacústica é a área da acústica que estuda os atributos subjetivos de qualidade sonora de ambientes destinados a diversos usos, tendo sido alvo de estudo de diversos pesquisadores nas últimas cinco décadas.

A psicoacústica relaciona as sensações auditivas com os estímulos causados pelo som, tratando de questões como: audibilidade, limiares auditivos e de dor, inteligibilidade da fala, percepção da intensidade e da frequência do som, mascaramento, os efeitos da audição binaural (estéreo e surround).

As bases para seu estudo estão apoiadas na Lei de Weber-Fechner que relaciona a intensidade física de uma excitação e a intensidade subjetiva da sensação causada no sistema auditivo de uma pessoa. Esta lei pode ser aplicada para avaliar qualquer percepção sensorial como: audição, visão, tato, olfato, sendo dada pela seguinte expressão:

$$\Delta S = k \cdot \frac{\Delta I}{I} \quad (2.14)$$

Ou

$$\Delta S = k \cdot \log I \quad (2.15)$$

Onde:

$\Delta S$  = Sensação;

$I$  = Intensidade do estímulo;

$K$  = Constante.

Em acústica pode-se dizer que:

Para sons de mesma frequência, a intensidade da sensação sonora cresce proporcionalmente ao logaritmo da intensidade física.

Ou ainda:

Sons de frequência constante, cujas intensidades físicas variam em progressão geométrica, produzem sensações cujas intensidades subjetivas variam em progressão aritmética. (FERNANDES, 2002).

A qualidade acústica de um ambiente é avaliada segundo critérios de julgamento subjetivos dos ouvintes que estão expostos ao campo acústico e submetidos a uma enorme quantidade de variáveis que vão desde o funcionamento do sistema auditivo humano, que pode influenciar mediante sua conformação física, até questões de ordem culturais.

Há duas situações que devem ser tratadas de forma separada para o desenvolvimento de uma qualificação mais precisa da qualidade acústica de um ambiente, o primeiro é a **fala** e o segundo a **música**. Portanto estão relacionadas ao tipo de uso para o qual ele foi projetado ou construído.

No primeiro caso, para saber se o ambiente possui uma boa qualidade acústica é analisada a inteligibilidade da fala, onde normalmente é usado um questionário para testar a articulação das palavras, como pode se visto em Carvalho; Henrique; Morgado (1996), que é respondido por um número suficiente de pessoas. Mediante o resultado,

em comparação com os parâmetros objetivos do campo acústico, pode-se chegar a uma conclusão a cerca desta qualidade.

No segundo caso, critérios semelhantes já foram adotados como os apresentados por Beranek (1962), quando obtiveram de especialistas musicais conceitos suficientes para fazer uma classificação de salas de concerto.

Entretanto, a correlação entre as impressões subjetivas e objetivas para a música tem sido objeto de muito estudo, uma vez que ainda não se chegou a um consenso sobre quais parâmetros são realmente significativos ou mesmo sobre quais são completamente independentes uns dos outros (GOMES, 1998). Deste modo pode-se perceber as dificuldades que são encontradas para se qualificar um ambiente, principalmente, quando são projetados ou construídos para atender a ambas finalidades.

Beranek (1996), na busca de uma definição de consenso, relaciona um grande número de termos, com o objetivo de definir as impressões subjetivas da acústica de ambientes para a prática musical. A seguir são apresentados os mais importantes e que possuem uma razoável correlação entre os parâmetros objetivos de qualidade sonora que foram apresentados anteriormente.

### **2.5.1 Vivacidade (liveness)**

Está diretamente relacionado com a reverberação da sala em médias e altas frequências (tipicamente acima de 500 Hz) (FIGUEIREDO; IAZZETTA; MASIERO, 2002). Salas reverberantes são consideradas salas “vivas”. Uma sala que reflete pouco o som por possuir um grande número de materiais absorventes é considerada uma sala “morta” ou “seca”. A “vivacidade” de um ambiente está relacionada com o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), e ocorre quando apresenta um volume total muito maior que o volume ocupado pela audiência, ou quando é dotada de um número muito grande de

superfícies refletoras. Em uma sala destinada à fala é importante que seja “seca”, pois ela propicia uma melhor inteligibilidade, entretanto uma sala “viva” concede um melhor preenchimento sonoro à música (fullnes of tone), (BISTAFA, 2003).

### **2.5.2 Audibilidade (Strenght factor G ou Loudness)**

A “Audibilidade” (média do nível de pressão sonora em dB para bandas entre 500 e 1000 Hz) é um importante meio para estimar a preferência da voz humana na prática de canto. Ela é obtida quando a equação de Sabine é válida, estando diretamente relacionada ao “Suporte G”, Anexo F, sendo proporcional ao “Tempo de Reverberação TR”. Ou seja, a “Audibilidade” do ambiente aumenta com a reverberação (BERANEK; HIDAHA, 2000).

### **2.5.3 Clareza (Clarity)**

A “Clareza” (média do nível de pressão sonora em dB para bandas de 500, 1000, 2000 Hz), está correlacionada com os parâmetros “Clareza C” e “Tempo Central TS”, Anexo E.

Quando em um ambiente, a música tocada soa bem definida e suas notas musicais são percebidas bem distintas e isoladas, com suas articulações sonoras límpidas e precisas, independentemente do andamento, é considerada que possui um bom grau de “Clareza” (FIGUEIREDO; IAZZETTA; MASIERO, 2002).

### **2.5.4 Calor (Warmth)**

Também está relacionado à prática musical, é avaliado levando-se em consideração a faixa de frequência, sendo definido como a presença dos graves

(fullness of bass tones), ou seja, como a vida ou a “vivacidade” dos graves, ou ainda o preenchimento dos graves. Está correlacionado com o “Suporte G”, Anexo F, e o “Tempo de Decaimento Inicial EDT” (MALAFAIA; TENENBAUM, 2000).

### **2.5.5 Intimismo (Intimacy)**

É a sensação de estar em um ambiente pequeno, experimentada por um ouvinte, independentemente do tamanho do local. Esta impressão é determinada pelo intervalo de tempo entre o som direto e sua primeira reflexão proveniente de superfícies refletoras, com o tempo menor que 20 ms. Assim, está correlacionado com o ITDG e com o “Suporte G” (BERANEK; HIDAKA, 2000).

### **2.5.6 Envolvimento (Envelopment ou Spatial Impression)**

É o efeito psicoacústico causado pela impressão de estar envolvido pelo campo acústico, que ocorre quando as reflexões sonoras atingem os ouvidos vindos de diversas direções, principalmente as que chegam pelas laterais. Está correlacionado com os índices objetivos: “Fração Lateral LF”, Anexo D, e com a “Correlação Cruzada Inter-Aural, IACC”, Anexo G, (CARVALHO; HENRIQUE; MORGADO, 1996) e são governados pelos sons tardios (BARROM, 2000).

### **2.5.7 Brilho (Brilliance)**

O brilho do som de um ambiente está relacionado ao destaque que propicia aos harmônicos superiores e da relativa queda do decaimento para estas frequências, sendo influenciado pelo intervalo de tempo existente entre a chegada do som direto e as primeiras reflexões e pela razão entre os tempos de reverberação de médias e altas frequências. Está também relacionado com a “Clareza” e a “Vivacidade”, que nas altas

freqüências também apresentam um som brilhante (FIGUEIREDO; IAZZETTA; MASIERO, 2002).

### **2.5.8 Timbre**

Do ponto de vista físico, o timbre está relacionado com a freqüência fundamental e a intensidade dos harmônicos presentes em um determinado som. Para se entender melhor o seu significado: ele é o responsável por possibilitar a distinção entre um instrumento musical e outro, mesmo se estão executando a mesma nota. Como parâmetro subjetivo, a percepção do timbre depende do fator de audibilidade (loudness), entretanto, até o momento não há um parâmetro proposto que possa expressar bem esta percepção.

Segundo Malafaia e Tenenbaum (2000), muitos adjetivos são usados pelos músicos como: brilhante, escuro, pleno, vivo, aveludado, cristalino, quente ou claro na tentativa de descrever o timbre de voz ou de instrumentos musicais, sendo os mesmos empregados para descrever as características acústicas dos ambientes fechados.

Nos últimos cem anos, como visto nesta revisão, muitos estudos acústicos foram desenvolvidos. Muita evolução foi conseguida no tratamento da acústica de ambientes. Foi possível promover a redistribuição do som, contribuindo com a melhora das audibilidades em determinadas áreas, muitas vezes prejudicadas pelos projetos, outras vezes impostas pelas necessidades do próprio uso. Foi possível atenuar os efeitos prejudiciais das reflexões, com o uso de absorvedores sonoros, ou utilizando, de forma racional, a própria reflexão como reforço do som direto, para favorecer o ouvinte que se encontra mais distante da fonte.

Com a evolução tecnológica dos equipamentos de medição, foi possível conhecer e conceituar melhor o som, suas propriedades e suas características. Nas últimas duas décadas, com desenvolvimento de técnicas computacionais, teve-se a

oportunidade de aprofundar ainda mais a análise dos espectros sonoros, com a sua discriminação que pode chegar a pequeníssimas frações de tempo, e com isso tirar conclusões que no passado seriam absolutamente impossíveis, tendo em vista a melhoria da capacidade de análise.

Com o uso de técnicas de excitação de sinais como MLS (Maximum Length Sequence), Varredura de Senos (Sweep), pode-se obter por meio da Resposta Impulsiva uma verdadeira radiografia do ambiente. Com um número expressivo de informações materializadas em índices objetivos que vão além do tradicional Tempo de Reverberação, para uma avaliação mais completa da acústica dos ambientes, que mesmo não refletindo o consenso atual dos pesquisadores, apresentam excelentes condições de aplicabilidade.

O que torna o estudo da acústica ainda mais fascinante é que, ao contrário das demais áreas do conhecimento, ela possibilita o encontro, ou mais, o entrelaçamento entre a ciência e a arte.

## CAPÍTULO 3

### AS IGREJAS SETECENTISTAS DE MINAS GERAIS

*“Todas as mãos podem trazer-lhe contribuições,  
todas as sensibilidades podem dar-lhe uma interpretação,  
todas as forças do homem e do grupo encontram maneira de  
exprimir-se através dessa linguagem poderosa.*

*Haverá nas igrejas de Ouro Preto,  
um barroco culto,  
um baixo barroco ou barroco bárbaro,  
mas a língua é uma só e a mesma,  
e suas variações ali vivem lado a lado.*

*A mensagem pois não se perderá.”*

*Lourival Gomes Machado citado por Salles (1999)*

### 3.1 Considerações Gerais

Neste capítulo são apresentadas igrejas construídas no século XVIII, no Estado de Minas Gerais e que são os objetos de estudos relativos as características arquitetônicas e acústicas deste trabalho, para que se formem conceitos sobre estas edificações, dada a importância histórica e arquitetônica que representam, tanto para o Brasil quanto para o mundo,

Para Mourão (1986), foi por causa da exploração do ouro e do diamante que a antiga Capitania das Minas Gerais adquiriu um aspecto muito particular e que foi moldando, com o passar do tempo, por meio das criações artísticas e arquitetônicas, a vida social dos mineiros, principalmente as de caráter religioso. Mesmo em face do período conturbado pelas aventuras na busca de riquezas, foi o signo da religião, que apesar dos pesares, conseguiu predominar e unir. Esta tem sido a lição extraída das igrejas e capelas dos antigos núcleos que foram tomando forma às margens das lavras e dos garimpos, nas suas arquiteturas, esculturas e pinturas. Nestas manifestações artísticas resplandece o estilo que marcou este século em que a mineração atingiu seu ponto mais alto: o barroco-rococó trazido de Portugal e colocado em prática com pequenas adaptações próprias do local, na época.

Poucas são as construções civis legadas pelo ciclo do ouro e dos diamantes, embora existam algumas de elevado valor e importância. Por outro lado, há inúmeros monumentos de utilidade pública, edificados nesta grande época, como chafarizes e pontos com suas cruces e conversadeiras. Mas sem dúvida, a grande riqueza arquitetônica é mesmo das igrejas onde se destacam os gênios de Athaíde e Aleijadinho.

O Barroco, estilo de arquitetura originado na Itália, é caracterizado pelo desenvolvimento e aplicação de formas artísticas irregulares. Compreende a maior parte da produção artística ocidental entre meados do século XVI e final do século XVII, período posterior ao Renascimento e anterior ao neoclassicismo. Chegou ao Brasil

cerca de um século após, tendo atingido seu auge nas primeiras décadas de 1700. Sendo introduzido cerca de cinquenta anos antes no nordeste brasileiro.

O seu desenvolvimento na Europa se deu sob a proteção do absolutismo, em que na sua ornamentação exagerada, tinha como objetivo impressionar e mostrar a majestade do poder elevada ao máximo. Este estilo encontrou aqui o seu suporte, no regime colonial, sob a casa reinante dos Bragança, durante o século XVIII e início do XIX, quando entrou em declínio antes mesmo da Independência do Brasil.

Por outro lado Salles (1999) contesta esta tese afirmando que ao se admitir a necessidade de expressar o poderio do estado absoluto, o barroco seria como uma vertigem alucinatória, não uma arte racional e, portanto, de fácil apreensão pelo observador, mas antes, uma arte feita para estarrecer a todos. De qualquer maneira a igreja estava ligada ao estado absolutista português, assim polarizando a vida comunitária da colônia desde o início de seu domínio.

As formações das irmandades religiosas foram estimuladas pela coroa, com o objetivo principal de repassar ao povo as despesas com as construções das igrejas. Estas corporações espelhadas nas que existiram na Europa na idade média, foram responsáveis pela construção das matrizes e capelas em todo Estado de Minas Gerais, não tendo sido edificadas como as do litoral, pelas ordens religiosas Jesuítas e Carmelitas. Foi exatamente o povo, por meio de doações às irmandades, que fornecia os fundos necessários para a realização das obras e contratações dos especialistas. Não vieram projetos do exterior para essas igrejas, a não ser em casos absolutamente excepcionais e no início do século.

O processo de construção se deu da seguinte forma: os primeiros povoadores se organizavam, escolhendo dentre a população os homens de bons costumes, para formar uma Irmandade, como por exemplo: a Irmandade do Santíssimo Sacramento, que era responsável pela construção de matrizes. Na medida que iam surgindo novos agrupamentos, eram criadas novas irmandades. Estas Irmandades foram responsáveis

pelos primeiros conflitos entre a população, motivo este, que as levou a abandonarem as construções das matrizes e partirem para as construções de capelas espalhadas por todos os lugares da comunidade, marcando e influenciando o barroco das igrejas de Minas.

Foi por meio do processo social estimulado pelas irmandades, tais como os choques de idéias entre os grupos, que refletiram de maneira efetiva em seus valores estéticos. As peculiaridades da arquitetura dos templos mineiros foram surgindo, dando origem à construção de algumas obras-primas, que se consolidaram ao longo do tempo. Na medida do desenvolvimento da exploração mineral surgem grupos de pardos, originários da mestiçagem entre portugueses e escravas, ou índios com brancos, dando origem às irmandades dos pardos e dos pretos nativos, e dos crioulos. A partir daí surgem as Ordens Terceiras, formadas pela classe que possuía o melhor status à época, a dos comerciantes, por volta de 1750.

Tão logo surgia um simples aglomerado de pessoas, dava-se início a edificação da capela que normalmente o próprio líder e descobridor do local encarregava-se de sua construção. Era de taipa e sapé, em forma de quadrado ou retângulo, figura 3.1.1, cumeeira duas águas. Não tinha torre nem janelas.

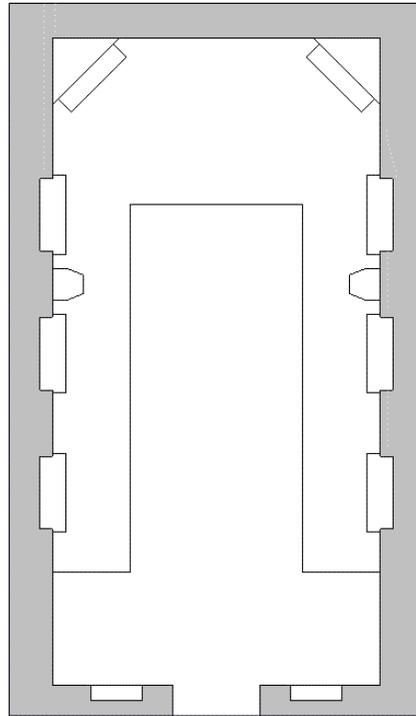


Figura 3.1.1 – Primeira fase da edificação da igreja.

Logo a seguir, cuidava-se de construir uma capela que fosse um pouco melhor. Ampliava-se o quadrado ou o retângulo, com o altar mor ao fundo e uma torre lateral ou central ilustrado na figura 3.1.2.

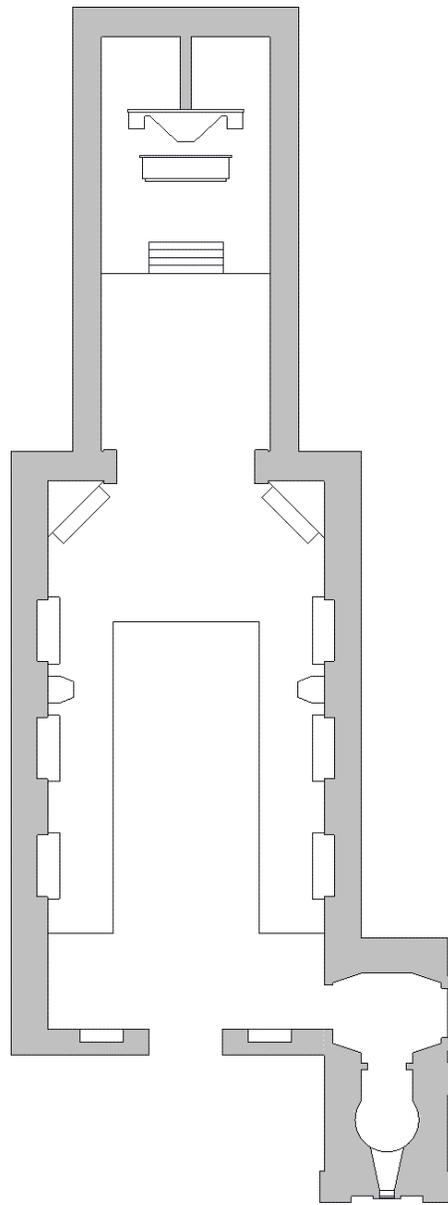


Figura 3.1.2 – Segunda fase da edificação da igreja.

Na seqüência, a edificação evoluía ganhando mais três partes, que são características fundamentais de tais construções: a nave, com o aumento de grandes paredes laterais, a capela mor e a sacristia, atrás do altar mor, como mostra a figura 3.1.3. Surgia então, os dois corredores laterais que levam à sacristia ou ao consistório. Supõe-se que estes espaços estejam relacionados à própria existência das irmandades, uma vez que elas precisavam de locais para as suas respectivas reuniões.

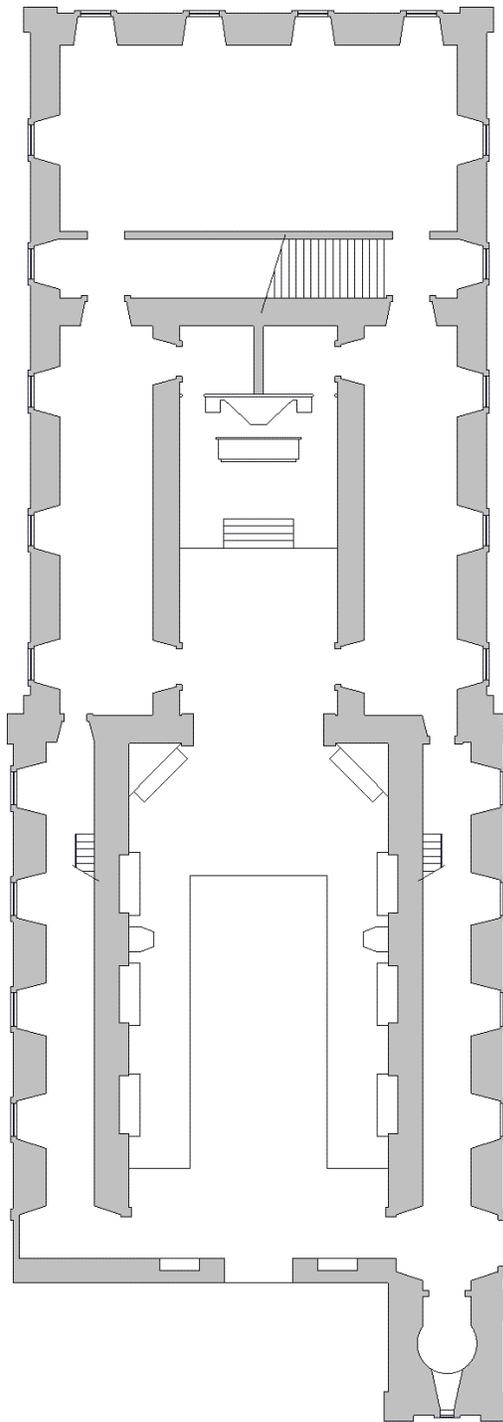


Figura 3.1.3 – Terceira fase da edificação da igreja.

Finalmente retirava-se a primeira cobertura e construía-se uma nova parede frontal, figura 3.1.4, cobria-se com um novo e grande telhado definitivo (SALLES, 1999).

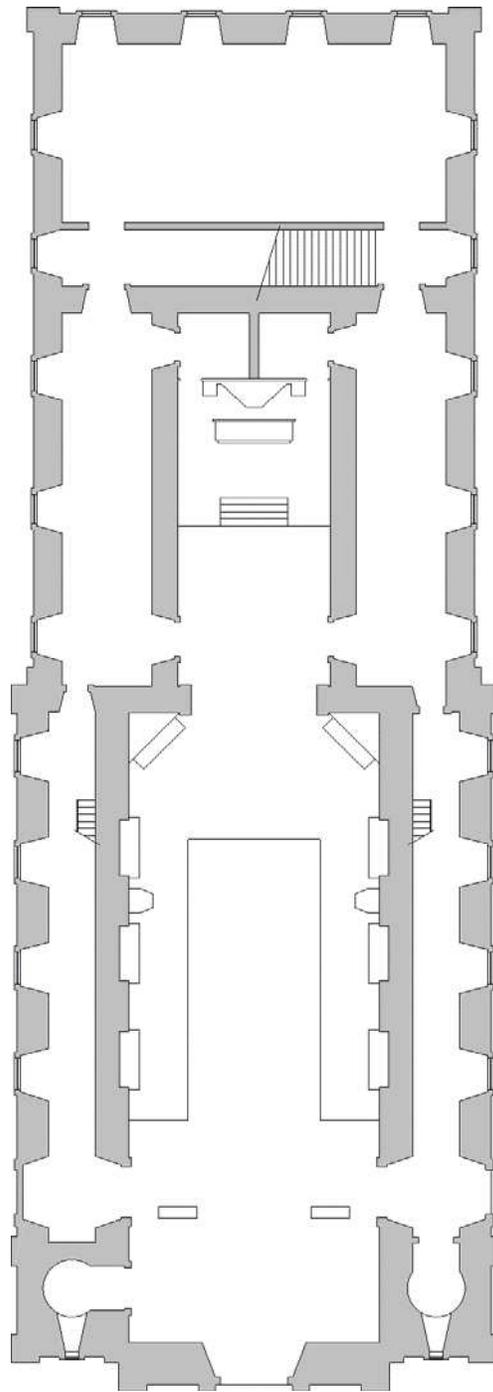


Figura 3.1.4 – Quarta e última fase da edificação da igreja.

Para Mourão (1986) o barroco jesuítico brasileiro pode ser dividido em quatro fases bem distintas:

A primeira fase é constituída por altares de retábulos altos, com vários painéis, com ornamentos de influência renascentista, que não chegou a Minas, porém tendo deixado magníficos exemplares no Nordeste.

A segunda fase, construída nos primeiros anos de 1700, constituindo a Antigüidade mineira, é considerada a mais bela do estilo barroco, classificada por Lúcio Costa (Apud SALLES, 1999) como pertencente ao período românico, sendo caracterizado por um retábulo provido de curvas concêntricas ornamentado com motivos fitomorfos e zoomorfos de cor dourada, formando um conjunto harmonioso, como exemplo tem-se a Catedral de Mariana (1713).

A terceira fase, classificada por Lúcio Costa (Apud SALLES, 1999) como pertencente ao período gótico, é caracterizada pela colocação de um dossel, no alto do retábulo, pode-se citar como exemplo desta fase as Matrizes de Santo Antônio de Tiradentes (1733) e Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto (1731), Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei (1738).

Na quarta fase do barroco brasileiro classificado por Lúcio Costa (Apud SALLES, 1999), como pertencente ao período renascentista, o retábulo é modificado com o desaparecimento do dossel, entretanto a harmonia surge em um tipo mais claro e mais simples por meio das mãos do notável artista mineiro Antônio Francisco Lisboa, o “Aleijadinho”.

Há muitos escritos sobre estas antigas construções por muito tempo desconhecidas e entregues à consumição do abandono ou pelas modificações realizadas pela ignorância. Entretanto, há muito que se estudar e dizer sobre elas. É por este motivo que desperta interesse em cada novo estudo que surge a seu respeito.

Deste modo, pode-se notar a complexidade que envolve as construções destes templos, tanto do ponto de vista histórico, como da evolução arquitetônica. Tendo em vista que se deu na maioria dos casos, ao longo de várias décadas, e em muitos

atravessando diversas fases, tendo como motivo principal, a falta de recursos, uma vez que sua viabilização se deu com pequenas contribuições. Sabe-se que a existência das irmandades era mantida mediante o recebimento de esmolas advindas da população já exaurida pelas altas taxas criadas pela coroa. Desta forma, pode-se constatar e avaliar a importância da fascinante história da arquitetura das igrejas mineiras.

Assim sendo, pretende-se com este trabalho, lançar luzes sobre uma questão ainda não estudada a respeito destes tão importantes edifícios, fazendo um estudo relacionando suas características arquitetônicas e suas qualidades acústicas, procurando extrair deste, conhecimentos que possam ser aplicados a novas construções.



### **3.2.1 Catedral de Mariana.**

A Sé de Marina, além de ser um dos mais antigos, é também um dos mais belos templos mineiros. Sua história nasceu da primitiva capela da Conceição, fundada em 1703 pelo capitão Antônio Pereira Machado. Até esta data, apenas duas modestas capelas existiam no antigo arraial: a Capela de Nossa Senhora do Carmo, erguida pelo descobridor Salvador Fernandes Furtado e a Capela da Conceição, construída pelo português Antônio Pereira Machado. A primeira, por ser a mais antiga e a padroeira, tomou desde logo a qualidade de Matriz. Entretanto, com a criação da Vila do Carmo em 1712 e a determinação da Coroa para que se erigisse uma matriz, optou-se pela Capela da Conceição por estar situada em local mais acessível, atendendo com maior facilidade às necessidades da população. Em 1713, teve início às obras de construção no mesmo local da primitiva capela, tendo sido aproveitada para a sacristia, a capela existente. Foi encarregado da construção, o mestre Jacinto Barbosa Lopes. Em 1716 as obras já estavam bastante adiantadas, tendo em vista que os oficiais da Câmara Municipal enviaram ao construtor um ofício solicitando o término das obras. Essa primeira obra foi concluída por volta de 1718. O que se concluiu, entretanto, por essa época, não foi o edifício tão completo como se vê hoje, mas apenas o da Matriz propriamente dita, que estava naquela época sob a direção da Irmandade do Santíssimo Sacramento, e cujas obras, nem mesmo em 1745 estariam ainda finalizadas. Em 1734, a igreja, construída em madeira e taipa, apresentava estado físico precário. Deste modo, foram necessárias diversas obras importantes de reforma e reestruturação, compreendidos de uma série de trabalhos na nave, fachada e torres, que foram no mesmo ano arrematadas pelo mestre Antônio Coelho da Fonseca (IPHAN, 2004h: VASCONCELOS, 1938).

No seu aspecto exterior, com predominância de linhas horizontais, esta igreja nada apresenta de grandioso. Obra toda executada de taipa, como se usava na época, de linhas simples, com suas paredes mal acabadas e fora do prumo, possivelmente em função da má qualidade do solo da região, telhado deselegante, com uma fachada comum e totalmente despida de ornamentos, apenas o que se tem a admirar é a

imponência de suas duas torres de seção quadrada com seus sinos, tendo uma delas um relógio. No frontão há um grande óculo envidraçado de forma especial, também com predominância de linhas horizontais (VASCONCELLOS, 1938).

Na fachada, há duas sacadas e janela central envidraçada, sendo os cunhais e colunas de pedra e embutidos nas paredes. A porta principal é larga e esculpida em forma de almofadas. Na parte inferior das torres, há seteiras, como mostra a figura 3.2.2 (MOURÃO, 1986).



Figura 3.2.2 – Fachada da Catedral de Mariana.

A Sé de Mariana apresenta uma planta em formato diferenciado, pois sua nave principal é limitada por duas naves laterais, encimadas por tribunas, enquanto que a capela-mor é cercada por corredores sem tribunas, figura 3.2.3.

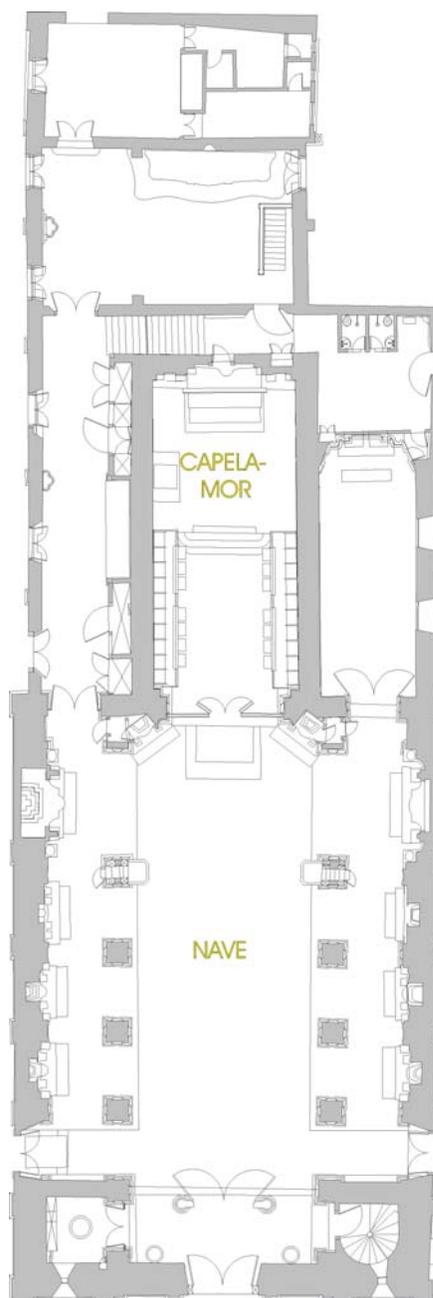


Figura 3.2.3 – Planta baixa da Catedral de Mariana. Fonte: adaptado de Santos (1951).

A decoração arquitetônica da igreja apresenta vários estágios bem distintos. Sendo que em uma primeira fase, os pilares e os arcos foram revestidos com painéis de madeira lisa, aos moldes da ordem de arquitetura toscana com cornijas salientes.

Quando a matriz foi elevada à categoria de catedral para abrigar a sede episcopal, quiseram tornar mais rico o santuário. Deste modo, a capela-mor foi dividida em dois trechos por consolos decorados ao estilo da ordem compósita, que servem para sustentar duas cúpulas de madeira, sobre as quais foram pintados quatro santos (BAZIN, 1956).

O teto da capela-mor tem uma pintura representando detalhes de arquitetura, em perspectiva, mostrando personalidades da época, figura 3.2.4. Na parte inferior da capela existem assentos destinados aos membros da corporação dos cônegos da catedral, e no pavimento, há lápides de sepulturas de alguns arcebispos falecidos, com seus respectivos nomes. Os altares laterais e o púlpito são ornamentados com a cobertura em dossel.



Figura 3.2.4 – Teto da Capela-mor da Catedral de Mariana.

Certamente a Catedral de Mariana é uma das mais ricas e importantes igrejas de Minas. Entretanto não é a mais bela. O seu altar-mor não é em estilo puro do barroco

mineiro, uma vez que em sua decoração nota-se os estilos de várias épocas, confirmando a tese de que desde o início de sua construção houve diversos problemas estruturais, o que levou a necessidade de praticamente construir uma nova igreja sobre a que já existia. Mas, sem dúvida, a importância histórica desta catedral é a de ter sido a primeira de Minas Gerais (MOURÃO, 1986).

A tabela 3.2.1 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos e larguras, alturas e áreas relativas à Catedral de Mariana, para posterior análise.

Tabela 3.2.1 – Medidas da Catedral de Mariana.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	21,12	16,40	13,45	341,00
Coro	3,44	9,33	7,05	31,00
Capela-mor + arco	15,30	6,47	11,00	101,25
<b>TOTAL</b>				<b>473,25</b>

### 3.2.2 Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.

Foi por iniciativa tomada pela Irmandade do Santíssimo Sacramento que teve início a construção da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, documentada por meio da licença de construção datada de 12 de setembro de 1721, que teve como finalidade a substituição da antiga e primitiva Capela do Pilar, construída no local chamado de Morro da Força, que havia sido incendiada alguns anos antes, durante a Guerra dos Emboabas. Reconstruída no mesmo local da primitiva capela, em setembro de 1732 já se achavam concluídas as paredes principais, os portais, altares e a capela-mor. No mesmo ano vieram de Portugal, ouro em folha, gessos, óleos, tintas e mais ornamentos destinados à aplicação na capela-mor, além dos dois painéis a "Mesa do Senhor" e "O Senhor na Casa do Fariseu", que lá se encontram. Segundo consta, no mesmo período faltava forrar a igreja, além da instalação de iluminação, torre e sinos.

No ano de 1750, a edificação já se encontrava praticamente concluída e ornada (BASIN, 1956; IPHAN, 2004i).

Por outro lado, Mourão (1986), afirma que o início da construção, tanto desta igreja como muitas outras de Minas Gerais, iniciadas nos princípios do século XVIII, continua sendo um enigma. Mas que alguns autores citam, sem apresentar nenhuma documentação confiável, que seu início se deu por voltas de 1703. O que contradiz documentação fornecida pelo IPHAN. De qualquer modo, é provado por documentação convincente que em 1738 os trabalhos da capela-mor estavam prontos, bem como os altares laterais. Por circunstâncias das dificuldades da época, os antigos construtores preferiam concluir primeiro as partes fundamentais ao funcionamento da igreja, deixando os acessórios para quando fosse possível e viável.

No início do século XIX, a Irmandade decidiu ampliar o corpo da igreja, tendo em vista o crescimento da cidade, na época ainda vila, portanto, em atendimento ao crescimento do número de usuários. O projeto da nova fachada foi idealizado em 1817 pelo mestre Manoel Victor de Jesus, que substituiu a fachada primeira projetada por Francisco de Lima Cerqueira. Entre os anos de 1850 a 1863, foram concluídos vários trabalhos da igreja, como o forro, assoalho, pintura do coro, e paredes da sacristia. O forro da nave é datado de princípios do século XIX, tendo sido pintado por um artista local, o qual se desconhece o nome. O edifício é todo construído em alvenaria de pedra, dentro da linha neoclássica. Há em sua entrada um pequeno adro pavimentado de pedra, acessível por escadaria e fechado por grades de ferro, com pilastras de cantaria e portão abrindo no eixo da porta central de entrada. Diferente das demais igrejas, sua fachada é composta por cinco portas de entrada, sendo a central mais larga e mais alta, cinco janelas abertas ao nível do coro com balcões e guarda-corpo de ferro. Todos os vãos de portas são em verga arqueadas. O corpo central é sustentado por pilastras que sobem até o enquadramento acima do qual surge um frontão triangular. No vértice superior do frontão eleva-se uma cruz. As torres possuem seção quadrada, e são arrematadas por cúpulas em forma de pirâmide, como mostra a figura 3.2.5. (IPHAN, 2004i).



Figura 3.2.5 – Fachada da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.

Esta igreja, ao contrário das demais construídas em sua época, no lugar dos corredores laterais possui cômodos para diversos usos, que se estendem das torres frontais até a sacristia localizada em seus fundos. A área destinada à prática religiosa é dividida em três partes: o coro, localizado sobre a portada da entrada principal, a nave destinada a maior parte do público e a capela-mor, onde está localizado o altar, figura 3.2.6.

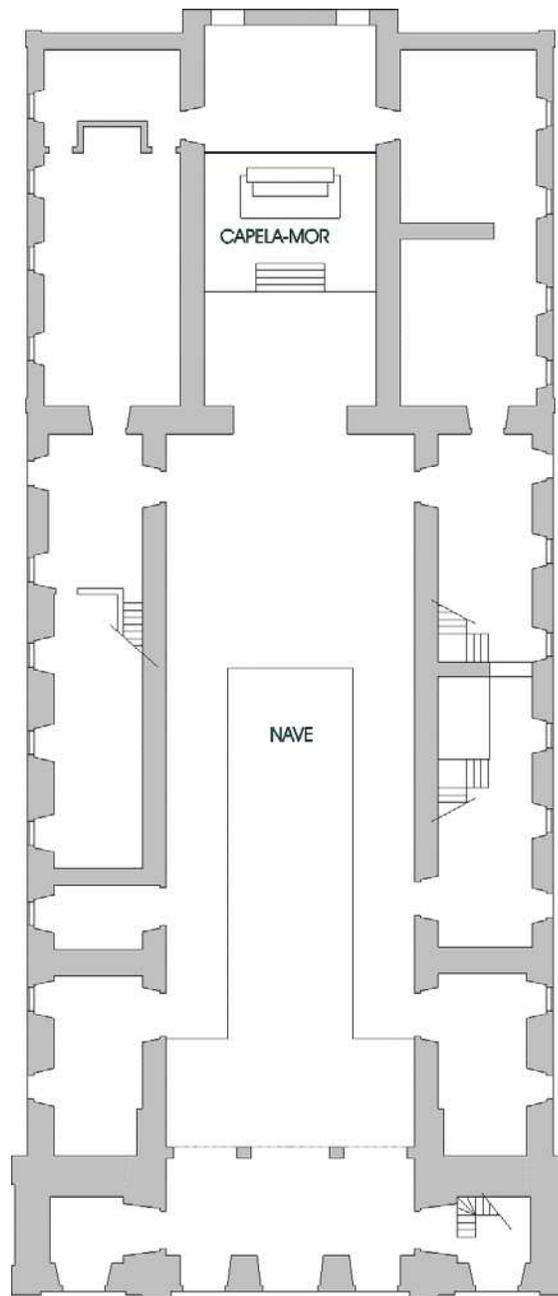


Figura 3.2.6 – Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei.

Fonte: Adaptado de Sampaio (1952).

A parte interna desta igreja é constituída por um dos mais expressivos exemplares do barroco mineiro pela quantidade de talhas douradas, principalmente na capela-mor, onde a harmonia do trabalho impressiona pela riqueza e complexidade de sua ornamentação, como mostra a figura 3.2.7.

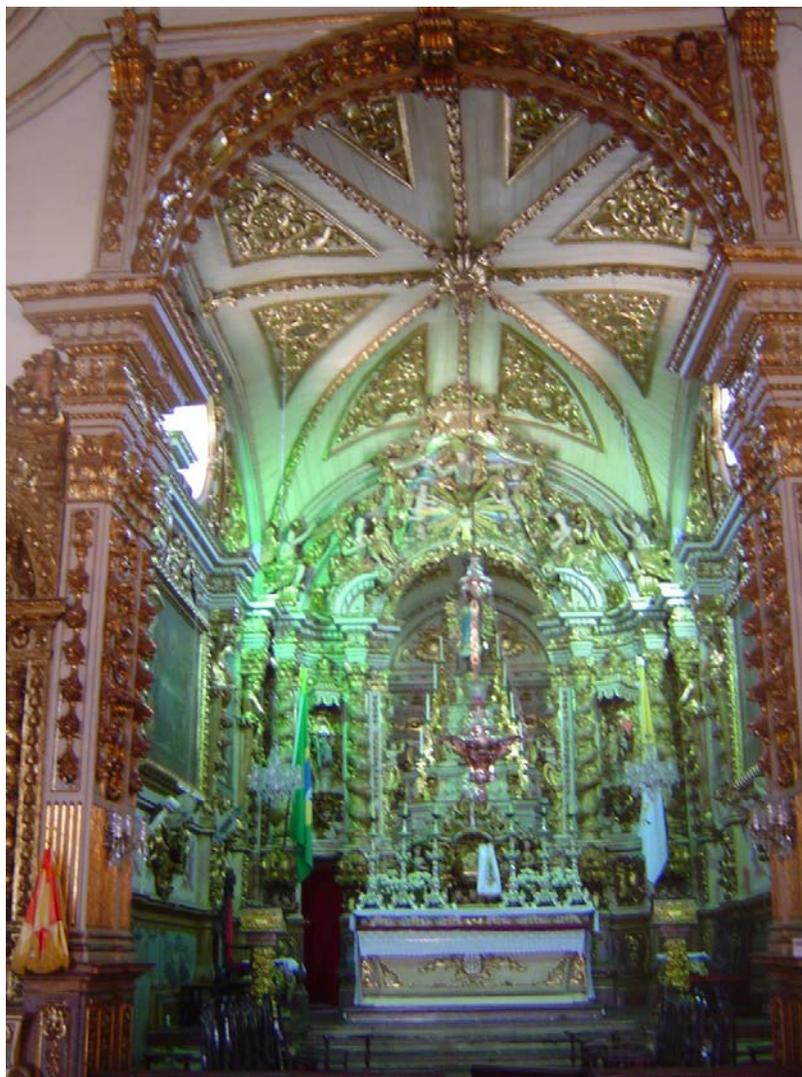


Figura 3.2.7 – Interior da capela-mor da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei.

O forro da capela-mor é em forma de cúpula sobre pendentes, com as arestas marcadas por molduras trabalhadas e os panos da abóbada com painéis ornamentados. As colunas são ornadas com motivos fitomorfos, em espiral, terminando em uma viga em forma de arco que se prolonga pelas paredes laterais, onde se vê de cada lado um painel e um óculo.

Há por toda parte, esculturas de tipos variados e sete altares laterais, construídos no mesmo estilo do altar mor, onde pende na parte superior de cada um deles uma lâmpada de prata.

Todo forro da nave, construído em arco abatido sobre a cimalha e as paredes laterais são decorados com pinturas representando cenas diversas, figura 3.2.8. Os púlpitos, colocados entre os altares laterais, apresentam talha dourada e cada um é coberto por um dossel. Protegendo a porta principal, há um amplo tapa-vento de madeira envidraçado. Sobre este aparece o coro que é protegido por um guarda-corpo de ferro batido, que possivelmente substitui um antigo construído em balaústres de madeira, como eram encontrados na época (MOURÃO, 1986).



Figura 3.2.8 – Teto da nave da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei.

A tabela 3.2.2 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, para posterior análise.

Tabela 3.2.2 – Tabela 3.2.2 – Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora de Pilar de São João Del Rei. Fonte: SAMPAIO, 1952.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	30,00	10,50	11,20	315,00
Coro	4,60	10,50	6,90	48,30
Capela-mor + arco	10,65	4,30	10,00	83,70
<b>TOTAL</b>				<b>447,00</b>

### 3.2.3 Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto

Não se pode afirmar com toda exatidão a data do início da construção da Matriz de Nossa Senhora da Conceição, pois não existe documentação que ateste este evento, uma vez que ela é considerada uma das mais antigas. Sabe-se que ela teve sua origem em uma capela primitiva construída por Antônio Dias em 1699. Em 1727 inicia-se a nova construção que se prolonga por várias décadas (SALLES, 1999).

Mourão (1986) concorda com a origem da matriz afirmando que ela foi sucessora de um templo primitivo de construção frágil e que estava por ruir, o que motivou a sua reforma e ampliação, e considera como data inicial o ano de 1729, tendo em vista que a primeira referência à construção da atual matriz vem do referido ano, em que constam “obras da nova igreja”, na documentação levantada. Afirma ainda que esta igreja é uma das que se podem citar como tendo levado mais de um século para ser concluída, pois há registro de que sua construção se estendeu de 1727 a 1770, com importantes reformas no século seguinte como constatado em pesquisas realizadas nos arquivos públicos de Minas.

No início da construção foi encarregado de executá-la o empreiteiro Manuel Francisco Lisboa, pai de Aleijadinho. Trabalharam também dois artistas: o pintor José Martins e o dourador Manuel Gonçalves (IPHAN, 2004c).

Esta igreja é servida de dois corredores laterais que se estendem das torres na parte frontal até a sacristia localizada em seus fundos. A área destinada à prática religiosa é dividida em três partes: o coro, localizado sobre a portada de entrada, a nave destinada a maior parte do público e a capela-mor, onde está localizado o altar, figura 3.2.9.

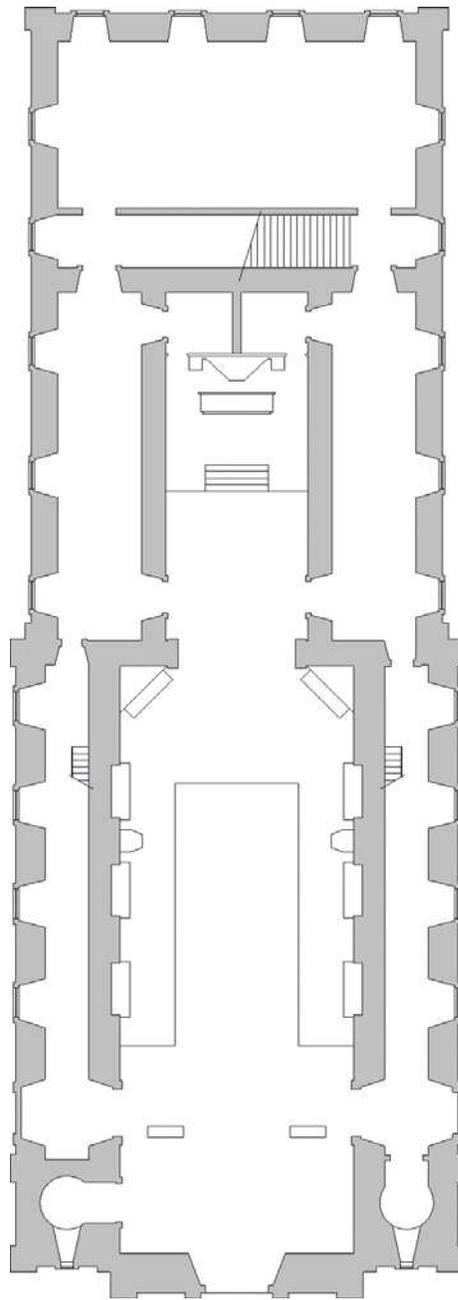


Figura 3.2.9 – Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias, Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Sampaio (1948).

Esta Matriz se destaca pela suas duas torres altas e frontão também muito elevado, decorado por desenhos curvos terminados em espiral, encimado por uma grande cruz com resplendores, apoiada sobre o crescente e acompanhada em seus flancos por dois ornamentos em formato cônico. A cimalha superior que separa as

torres da parte inferior da igreja dá espaço a um semicírculo formado pelo movimento da parte inferior, onde se destaca um óculo envidraçado, estilizado em forma de cruz. O acabamento da cimalha, as pilastras aparentes da fachada, as guarnições da porta, as quatro janelas envidraçadas e as duas sacadas, os ornatos barrocos que ficam sobre a portada, foram construídas de pedra de cantaria como mostra a figura 3.2.10.



Figura 3.2.10 – Fachada da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.

Em seu interior há uma quantidade expressiva de ornatos constituídos por abundantes esculturas, talhas douradas e diversas pinturas com motivos vários como

folhas e frutos de videira, espigas de trigo, flores, além de animais simbólicos como: a águia, a pomba, o cordeiro e o pelicano.

No retábulo do altar mor pode-se ver sobre o trono, um arco interrompido, com as extremidades superiores enroladas, ficando entre estas, o dossel cujas extremidades são presas por anjos. Acima há um pelicano cercado de anjos e coberto pela coroa real, que são suportados por colunas torsas, que são ornamentadas com motivos florais. A partir daí surge uma arquitrave que se prolonga pela lateral de toda a capela-mor. Sobre o trono que fica em um plano elevado é colocada imagem de Nossa Senhora da Conceição, que é cercada de anjos. Por todo o teto da capela-mor há uma moldura talhada onde são pintados santos e símbolos.

Ainda na capela-mor há tribunas que são alternadas com painéis de santos e cercadas de guarda-corpo provido de balaústres. Da mesma forma, essas tribunas surgem na nave sobre os altares laterais, que são também decorados como o altar-mor com um número expressivo de anjos, em variadas posições, guarnecidos de símbolos e ornatos, onde quase todos são encimados por um dossel de formas variadas, figura 3.2.11.



Figura 3.2.11 – Interior da Capela-mor da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.

Apesar de possuir uma certa variedade dos diversos altares, e um contraste existente entre o teto da nave, que é totalmente desprovido de pinturas, e a riqueza de detalhes do teto da capela-mor, esta igreja tem uma aparente uniformidade em sua decoração, onde se pode notar um estilo comum.

A tabela 3.2.3 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas a esta igreja, para posterior análise.

Tabela 3.2.3 – Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto. Fonte: SAMPAIO, 1948.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	20,97	10,60	15,05	222,28
Coro	5,80	10,60	8,65	61,48
Capela-mor + arco	12,97	6,46	11,02	89,24
<b>TOTAL</b>				<b>373,00</b>

### 3.2.4 Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto

Tendo em vista a sua situação histórica na cidade, o valor em termos de arte, e o alto custo de sua luxuosa construção, a Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto é uma das igrejas mais importantes do Estado de Minas Gerais. A expressão da realce exteriorizada em sua edificação demonstra a forma como seus construtores e idealizadores procuravam cultuar a grandeza divina por meio de pompas e esplendores do Triunfo Eucarístico que caracterizava uma época o reflexo do sentimento do início de 1700 (MOURÃO, 1986).

Esta Matriz foi inaugurada em 1733, com os requintados festejos do Triunfo Eucarísticos, ensejando acontecimento singular e raro na vida de Ouro Preto, tendo sido sucessora de uma capela primitiva edificada por volta de 1711. Foi construída com uma impressionante rapidez para o período colonial, uma vez que se conhecem casos de igrejas que levaram cerca de um século para ficarem prontas, pois que esta região de Ouro Preto. Foi elevada a qualidade de Paróquia em 1724, no tempo da capela primitiva, onde somente em 1730 teve início a obra da igreja nova, deste modo pode-se avaliar o quão rápida foi a sua construção (IPHAN, 2004b).

Por outro lado, Salles (1999) afirma que a construção desta Matriz teve diversas interrupções e em várias épocas, motivo pelo qual se podem observar as alterações no

conjunto de seus aspectos, pois há registros de obra em 1736 com a colocação de grades e serviços na mesa da comunhão e no coro. Tirapelli (1952) afirma que a obra do coro foi concluída em 1746, por José Pinto de Souza, em 1737, serviços no púlpito e escadas executados por José Martins Lisboa, em 1740, serviços nos altar de São José e em 1741 aumento da capela-mor. Entretanto a sua maior importância decorre da qualidade de seus entalhes que reveste toda a nave e a capela-mor, constituindo o mais belo e harmônico do barroco de Minas, e que foram realizados pelo artista Francisco Xavier de Brito, que era vinculado a Ordem Terceira da Paciência, do Rio de Janeiro.

Seu projeto foi idealizado pelo Engenheiro Pedro Gomes Chaves, figura de relevo da época, tendo sido considerado o primeiro profissional formado a chegar a Minas Gerais. Esta igreja é servida de dois corredores laterais que se estendem das portas de acesso laterais até a sacristia localizada em seus fundos. A área destinada à prática religiosa é dividida em três partes: o coro, localizado sobre a portada da entrada principal, a nave destinada a maior parte do público e a capela-mor, onde está localizado o altar, figura 3.2.12. Foi construída de taipa e adobes. Processo construtivo que pode ser considerado precário e frágil, o que acarretou constantes reformas e reconstruções, que acabaram por desfigurar quase por completo o projeto inicial, ao longo de vários anos.

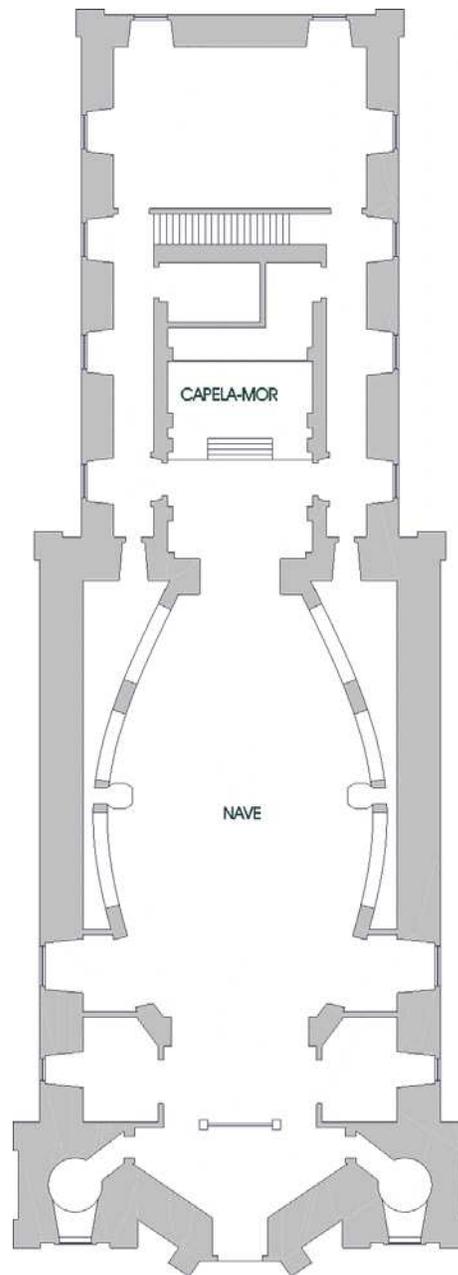


Figura 3.2.12 – Planta baixa da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, Ouro Preto. Fonte: Adaptado de SANTOS, 1951.

Era nesta Matriz que os governadores tomavam posse quando chegavam a Minas, fato que demonstra o quão importante eram esses templo para a sociedade da época, pois atendiam a vários eventos sociais pela falta de espaços adequados, estando profundamente ligadas à vida e ao crescimento da cidade. Tanto do ponto de vista político, como do social, artístico ou cultural.

A Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto é uma construção sólida, assim como as demais igrejas construídas neste período, têm paredes muito grossas, possuindo a parte central do frontispício saliente. As suas bases e colunas são de cantaria, bem como a guarnição de sua portada. O frontão movimentado com curvas terminando em cruz sobre o crescente, deixa claro o estilo barroco presente. Suas torres são quadrangulares, terminadas em cúpula de alvenaria ou cantaria. Na fachada há quatro sacadas e um óculo sobre a portada, figura 3.2.13.



Figura 3.2.13 – Fachada da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

Segundo Mourão (1986) o interior da Matriz revela uma certa incongruência com o que se sabe de sua história, pois o estilo dos altares não parece ter sido concebido nas primeiras décadas do século XVIII, como é apresentado em seu histórico, sobretudo, não está em consonância com o fato de já estar construída a parte principal da igreja no ano 1733, pois não possui nenhum altar do tipo arquivoltas do início deste século, curiosamente, e ao contrário, tem seu altar-mor em dossel, guarnecidos com muitas esculturas e complicados entalhes, mais característicos de meados deste século, figura 3.2.14.



Figura 3.2.14 – Capela-mor da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

Acima do altar-mor há uma representação em alto relevo da Santíssima Trindade. Guarnecendo o arco do trono surgem consolos em lugar de colunas. Depois dos nichos, colunas torsas sustentam a arquitrave superior. Na capela-mor pode-se encontrar também as tribunas gradeadas.

Os púlpitos são providos de esculturas e os altares laterais são do tipo de dossel, possuindo um número expressivo de esculturas em talhas douradas, sendo o teto decorado com pinturas em painéis e a mesa da comunhão ornada e sustentada por balaústres torneados de madeira preta.

A tabela 3.2.4 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar, para posterior análise.

Tabela 3.2.4 – Medidas da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	19,51	12,33	11,59	199,09
Coro	9,26	7,10	6,98	70,65
Capela-mor + arco	9,11	6,73	10,28	67,26
<b>TOTAL</b>				<b>337,00</b>

### 3.2.5 Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

Não há nenhuma documentação a respeito da Matriz de Santo Antônio da Vila de São José do Rio das Mortes (hoje chamada de Tiradentes) que possa afirmar com precisão a data de início de sua construção, ou mesmo de sua inauguração, existindo apenas no arquivo do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) simples menção, sem uma fonte de referência sólida, que esta igreja tenha sido erguida

no início do século XVIII e que foi feita uma ampliação da extensão longitudinal da nave no ano de 1736, onde aparecem diversos pagamentos a profissionais como João de Faria, João da Ponte e Nicolau de Souza. As obras prosseguiram ao longo deste século, e incluíram os consistórios e sacristias que circundam a nave e a capela-mor. Consta ainda da documentação do IPHAN, folha avulsa de um registro de receita e despesa da confraria responsável pela edificação, que Aleijadinho recebeu em 1810, da Irmandade do Santíssimo Sacramento, um pagamento de 10 oitavas de ouro pelo projeto da parte superior da fachada, que foi demolida e reconstruída uma nova composta por frontão com curvas barrocas e ornatos terminados em cruz (BAZIN, 1956; MOURÃO, 1986; TIRAPELI, 1952).

Esta Matriz é uma das igrejas mais impressionantes de Minas pela sua imponência e esplendor, tanto pelos trabalhos artísticos desenvolvidos em seu interior, como pela harmonia arquitetônica de sua fachada. Esta igreja foi colocada em uma posição de destaque com relação ao local escolhido para sua edificação, repousando sua estrutura sobre um amplo adro pavimentado em pedras irregulares, cercado de uma balaustrada que lhe dá uma aparente segurança, tendo em seu centro uma escadaria também executada em pedras, construídos pelo mestre-pedreiro Cláudio Pereira Viana por volta de 1813 (IPHAN, 2004a).

Situada em sítio elevado da cidade, apresenta planta em grande retângulo, com a divisão da nave, capela-mor e sacristia, figura 3.2.15. O adro é acessível por escadaria guarnecida por balaustradas de cantaria de pedra-sabão em três planos. Possui frontispício largo, onde se destaca a portada, de autoria do Aleijadinho, guarnecida de talha em pedra que se prolonga até o óculo circular envidraçado. As duas janelas laterais ao nível do coro têm peitoris fechados, dando aspecto de sacada, com balaustradas barrocas e cercaduras em pedra-sabão com cimalkhas movimentadas e ornamentadas. Os cunhais e pilastras são em cantaria terminando em cornija superior arqueada, com óculo no centro (IPHAN, 2004a).

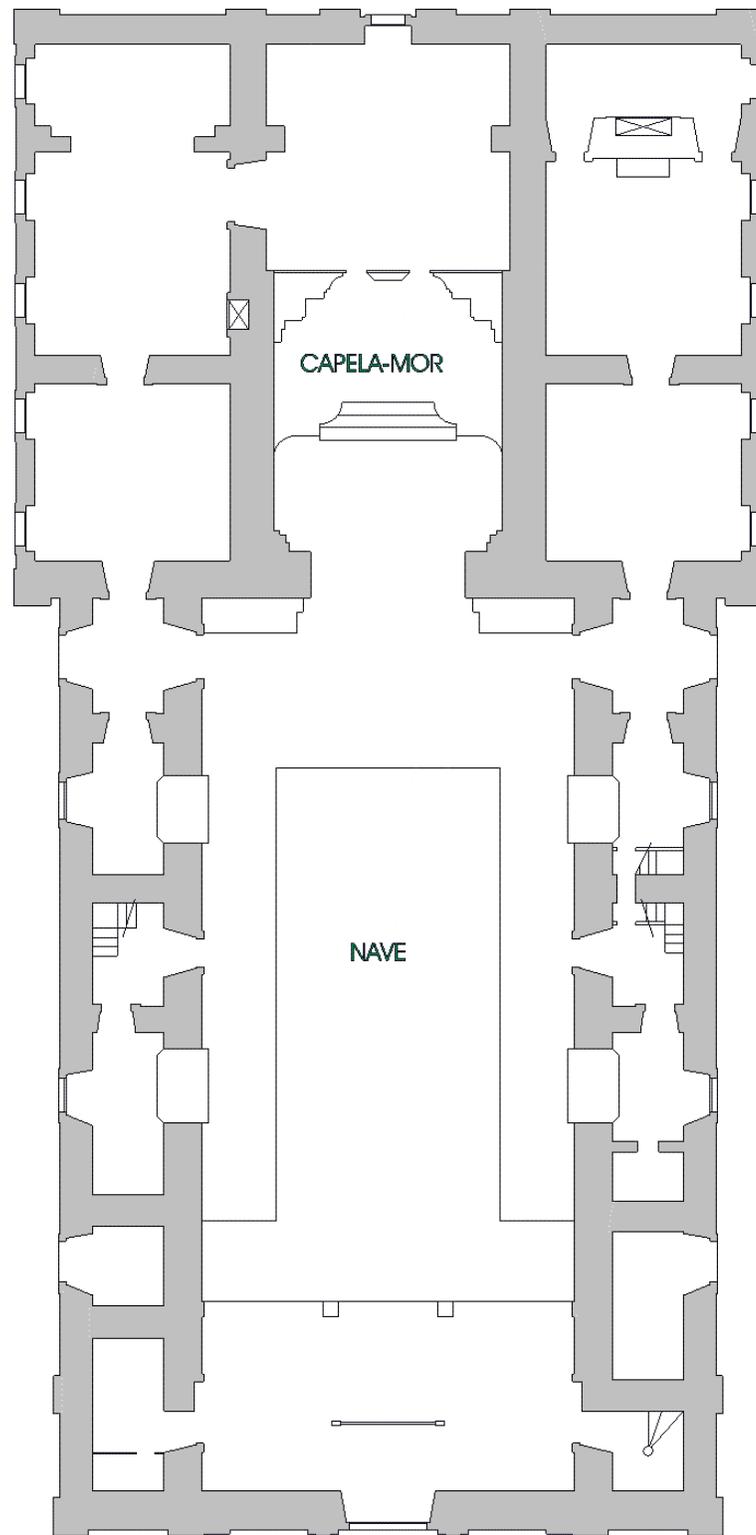


Figura 3.2.15 – Planta baixa da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte:  
Adaptado de: Sampaio (1995).

Do lado do frontão há duas torres proporcionais, possuindo cada uma um relógio, sendo limitado por curvas barrocas e outros ornamentos do mesmo estilo, como pode ser visto na figura 3.2.16.



Figura 3.2.16 – Fachada da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

Em seu interior pode-se destacar a suntuosidade do retábulo do altar-mor que é composto por quatro colunas de fustes trabalhados encimado por capiteis em estilo jônico que sustenta uma cornija branca que contrasta com o dourado do restante do retábulo. A cornija serve de apoio a quatro anjos. Sobre o trono há um dossel provido de um cortinado fixado de modo a deixar aparente o altar, onde é colocada a imagem de Santo Antônio. O teto da capela-mor é decorado com desenhos onde predominam elementos da flora estilizados. Na parte inferior do trono há uma balaustrada que, lateralmente é transformada em tribunas, onde são colocados anjos armados de lanças em atitude de guarda.

Em ambos os lados da capela-mor existem dois painéis ovais guarnecidos de molduras representando duas cenas bíblicas. Acima destes painéis, há de cada lado, um grande óculo envidraçado guarnecido de ornatos, 3.2.17.



Figura 3.2.17 – Lateral da capela-mor da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

O teto da nave é de caixotões totalmente decorados. Em suas laterais há altares de arquivoltas providos de dosséis, ornamentados em talhas douradas. Possui também um púlpito com acabamentos simples.

A balastrada inferior que separa a capela-mor e os altares laterais da nave da igreja é entalhada em madeira com desenhos diversos.

O coro tem pilastras muito trabalhadas, sendo sua parte superior ornamentado em forma de arco de flores. Sua balastrada é simples, pintada em cor branca e torneada (MOURÃO, 1986), figura 3.2.18.



Figura 3.2.18 – Coro e lateral da nave da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

A tabela 3.2.5 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes, para posterior análise.

Tabela 3.2.5 – Medidas da Igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte: SAMPAIO, 1995.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	22,80	12,00	12,00	273,60
Coro	6,15	12,00	3,90	73,80
Capela-mor + arco	9,05	7,40	10,90	72,60
<b>TOTAL</b>				420,00

### 3.2.6 Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.

A primeira manifestação em torno da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo foi à reunião realizada na capela dedicada a Santa Quitéria, situada no alto do morro que separava os arraiais de Ouro Preto e Antônio Dias, por membros da irmandade da Ordem do Carmo do Rio de Janeiro, que naquela época residiam em Vila Rica.

Em 1751, já constituídos como irmandade autônoma, e com sede naquela localidade, cogitaram-se da construção de seu próprio templo, cujo projeto foi desenvolvido por Manuel Francisco Lisboa, também membro da Ordem. Em 1756, foram iniciadas as obras de construção, tendo sido arrematada por José Pereira dos Santos, as quais foram interrompidas por diversas vezes, diante de desentendimentos com a Irmandade de Santa Quitéria, no que diz respeito às condições de cessão do terreno.

Nos arquivos da Ordem pode ser encontrada relação detalhada e uma cronologia das etapas de construção da Igreja do Carmo, bem como a relação das técnicas e materiais empregados, conforme definido em contrato, com o arrematante João Alves Viana.

Antes do início efetivo das obras de construção, foi necessário executar importantes trabalhos de terraplanagem, os quais, em 1767, achavam-se bastante adiantados, permitindo inclusive o levantamento dos alicerces da nova Igreja. Entre 1767 e 1769, João Alves Viana executou grande parte da obra de alvenaria comum e cantaria de portas e janelas. A construção, da mesma forma que outras, foi iniciada pela capela-mor, conservando-se provisoriamente a primitiva capela de Santa Quitéria para as necessidades do culto. Em 1769 concluíram-se os serviços de alvenaria da capela-mor e em 1771 o madeiramento e demais obras de carpintaria, quando provavelmente foi demolida a primitiva capela de Santa Quitéria. A construção da nave prolongou-se até 1779, época em que foi concluído seu madeiramento. Finalmente, em 1780, toda a parte arquitetônica foi concluída com a arrematação das obras de escultura do pórtico, lavatório da Sacristia e arcos do coro por Francisco de Lima Cerqueira (IPHAN, 2004f).

Esta igreja foi edificada em pleno período da terceira modalidade do barroco, isto é, desde a sétima década do século XVIII, até meados do século seguinte, portanto, no início do período de decadência do barroco. Apesar de ser uma igreja que se destaca pela sua imponência e de construção cara, não dá a impressão da grandiosidade e luxo dos templos construídos nas primeiras décadas daquele século. Contudo é uma igreja de grande importância para a história da arte colonial, principalmente por ter considerável contribuição dos grandes mestres Aleijadinho e Manuel da Costa Athaíde.

A capela está localizada no alto de uma ladeira e é servida por grande escadaria. As duas torres são altas e colocadas nas extremidades da nave, pela parte de fora, como dois apêndices salientes, apresentando base e seção quadrada, tomando forma quase circular na parte superior e são guarnecidas por largas pilastras de pedra e encimadas por pináculos de alvenaria, arrematados por pequenas pirâmides em obelisco. O frontão é simples e com pouco movimento, sendo acabado na parte superior por uma cruz sobre um pedestal de pedra, tendo em seus lados duas estrelas também sobre pedestais.

Outra característica importante da terceira fase do barroco são as portadas esculpidas. Na parte superior da porta há um escudo com a representação do Monte Carmelo cercado de esculturas, de ornatos e de anjos, encimados por uma coroa. Dos lados ficam outros ornamentos em forma de conchas sobre suportes que terminam em forma de consolos guarnecedores do pórtico. O marco da portada é de pedra lavrada, com sulcos dispostos em paralelo. Sobre a portada, fica um óculo envidraçado, ladeados de duas sacadas, como mostra a figura 3.2.19. (MORÃO, 1986).



Figura 3.2.19 – Fachada da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.

A planta da igreja é curva na parte da frente, detalhe não encontrado nas igrejas da primeira fase do barroco, surgindo na última fase, quando o barroco já está próximo da decadência, caracterizando-se pelo movimento e pelas linhas sinuosas, como mostra a figura 3.2.20.

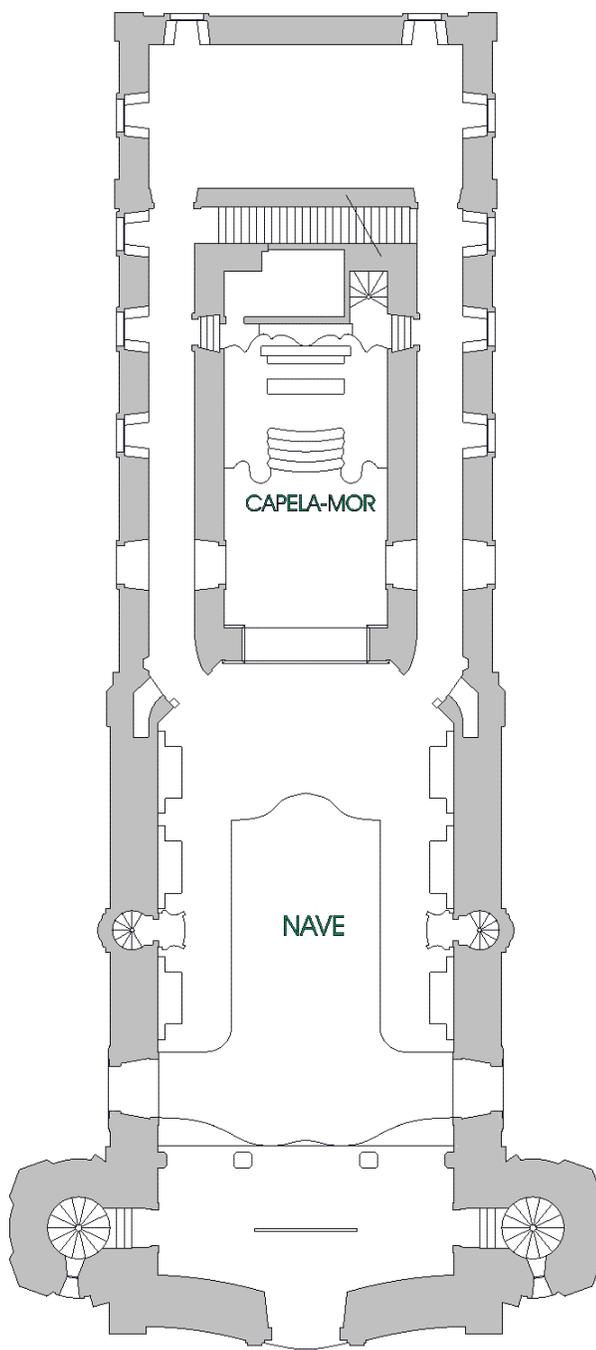


Figura 3.2.20 – Planta Baixa da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. FONTE: Adaptado de SANTOS, 1951.

A parte interna desta igreja possui uma nave ampla, simplesmente decorada pelos retábulos, chegando quase a decepcionar por não se ver os impressionantes ornatos que se encontra, geralmente nos templos barrocos. Não há excesso, porém existe clareza, arrumação e harmonia.

O altar desta última fase do barroco é mais simples e foi projetado por Manuel da Costa Athaíde em 1813. Na parte superior deste retábulo fica uma tarja igual à da portada. Esta é reproduzida, ainda com vários ornatos, no arco cruzeiro, onde é mais simplificada, tendo a coroa, o monte e cruz cercada de duas estrelas.

No retábulo ficam também, muitos ornatos barrocos sobre o fundo em concha, apoiado na cornija que, descansa sobre quatro colunas cujos fustes são providos de caneluras, tendo a parte inferior torsa. Essas colunas apóiam-se sobre consolos, em voluta, rematados na altura do altar.

O barrete da capela-mor é dividido em duas partes por um arco pleno que foram pintadas pelo Mestre Manuel da Costa Athaíde. Dos lados da capela, há tribunas guardadas por balaustradas de madeira escura.

A nave possui seis altares laterais, sendo três de cada lado, e são providos de dossel, na parte superior, sobre colunas simples e consolos. De cada lado da nave fica um púlpito ornamentado com uma porta de acesso. O coro é assentado sobre três arcos que se apóiam sobre grossas colunas em formato especial, com um fuste alargado na parte superior. O teto da nave é também simples, em arco abatido, tendo no centro uma pintura de Manuel da Costa Athaíde, representando uma cena com Nossa Senhora do Carmo, figura 3.2.21.

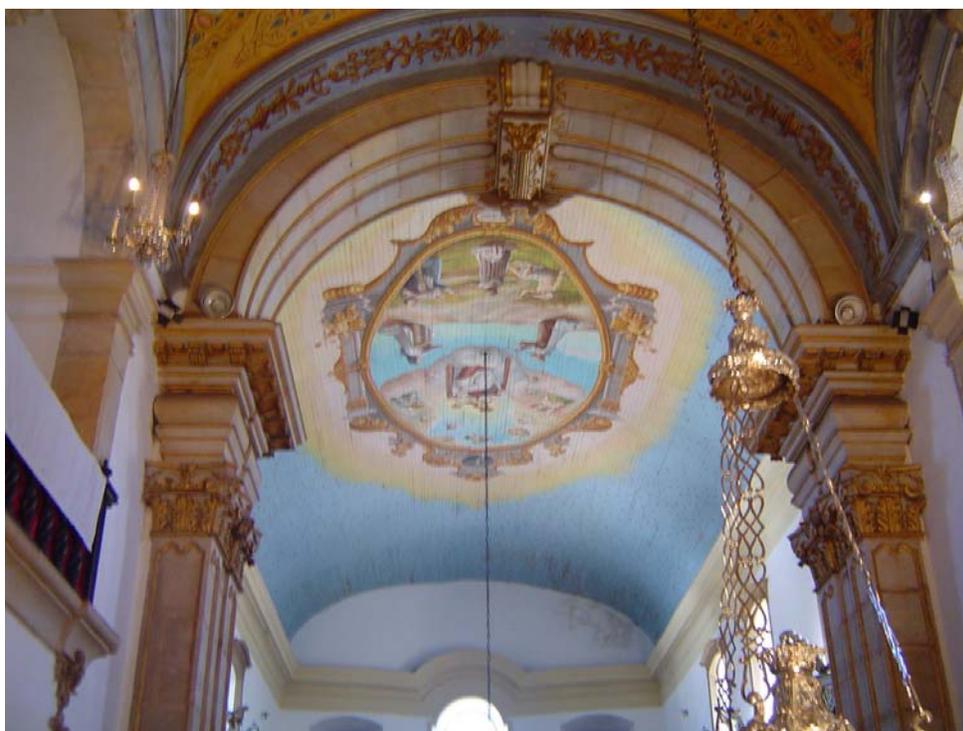


Figura 3.2.21 – Teto da nave da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.

A tabela 3.2.6 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto, para posterior análise.

Tabela 3.2.6 – Medidas da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. Fonte: PAIVA, 1979a.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	19,18	11,65	15,72	217,58
Coro	5,79	11,65	9,07	69,42
Capela-mor + arco	11,05	6,45	11,75	79,68
<b>TOTAL</b>				<b>366,68</b>

### **3.2.7 Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.**

A constituição da Irmandade de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos foi realizada em 1715, e teve como local inicial de funcionamento a Matriz de Nossa Senhora do Pilar. Logo no ano seguinte, adquiriu capela própria no Bairro do Caquende. Por ocasião da procissão conhecida como "Triunfo Eucarístico", realizada em Vila Rica no ano de 1733, em que se procedeu ao traslado da imagem do Santíssimo Sacramento da primitiva capela do Rosário para a Matriz do Pilar, construíram os Irmãos do Rosário à rua que tomou posteriormente o nome de rua do Sacramento para a passagem desta procissão. Em troca desse benefício, em 1761 a Irmandade obteve da Câmara da época, concessão de um amplo terreno, próximo à capela primitiva, onde foi construída a atual Igreja do Rosário, também chamada de Santa Ifigênia, situada no alto de extensa e íngreme ladeira, conhecida como Vira Saia, cujo projeto é de autoria do artista Antônio Pereira Sousa Calheiros. Tendo em vista a falta de documentos, não se pode datar com precisão a época de início das obras. Pode-se, entretanto, com base no testamento do mestre de obras José Pereira dos Santos, concluir que as obras da Igreja do Rosário já se encontravam bastante adiantadas em meados de 1762, uma vez que no referido documento já se fala em ajuste de novos portais em lugar de óculos. Sua história é também obscura com relação ao período que compreende os anos de 1762 e 1781, visto que o mais antigo livro de Receita e Despesa da Irmandade do Rosário, tem como data inicial o ano de 1781. Em 1784, foi contratado para desenvolver o projeto da fachada Manuel Francisco de Araújo, obras estas arrematadas no ano seguinte por José Ribeiro de Carvalhais, já incluindo também as torres. As obras foram executadas no período compreendido entre os anos de 1784 e 1793 (IPHAN 2004d; BAZIN, 1956).

Mourão (1986) afirma que a primeira referência à segunda fase da construção desta igreja, isto é, do período de reformas, consertos, ampliação, pintura e douramento é de 1762 quando foi realizada a compra de um relógio, levando-se a conclusão que o templo estava praticamente pronto, naturalmente não faltando as torres, ou pelo menos uma delas, onde deveria ser colocado este aparelho. O fato é que há um período de

quase vinte anos em que não se têm notícias, constando apenas, a compra e a colocação do sino.

Em 1793, houve reforma do assoalho e, no ano seguinte, a do telhado e o douramento do altar-mor. Sendo que a última obra realizada no século XVIII foi à pintura externa no ano de 1799, de onde se pode concluir que a obra foi totalmente concluída neste ano.

A planta desta igreja é bastante peculiar, como mostra a figura 3.2.22, uma vez que sua forma elíptica só é encontrada na Igreja de São Pedro de Mariana o que se leva concluir que o autor tenha sido o mesmo. Apesar desta forma diferenciada, esta igreja foi estruturada e construída como as demais: nave, capela-mor, os corredores laterais, o arco cruzeiro, e duas torres.

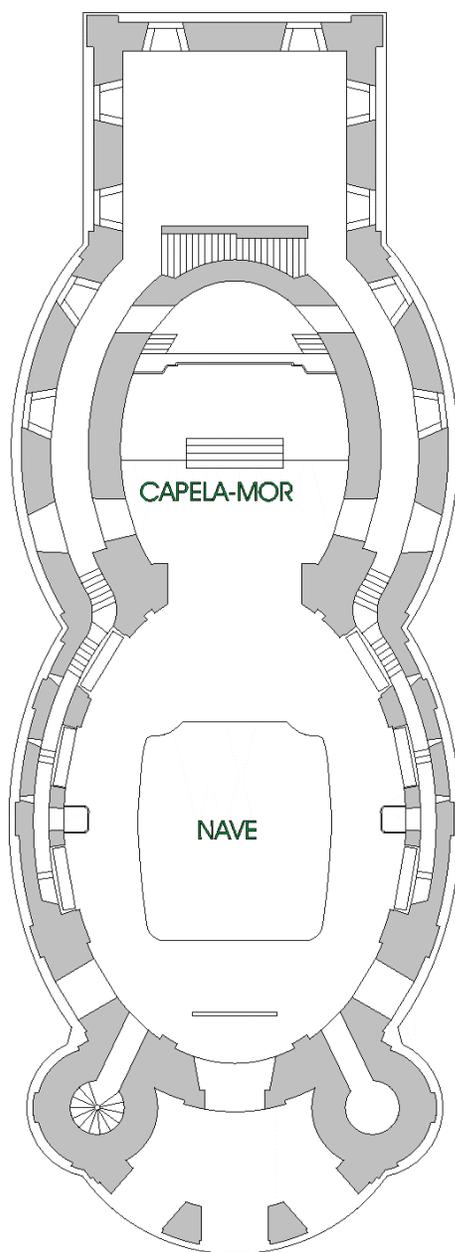


Figura 3.2.22 – Planta Baixa da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

Fonte: SANTOS, 1951.

Da mesma forma que sua planta, a sua parte externa é muito peculiar pelo modelo adotado em sua concepção, possuindo um frontispício com guarnições de pedra, com cunhais e pilastras do mesmo material, terminando em uma cimalha que, na

frente se arqueia no local do óculo onde fica um nicho sobre a portada principal que é encimada por um tímpano triangular interrompido. Para dar acesso a igreja foi construída uma escadaria larga e extensa (MOURÃO, 1986).

O frontão é movimentado e emoldurado por curvas barrocas e, a sua parte superior, se transforma na base de uma cruz com resplendores. As torres são pouco elevadas em relação ao frontão e terminam superiormente por cúpulas de cujo centro surge um ornamento em forma de pirâmide, como mostra a figura 3.2.23.



Figura 3.2.23 – Fachada da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

Em sua parte Interna a sua grandiosidade é conferida pelos elementos arquitetônicos, como as pilastras toscanas que delimitam o espaço interno da nave. Já os altares, executados entre 1784 e 1792 por Manuel Velasco e José Rodrigues da Silva, são de uma simplicidade extrema, predominado as suas pinturas.

De qualquer maneira, pode-se dizer que a capela é bastante rica, sendo o retábulo do altar complexo e com grande quantidade de esculturas, constituído por dossel estilizado, com muitos ornatos e grandes anjos em diversas posições, terminando a parte superior em uma grande coroa.

Há também na parte inferior do retábulo uma grande profusão e variedade de anjos, sendo que sua talha complexa se espalha por todas paredes da capela-mor cercando tribunas de balaustrada torneada.

O arco cruzeiro é simples, sendo ladeado por pilastras com capteis de ordem compósita, apoiando sobre uma larga arquitrave em sua parte superior, como mostra a figura 3.2.24. (MOURÃO, 1986).

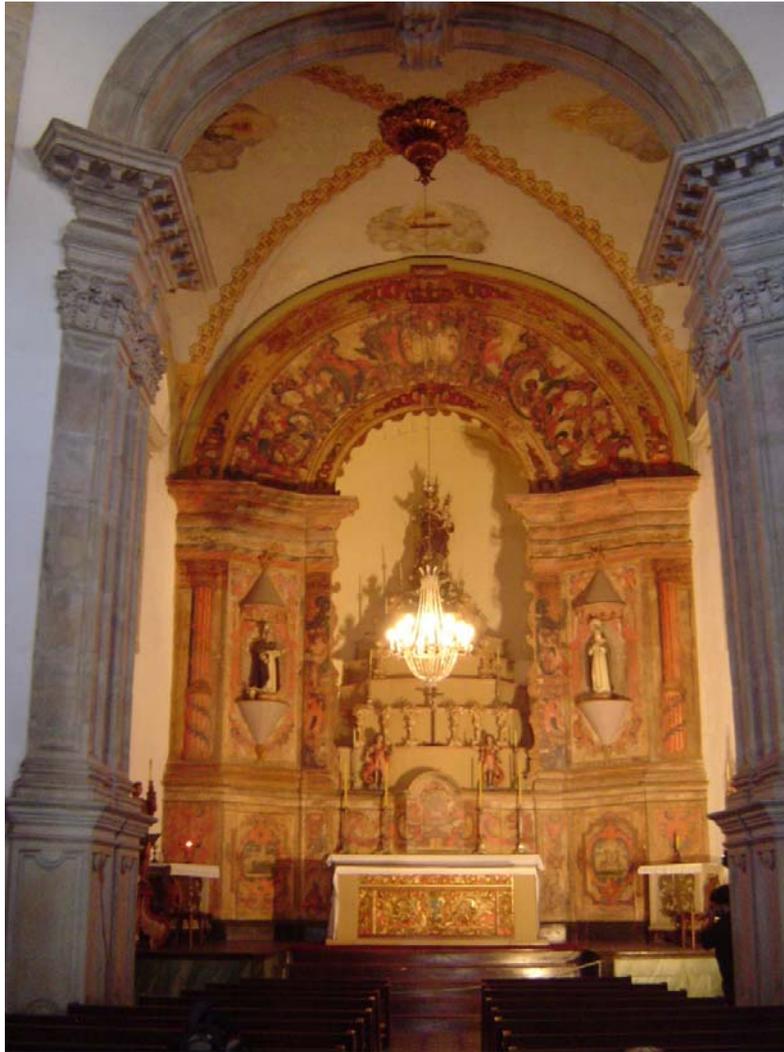


Figura 3.2.24 – Capela-mor da Capela de Nossa Senhora do Rosário.

Os altares laterais são do mesmo estilo do altar-mor, sendo que em um deles, o arco interrompido se enrola em volutas apoiando-se sobre colunas torsas e em outro, há escultura e coroa sobre arquitrave superior. O púlpito é muito trabalhado e se apóia sobre um consolo ornamentado em volutas como mostra a figura 3.2.25.



Figura 3.2.25 – Púlpito da Capela de Nossa Senhora do Rosário.

A tabela 3.2.7 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto, para posterior análise.

Tabela 3.2.7 – Medidas da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

Fonte: PAIVA, 1979b.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	18,52	13,69	17,15	205,60
Coro	9,21	6,44	6,32	74,41
Capela-mor + arco	8,05	9,15	11,90	76,60
<b>TOTAL</b>				356,61

### 3.2.8 Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Foi por iniciativa da Ordem Terceira da Penitência de São Francisco de Assis, fundada em 1765, que se construiu a capela de São Francisco, mediante licença régia concedida provisoriamente pelo ouvidor, para construção do templo obtida no ano de 1771. Porém, mesmo antes de ser expedida a licença, em 1765 foram iniciadas as obras de terraplanagem e em 27 de dezembro de 1766 foi arrematada a obra de alvenaria pelo mestre pedreiro Domingos Moreira de Oliveira, que trabalhou por 28 anos na obra, obedecendo ao projeto de Antônio Francisco Lisboa.

As informações relativas às técnicas e materiais que deveriam ser empregados na construção foram minuciosamente detalhadas no ato da arrematação. Como ocorreu com quase a maioria das igrejas deste período, sua construção iniciou-se pela capela-mor, estando a mesma praticamente concluída em 1771. A abóbada foi construída entre 1772 e 1774, época em que foi também realizada sua ornamentação em talha e estuque, sob a direção de Aleijadinho. No mesmo período o artista concluiu os púlpitos em pedra-sabão inseridos no arco-cruzeiro. O retábulo do altar-mor, em função do qual foi organizada toda a decoração da capela, só seria executado entre 1790 e 1794.

Concluída a capela-mor, os administradores da obra optaram em seguida pela execução de sua fachada, cuja portada, arrematada em 1744, teve seu projeto

executado pelo próprio Aleijadinho. Em 1787, as torres sofreram um acréscimo e no ano seguinte foram feitos os telhados do templo. Finalmente, em 1794, Domingos Moreira de Oliveira conclui a obra de alvenaria. Entretanto, quase toda parte de douramento e pintura, assim como a execução da talha dos altares da nave ainda estava por fazer. A tarefa de pintura e douramento da capela-mor coube a Manuel da Costa Athaíde, bem como a pintura do forro da nave e dos painéis a óleo da nave e capela-mor, as quais se realizaram entre 1801 e 1812. A construção dos altares da nave, também projetados por Aleijadinho, se estendeu de 1829 a 1890, tendo Lourenço Petrócio concluído o douramento do último da série (BAZIN, 1956; IPHAN, 2004g; TIRAPELI, 1952).

A Igreja de São Francisco de Assis é considerada pelos especialistas como a obra-prima da arte colonial brasileira. A singularidade da planta reside na supressão dos corredores da nave, fato que a diferencia das demais e pode se visto na figura 3.2.26, e maior integração dos corredores da capela-mor ao conjunto, como também na posição das torres, que se fecham para trás no corpo da igreja, projetando e destacando a fachada.

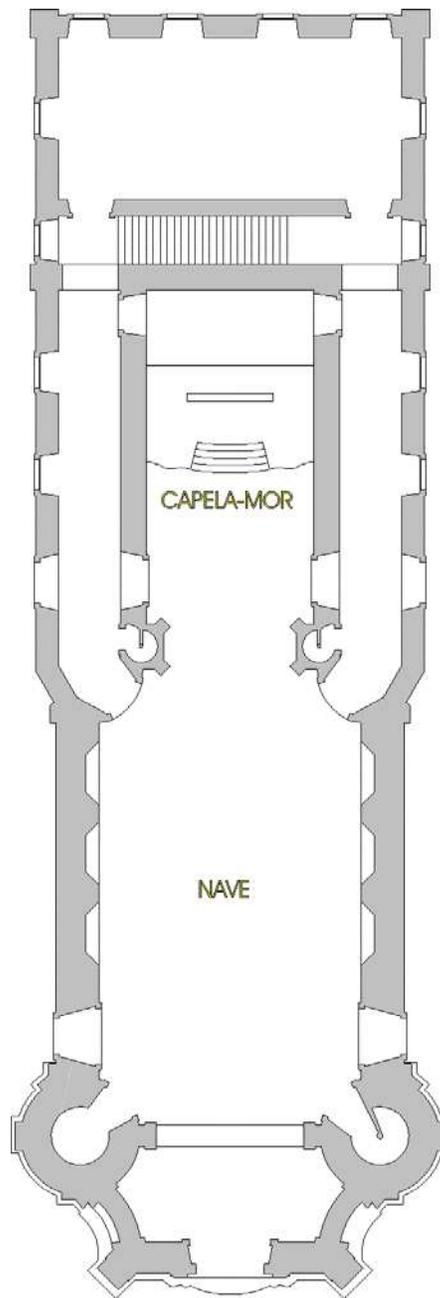


Figura 3.2.26 – Planta Baixa da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Fonte: Adaptado de: Grillo (1988).

A novidade se manifesta ainda nas formas circulares das torres, até então sem precedentes, coroadas por flechas de proporções audaciosas. O frontispício, de grande efeito arquitetural, concentra o efeito ornamental na portada e no medalhão superior.

A parte posterior da planta desta igreja é curva, denotando aí, a característica da terceira fase do barroco mineiro surgido como um paradoxo, quando o estilo se simplifica e seus ornamentos mais sóbrios.

A fachada apresenta três faces separadas por duas colunas de pedra que sustentam a cornija superior em que se apóia um arco interrompido. Essa cornija torna-se arqueada, na parte da frente, para dar espaço a um medalhão esculpido em pedra sabão. Acima da cornija, surge a curva do frontão terminando no pedestal da cruz patriarcal que se ergue no meio, ladeada de duas piras, também em pedra sabão.

Ocupando uma grande área da superfície da fachada fica a portada de ombreiras geminadas, e riscadas de caneluras simétricas e vergas recortada, com a presença de um querubim de cada lado e festões dependurados. No alto da fachada, em um grande painel circular guarnecido de molduras e ornamentos, aparece a figura de São Francisco de Assis de joelhos recebendo as chagas no Monte Alverne.

Acima do pórtico, de cada lado, fica uma sacada simples, com vidraças, devidamente guarnecida de pedra e cimalha do mesmo material. De um lado e de outro nas faces inclinadas da fachada, há também uma sacada, na parte superior, e uma falsa porta na inferior como mostra a figura 3.2.27, (MOURÃO, 1986).



Figura 3.2.27 – Fachada da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Vista de perfil, a igreja mostra a disposição distinta de cada corpo do edifício, verificando-se que a concepção do projeto arquitetônico beneficia o monumento como um todo. Da mesma forma, todo o interior é composto para um efeito de conjunto. Na nave, contornada por cornija de pedra, os seis altares laterais, executados em meados do século XIX, funcionam apenas como complemento da decoração das paredes laterais. As imagens que guarnecem os nichos dos altares são quase todas de roca. O arco-cruzeiro assume função monumental, constituindo-se no ponto de junção do edifício. Nele foram incorporados os púlpitos de pedra, enquadrados por duas pilastras com arquivoltas altas e de perfil, dispostas obliquamente (IPHAN, 2004g).

O retábulo é simples e harmônico, sem excesso de ornamentos. É desprovido de dossel, substituído aqui por esculturas. No alto fica o alto relevo representando a Santíssima Trindade e a Virgem da Conceição. As colunas têm seu terço inferior torço. Entre as colunas e os consolos que limitam a abertura do trono, ficam os nichos constituídos, na parte inferior, por um embasamento saliente e ornamentado e, na parte superior, por arco arrematado em ornatos com formato de conchas, figura 3.2.28.



Figura 3.2.28 – Interior da capela-mor da Capela de São Francisco de Assis, Ouro Preto. Fonte: MOURÃO, 1986.

A nave com seu forro em formato abobadado, é toda decorada com pinturas do Mestre Manoel da Costa Athaide.

A tabela 3.2.8 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto, para posterior análise.

Tabela 3.2.8 – Medidas da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Fonte: GRILLO, 1988.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	19,40	11,15	15,83	206,47
Coro	4,96	9,76	6,47	43,20
Capela-mor + arco	11,00	7,14	11,37	88,33
<b>TOTAL</b>				<b>338,00</b>

### 3.2.9 Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

A igreja primitiva de São Francisco de Assis foi construída no ano de 1749. Entretanto, a nova igreja-sede foi construída por iniciativa da Ordem 3ª de São Francisco de Assis, no ano de 1772, em substituição à primitiva capela, que já se encontrava em ruínas. Os primeiros preparativos para a construção tiveram início imediatamente após a decisão da Ordem e, em agosto de 1774, e para isso foram contratados os serviços do mestre Francisco de Lima Cerqueira para executar a obra conforme projeto que lhe foi apresentado. O projeto original é de Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho. Projeto que se encontra em exposição no Museu da Inconfidência de Ouro Preto. Durante o decorrer das obras, o mestre responsável, Francisco de Lima Cerqueira, fez uma série de mudanças no projeto original, que, entre outras medidas, incluíram: alteração das pilastras do arco-cruzeiro, modificação do desenho dos óculos

da nave, substituição das torres oitavadas e alteração da posição original da sacristia. Seus trabalhos na igreja foram concluídos em 1804, tendo sido executados até aquela data as obras da capela-mor com o respectivo retábulo, nave, sacristia e demais obras menores, sabe-se que a capela-mor foi construída em 1781 e contou com a participação do mestre Francisco de Lima e Silva. Em 1809, o acabamento das torres e do coro ficou sob a cargo do mestre Aniceto de Souza Lopes, a quem se atribui também à execução dos baixos relevos do frontão e do medalhão da portada (IPHAN, 2004k; TIRAPELI, 1952).

Na fase de sua construção, ou seja, nas três últimas décadas do século XVIII, o barroco modificou-se profundamente, perdendo suas características iniciais inspiradas na Europa do século XVII, que tinha como propósito impressionar pela riqueza de ornamentos e pelo brilho dos dourados. Deste modo, já não há a espontaneidade das primeiras formas: os retábulos tornam-se claros, simples e proporcionados, com detalhes disciplinados e sóbrios; o ouro desaparece, onde prevalece o branco na composição. Assim sendo, os altares se tornam simplificados, o conjunto de toda a igreja passa a ser mais cuidado, principalmente os púlpitos, óculo e painéis. Os altos-relevos da primeira fase do barroco cedem espaço aos baixos-relevos, onde são apresentados diversos personagens bíblicos (MOURÃO, 1986).

As formas externas da capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei, figura 3.2.29, ao contrário da simplicidade de seu interior, curiosamente, tende para o tradicional barroco puro da primeira fase, contrariando o trajeto de alteração arquitetônica em andamento alguns anos antes. Sua planta é curva e o templo está situado dentro de um adro também em formato curvo. As torres possuem seção arredondada, terminadas superiormente em uma cúpula cercada de balaustrada e são rematadas por um ornato em formato esférico e que termina em ponta, e as vergas das janelas são também curvas, abaixo das quais há lugar para um relógio.

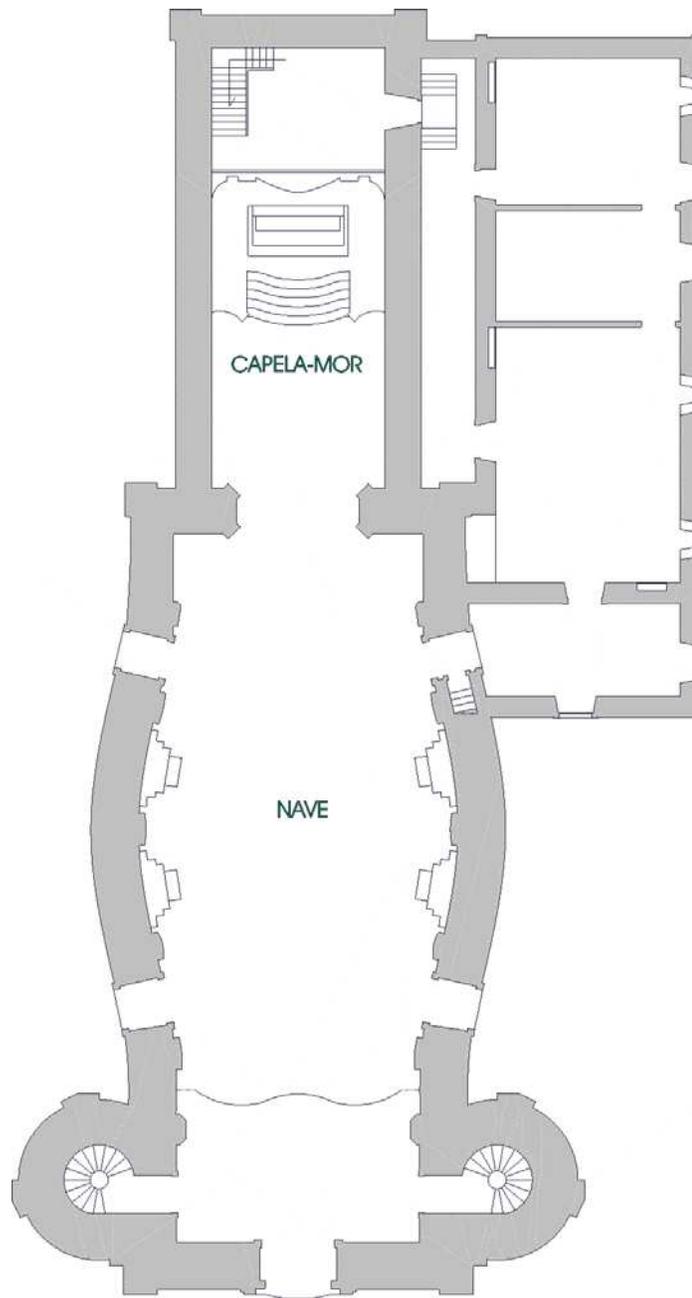


Figura 3.2.29 – Planta baixa da Capela de São Francisco de Assis, São João Del Rei.  
Fonte: Adaptado de Sampaio (1950).

Entre as torres fica um elevado frontão, ladeado por ornatos barrocos, sobre o qual fica uma cruz patriarcal, isto é, de dois braços, que também podem vistas nas demais igrejas de São Francisco de Assis.

A torres e o frontão se apóiam sobre uma arquitrave, onde no centro toma forma de uma semi-circunferência para dar lugar a um óculo circular envidraçado. Esta arquitrave se apóia em pilastras de pedra cujos capitéis são da ordem compósita estilizada (MOURÃO, 1986). Abaixo e de ambos os lados do óculo, ficam duas janelas envidraçadas, com cimalha superior aberta em cantaria. No centro há a portada decorada e esculpida em pedra como mostra a figura 3.2.30.



Figura 3.2.30 – Fachada da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

Fonte: MOURÃO, 1986.

E seu interior a capela-mor, figura 3.2.31, constitui um tipo puro da terceira fase do barroco mineiro. Já não possui dossel e o retábulo é bem mais simples, claro, com ornamentos sóbrios. Em sua parte superior, fica uma complexa escultura representando a Santíssima Trindade. Esta composição se apóia sobre o arco do trono, o qual se apóia de um lado e de outro sobre duas colunas torsas. Ladeando os dois nichos simétricos, ficam, nos extremos, duas colunas semelhantes as primeiras, sustentando a arquitrave que se prolonga por toda capela-mor e se arqueia, nos dois lados, nos locais em que ficam os dois grandes óculos que servem para a iluminação do presbitério. Abaixo de cada um dos óculos fica um grande painel, com moldura barroca.



Figura 3.2.31 – Interior da capela -mor da Capela de São Francisco de Assis, São João Del Rei. Fonte: MOURÃO, 1986.

Os altares laterais são de dossel estilizados, de cor branca repletos de esculturas, providos de colunas torsas ou de consolos, com uma parte elevada no centro, onde fica um suporte de lâmpada.

Os dois púlpitos, também brancos, são de talha, tendo em sua parte superior um dossel em forma de um cone onde se apóiam grandes figuras esculpidas (MOURÃO, 1986).

A tabela 3.2.9 apresenta parâmetros métricos, como comprimentos, larguras, alturas e áreas relativas à Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto, para posterior análise.

Tabela 3.2.9 – Medidas da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei. Fonte: SAMPAIO, 1950.

<b>LOCAL</b>	<b>COMPRIMENTO (m)</b>	<b>LARGURA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Nave	24,58	14,00	19,54	284,48
Coro	6,45	10,70	10,62	63,31
Capela-mor + arco	14,00	7,60	16,35	111,21
<b>TOTAL</b>				<b>459,00</b>

Pode-se observar, por meio das plantas baixas apresentadas neste capítulo, que apesar das diferenças estéticas e formas empregadas na construção destas igrejas, bem como as várias datas de suas edificações, elas guardam uma característica em comum: possuem uma nave e uma capela-mor ligadas por um grande umbral, chamado de arco-cruzeiro, sendo que a capela-mor abriga o altar-mor, e por toda nave e em suas laterais são colocados os demais altares. A nave e a capela-mor, em sua maioria, é duplamente cercada por espessas paredes, que formam em sua volta um corredor, que não se sabe com certeza se o motivo de sua existência é de ordem litúrgica ou estrutural. Em sua entrada e na parte superior se encontra a área destinada ao coro, sendo todas decoradas com esculturas e pinturas barrocas.

Deste modo, ao analisar todas estas características relacionando-as ao comportamento acústico destes ambientes, pretende-se atingir o propósito de se extrair subsídios para contribuir na elaboração de novos projetos.

Muito se tem escrito e estudado sobre as igrejas construídas no século XVIII de Minas Gerais e do Brasil, principalmente do ponto de vista das artes plásticas, tendo em vista que estes templos são verdadeiras relíquias do patrimônio histórico nacional e mundial, na medida que foram registradas de forma simbólica em sua arquitetura e seus afrescos a evolução social do povo mineiro. Entretanto, pouco ou quase nada se encontra a respeito de sua técnica construtiva, apenas considerações sobre seu uso litúrgico. Desta forma pode-se avaliar que as dificuldades não são poucas, pois o material disponível à pesquisa não é abundante, de um modo geral, sobretudo quando se trata dos templos mais antigos construídos no início daquele século. Assim sendo, foi necessário recorrer ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) que tem como principal objetivo a proteção e preservação dos bens patrimoniais do país. Esperava-se encontrar farta documentação, como projetos, naturalmente “as built”, uma vez que estes são sumamente importantes para recuperação ou até reconstrução destes imóveis em caso de ocorrência de acidentes. Todavia, foram encontrados apenas alguns projetos feitos em diversas épocas, alguns contando com poucos detalhes, às vezes se restringindo apenas a plantas baixas, em mau estado de conservação.

Uma das importantes contribuições deste trabalho, conseqüência dos levantamentos dos parâmetros arquitetônicos, foi o registro de forma digital dos projetos dos templos escolhidos como objetos de estudos, contribuindo, deste modo, com a preservação documental destes monumentos.

## CAPÍTULO 4

### MATERIAIS E METODOS

*“Murmúrio de água na clepsidra gotejante,  
Lentas gotas de som no relógio da torre,  
Fio de areia na ampulheta vigilante,  
Leve sombra azulando a pedra do quadrante,  
Assim se escoa a hora, assim se vive e morre...”*

*Homem, que fazes tu? Para que tanta lida,  
Tão doidas ambições, tanto ódio e tanta ameaça?  
Procuremos somente a Beleza, que a vida  
É um punhado infantil de areia ressequida,  
Um som de água ou de bronze e uma sombra que passa...”*

*(Eugênio de Castro)*

## 4.1 Apresentação

No presente capítulo são apresentados os equipamentos (hardwares) e o programa de computador (software) utilizados, a relação das igrejas mineiras construídas no século XVIII, bem como o procedimento e a técnica para a realização das medidas dos principais parâmetros físicos para avaliação da qualidade acústica destes ambientes.

Em dezembro de 2003, foi feito um primeiro contato com os responsáveis pela administração das igrejas setecentistas de Minas Gerais, mais especificamente das cidades de São João Del Rei e Tiradentes, e posteriormente, em julho de 2004, com os responsáveis pelas igrejas de Ouro Preto e Mariana, para se obter o consentimento para realização de suas avaliações acústicas. Muita resistência foi encontrada, principalmente pela desconfiança de que o método a ser empregado pudesse trazer algum prejuízo ao patrimônio. Deste modo, foram necessários longos diálogos no sentido de explicar que a técnica não trazia nenhum tipo de risco ao imóvel.

Outra dificuldade encontrada é que a administração de algumas igrejas, não está nas mãos da Igreja Católica, e sim de sociedades formadas por cidadãos da própria comunidade, conhecidas como irmandades, e como exemplo pode-se citar a “Venerável Ordem Terceira de São Francisco de Assis”, que se reúne esporadicamente, o que tornou o contato bastante complicado.

Como dito no capítulo anterior, esperava-se encontrar documentação suficiente para extrair informações à cerca dos parâmetros arquitetônicos destes monumentos, o que facilitaria e muito o desenvolvimento deste trabalho. Entretanto, nenhum projeto foi preservado ao longo do tempo. Assim sendo, por indicação dos responsáveis, foi necessário recorrer ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em Belo Horizonte, MG. O instituto foi criado com o objetivo de preservar o patrimônio histórico nacional.

Mais uma vez a dificuldade foi grande, pois a expectativa de que o instituto tivesse em seu acervo toda documentação detalhada não se concretizou. Porém, o pouco obtido foi de grande valia para o presente trabalho.

Outra resistência percebida reside no fato de que pesquisadores de outras áreas que tiveram a oportunidade de estudar estes patrimônios, não apresentaram os resultados de seus estudos aos responsáveis tanto pela administração como pela preservação das igrejas, o que contribuiu para o desinteresse na cooperação.

De qualquer maneira, foi obtida autorização para a avaliação acústica de todas as igrejas pretendidas, algumas de forma verbal.

## **4.2 Os Equipamentos Utilizados**

Para investigar as propriedades acústicas de um ambiente usando a resposta impulsiva há várias técnicas, desde as que utilizam sons de impacto (arcos voltaicos, tiros, estouro de balões) até as que produzem sinais sonoro de excitação por meio de programas e equipamentos de computadores, sendo o caso específico desta pesquisa. A técnica impulsiva além da precisão apresenta outras vantagens ao se comparar com as técnicas tradicionais e que serão abordadas posteriormente.

Neste tópico são descritos detalhadamente os aparelhos utilizados, o esquema de ligação entre eles e as dificuldades encontradas para colocá-los em funcionamento.

O conjunto de medição é constituído basicamente de quatro diferentes aparelhos: uma fonte sonora omnidirecional para excitar o ambiente, um amplificador, um microfone também omnidirecional para captar o som emitido e um microcomputador com placa digitalizadora de som, que faz a conversão do sinal analógico-digital (e vice versa), para processar os sinais. O sistema é apresentado na figura 4.2.1.

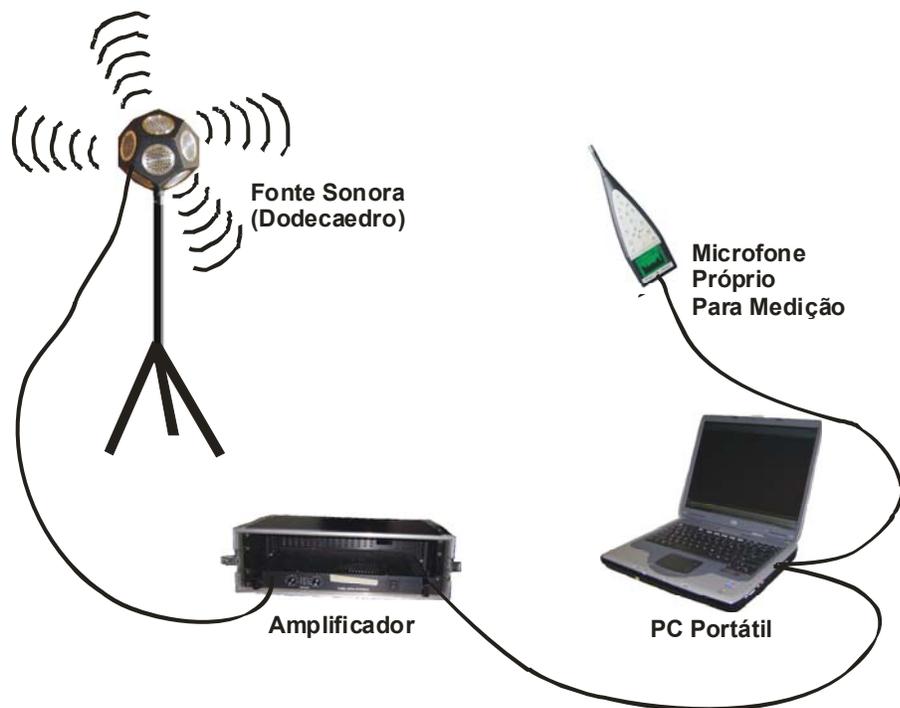


Figura 4.2.1 – Esquema de ligação entre os equipamentos.

#### 4.2.1 A Fonte Sonora

Foi utilizada uma fonte sonora produzida pela Brüel & Kjaer, tipo 4296, constituída de um agrupamento de 12 alto-falantes em uma configuração que forma um dodecaedro que tem a possibilidade de radiar o som uniformemente com uma distribuição aproximadamente esférica, como mostra a figura 4.2.2. Todos os doze alto-falantes estão conectados em uma rede de série paralela para assegurar uma operação em fase e uma impedância que condiz com o poder do amplificador (BRÜEL & KJAER, 2005 a).

Esta fonte sonora foi adotada porque as maiorias das medidas acústicas de ambientes fechados requerem fontes que possam radiar som uniformemente em todas as direções para dar reprodutibilidade e exatidão nos resultados.

A norma internacional ISO 3382 - Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993), em seu tópico 4.2.1 sugere que, na medida do possível, seja utilizada uma fonte sonora omnidirecional. Pois, ela tem a possibilidade de produzir um nível de pressão sonora suficiente para proporcionar uma curva de decaimento com uma faixa dinâmica mínima exigida sem sofrer a interferência do ruído de fundo e ressaltando as respostas ao impulso em um ambiente. Se bem que isso não corresponda ao efetivo diagrama de diretividade das fontes sonora reais, quais sejam: os instrumentos musicais, os cantores e os oradores.

No caso de medidas de respostas impulsivas que usam seqüências de ruído pseudo-aleatório (RPA), ou qualquer outro sinal de excitação determinístico e de banda larga, o nível de pressão sonora exigido pode ser bastante baixo porque proporciona melhoria na relação sinal ruído (SNR) do calculo da média correlacionada. No caso de medidas nas quais não se faz uso do cálculo de médias síncronas ou outra técnica para aumentar a relação sinal ruído, então um nível da fonte requerido terá que dar pelo menos 45 dB sobre nível do ruído de fundo na faixa de freqüência correspondente (FARINA; AVANZINI, 2003).

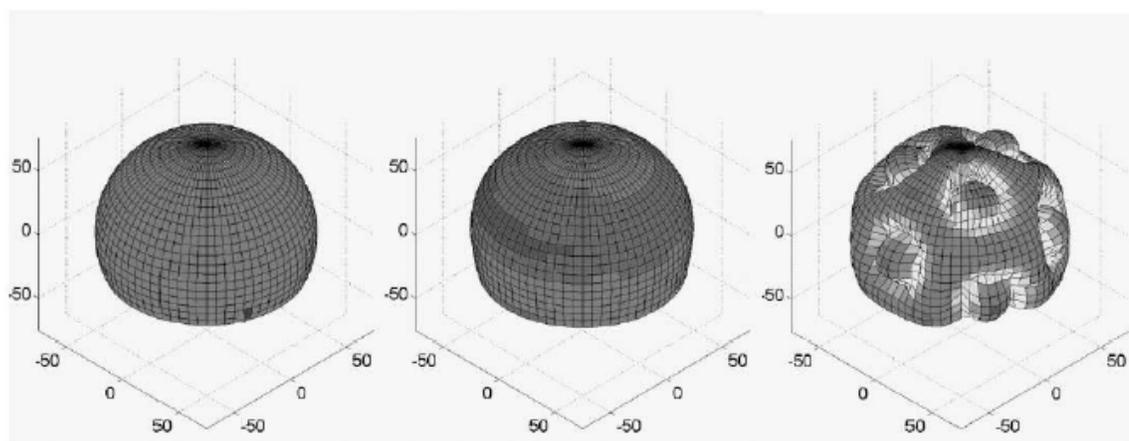


Figura 4.2.2 – Diagrama de diretividade de um dodecaedro.

Análise feita em 1/3 de oitava, em 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz. Fonte: (BERTOLI; GOMES, 2005).

#### **4.2.2 O Microfone**

O microfone utilizado para captar o sinal de excitação lançado no ambiente foi o tipo 4189 da Brüel & Kjaer, (BRÜEL & KJAER, 2005b), conectado ao medidor de nível de pressão sonora (Analisador de Espectro) também da Brüel & Kjaer, tipo 2260, seu diâmetro é de ½ polegada e sua sensibilidade suficiente para se evitar distorções que possam influenciar o campo acústico alterando, desta forma, o resultado da análise acústica.

#### **4.2.3 O Amplificador de Potência.**

O amplificador de potência utilizado é da Brüel & Kjaer, tipo 2716, com entrada eletronicamente balanceada e saída de 300 watts, via conectores XLR, (BRÜEL & KJAER, 2005c).

#### **4.2.4 O Microcomputador Portátil**

Foi utilizado um microcomputador portátil da Toshiba modelo Pentium M/Centrino, com tela de cristal líquido widescreen, com a seguinte configuração: processador Pentium, com 512 MB de memória RAM e HD de 80 GB, com sistema operacional Windows XP instalado, munido de uma placa digitalizadora de som externa produzida pela Digigram, tipo Vxpocket v2 e dotado de um software adequado para gerir a enorme massa de dados adquiridos.

A placa de som Vxpocket da Digigram (DIGIGRAM, 2005), provê uma resolução de 24 bits, e tem a capacidade de amostrar sinais com frequência de até 48 kHz, sendo conectada ao microcomputador por meio de uma porta PCMCIA, com aplicações em PC que usam o protocolo WAVE da Microsoft e com aplicações em PC e Mac que

usam ASIO. Quando executa aplicações baseadas nos protocolos Direct Sound (PC) e Sound Manager (Mac), a resolução é de 16 bits.

A placa incorpora ainda uma entrada e saída estéreo SPDIF que permite a transferência digital direta e uma entrada *time-code* LTC (SMPTE).

Os cabos são providos com conectores XLR para as entradas / saídas analógicas, conectores RCA para as digitais, LTC e conexões mini-jack estéreo para o monitoramento com fones de ouvido.

A placa VXpocket v2 tem duas entradas mono analógicas balanceadas, com nível de microfone ou linha, e duas saídas analógicas balanceadas. As informações técnicas completas podem ser obtidas no Anexo B.

O uso de uma placa de som externa em detrimento da placa normal que acompanha os microcomputadores portáteis se justifica na medida em que o método de medida requer o uso de uma placa de áudio de alto nível dotada de entradas analógicas suficientes, inclusive pré-amplificadores microfônicos de modo digital para assegurar um controle cuidadoso do ganho na entrada e uma calibração que seja tanto relativo como absoluta das gravações. Atualmente estas exigências podem ser satisfeitas apenas por unidades externas conectadas a um microcomputador (FARINA; AVANZINI, 2003). Essas condições impedem o uso de qualquer microcomputador portátil, e obriga a escolha do que tenha conexão adequada à placa de som.

### 4.3 Método de Medição Acústica

Segundo Schroeder (1965), para se obter informações sobre as características acústicas de um ambiente basta conhecer a sua Função de Transferência (FT), ou seja, a sua resposta impulsiva, pois ela fornece informações suficientes sobre a densidade e a distribuição do som refletido no domínio do tempo, e a partir daí muitos outros parâmetros podem ser calculados, como por exemplo, o Tempo de Reverberação.

Para se obter a Função de Transferência de um sistema, neste caso o ambiente analisado, as Igrejas Setecentistas de Minas Gerais, basta medir a sua resposta a um impulso. Deste modo, o método de medição acústica, adotado nesta pesquisa, para a avaliação das igrejas selecionadas, é o da obtenção de sua Resposta Impulsiva (IR).

Pode-se dizer que Tempo de Reverberação é o mais importante parâmetro objetivo que deve ser determinado em um ambiente fechado, seja ele destinado à palavra falada ou audição de música. Entretanto, com isso apenas não é suficiente para se conhecer todas as sensações auditivas que podem ser encontradas em diferentes ambientes com os Tempos de Reverberações semelhantes, ou até mesmo entre os vários pontos dentro do mesmo ambiente. O tempo de reverberação fornece informações apenas sobre o decaimento sonoro, que se observa após a chegada do som direto, proveniente das paredes, pavimento e teto.

Para a avaliação acústica de um ambiente, Beranek (1962) destaca a importância das primeiras reflexões e a determinação da característica temporal da sua energia sonora.

A representação do efeito das reflexões múltiplas em um ambiente fechado, da energia em função do tempo, pode ser visto na figura 4.3.1. O primeiro traço vertical representa a chegada ao microfone do som direto e na seqüência a chegada das sucessivas ondas refletidas, representadas pelos demais segmentos verticais positivos, que se reduzem na medida em que o tempo passa. Essa representação baseia-se na

hipótese de que a fonte sonora consiga gerar um pulso ideal, uma **Função Delta de Dirac**, ou seja, um impulso unitário positivo de pressão, de duração temporal que tende a zero.

Este diagrama teórico é conhecido como Refletograma, ou Resposta a um Impulso Teórico. Ele pode ser construído mediante a separação das fontes virtuais (imagens especulares da fonte real produzida pelas paredes, pavimento e teto do ambiente). Calculando os tempos de atraso com base na distância entre a fonte (real ou virtual) e posição do microfone, enquanto a amplitude é inversamente proporcional à distância (FARINA, 2001).

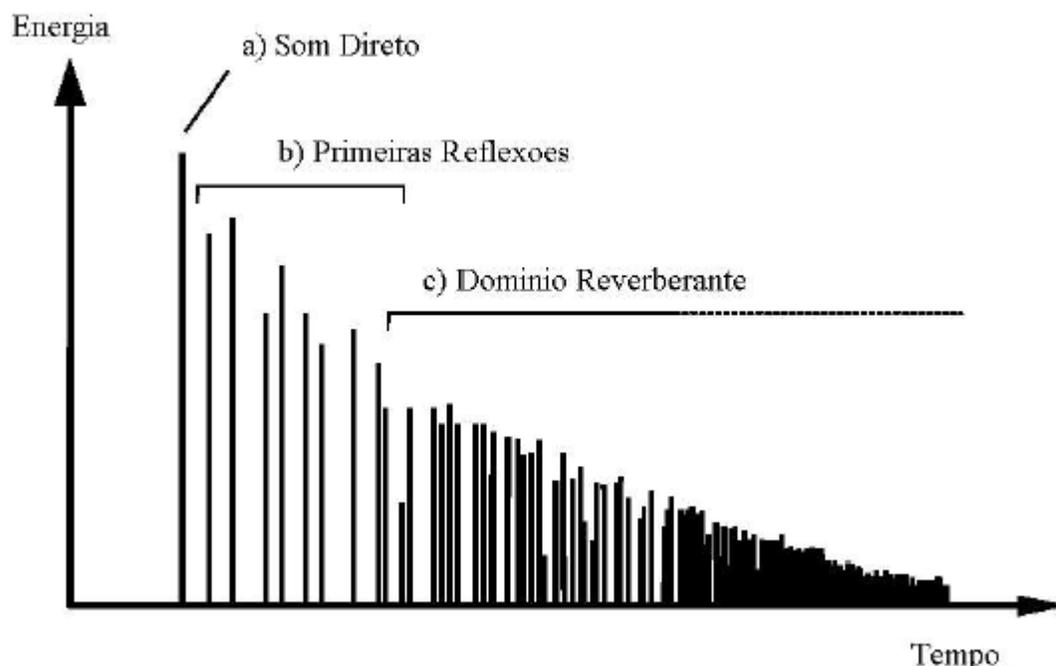


Figura 4.3.1 – Resposta Impulsiva. Fonte: (BERTOLI; GOMES, 2005).

Assim é possível perceber que em cada ponto do ambiente existe uma Resposta ao Impulso diferente, relativa a cada posição da fonte e a cada posição do microfone.

Também é possível obter respostas impulsivas experimentais em ambientes existentes. Os primeiros experimentos deste tipo consistiam na utilização de um osciloscópio para visualizar o sinal elétrico produzido por um microfone, em resposta a

uma excitação sonora impulsiva produzida por uma fonte, normalmente um tiro de pistola, ou o estouro de um balão.

Uma medida deste tipo é apresentada na figura 4.3.2. Como pode ser observado são apresentados picos positivos e negativos, e isto é devido a dois fenômenos distintos: antes de tudo os sons impulsivos suscitados são todos, mais ou menos, do tipo bipolar, isto é, depois de uma variação positiva de pressão, produzem uma outra negativa, formando quase pares de amplitude; além disso, os microfones não são perfeitamente omnidirecionais, e tendem a dar uma resposta elétrica negativa quando recebe por trás uma onda de pressão positiva (FARINA, 1990).

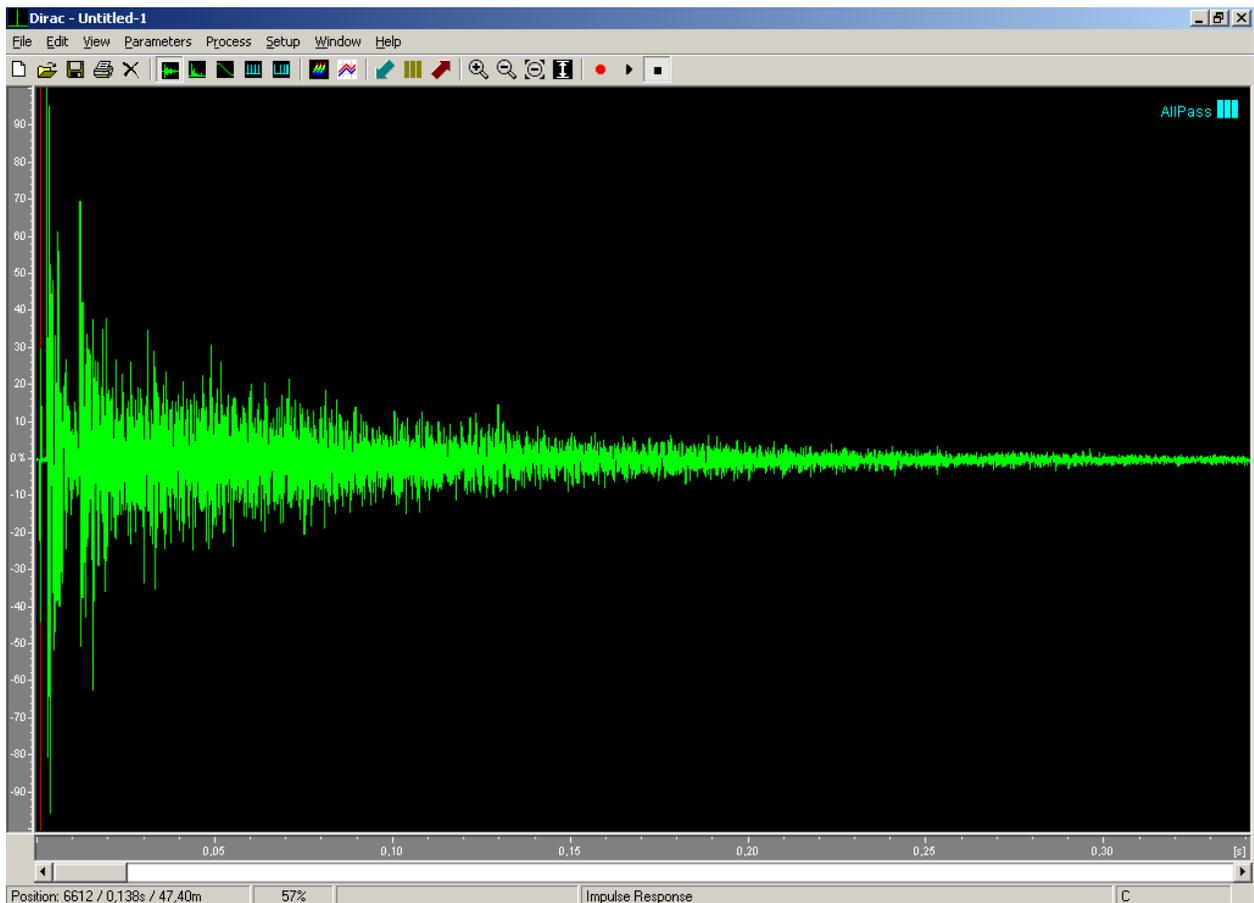


Figura 4.3.2 – Resposta impulsiva experimental de um ambiente.

Os formatos das respostas impulsivas de medidas experimentais estão relacionados à distância entre a fonte e o receptor, motivo pelo qual se torna difícil comparar traçados medidos em locais, ambientes e pontos diferentes. De qualquer maneira, nestas respostas impulsivas estão contidas as melhores e mais precisas informações a respeito de um ambiente, pois é por meio delas podem ser definidos os seus parâmetros acústicos.

Para se obter uma visualização mais fácil de ser interpretada pode-se recorrer a Refletogramas em termos energéticos, providos de traçados muito mais claros e privados da parte negativa, ou seja, energia em função do tempo em escala logarítmica, na figura 4.3.3 é possível observar um diagrama deste tipo.

Normalmente os resultados destes diagramas dependem dos tipos de fontes impulsivas utilizadas. Assim sendo, para garantir uma suficiente repetição das medidas, é necessário utilizar fontes que tenham condições de oferecer um suporte energético eficiente em todas as freqüências de interesse, e ao mesmo tempo com impulsos de curta duração (FARINA, 1986). Desta forma, o uso de sinais externo de excitação não são mais indicados, na medida que se perde o domínio sobre a freqüência aplicada e aumenta a possibilidade de provocar distorções na captação pelo microfone, o que pode interferir na resposta impulsiva do ambiente.

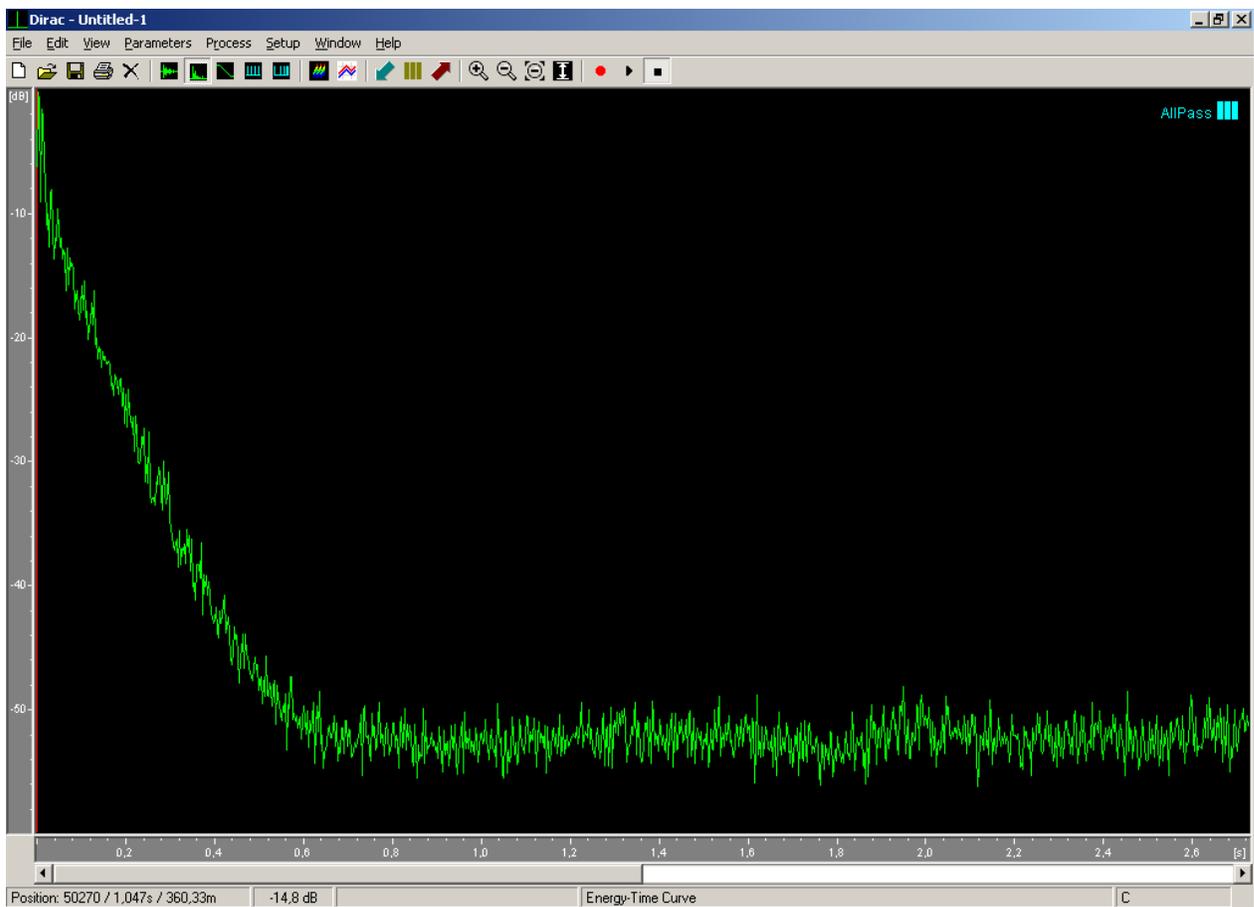


Figura 4.3.3 – Resposta impulsiva energia -tempo.

Mesmo assim, o uso de pistolas e estouros de balões é ainda possível desde que a frequência máxima desejada não seja muito elevada, embora possível, ela não é indicada.

Na figura 4.3.4 são mostradas as características das emissões temporais mais comuns produzidas por fontes impulsivas. Nota-se que os impulsos elétricos são mais adequados para modelos em escala, uma vez que requerem frequências muito altas, enquanto tiros de pistolas são mais adequados às baixas frequências.

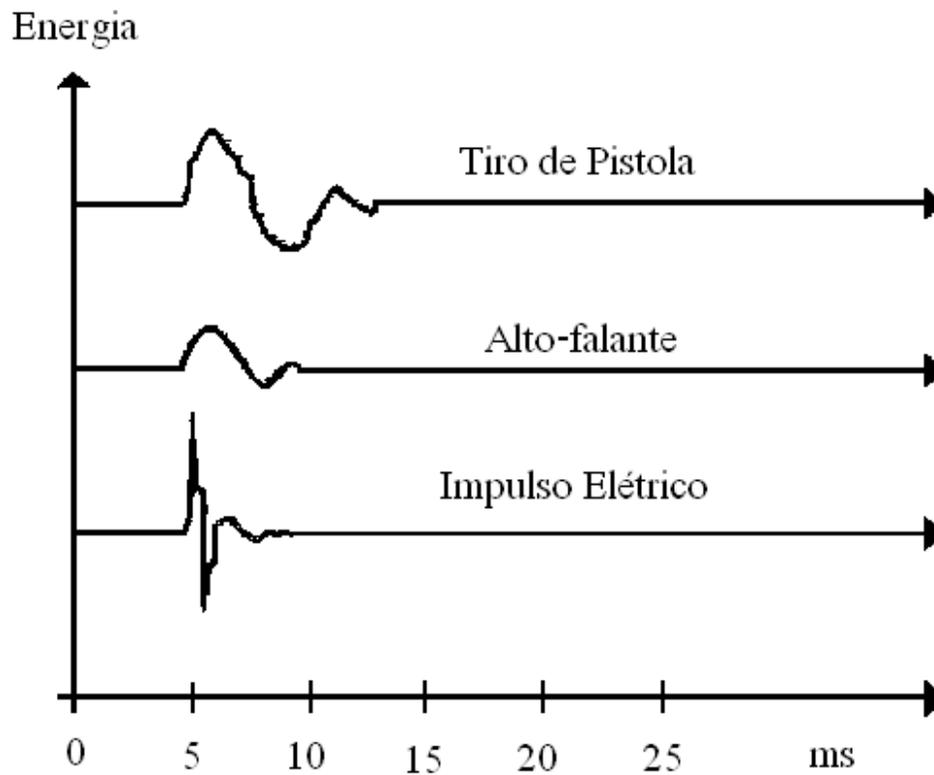


Figura 4.3.4 – Características de várias fontes impulsivas. Fonte: (FARINA, 1986)

Com o objetivo de resolver o problema da influência do tipo de fonte sonora empregada para excitar um ambiente fechado, vários métodos foram propostos, sendo que todos tiveram suas bases lançadas sobre a teoria dos sistemas de propagação Lineares e Invariantes no Tempo (LIT), segundo figura 4.3.5.

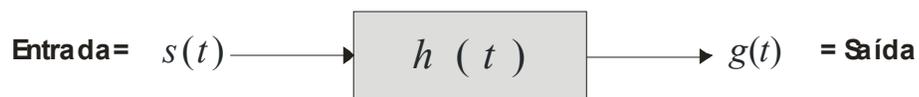


Figura 4.3.5 – Representação de um Sistema Linear e Invariante no Tempo.

Onde  $\mathbf{s(t)}$  é o sinal de excitação emitido pela fonte, o retângulo representa o ambiente “device under test” (DUT, dispositivo a ser ensaiado) dotado de uma resposta ao impulso  $\mathbf{h(t)}$ ; na saída do sistema encontra-se um sinal  $\mathbf{g(t)}$ , sendo este o resultado da

transformação produzida pelo sistema, ou seja, pelo ambiente, sobre o sinal de entrada (MÜLLER; MASSARANI, 2005).

Sendo o sistema linear, o resultado  $\mathbf{g(t)}$ , é a convolução do sinal de entrada com a resposta impulsiva, sendo expresso da seguinte forma:

$$g(t) = s(t) * h(t) \quad (4.1)$$

no qual o asterisco representa operação matemática de convolução.

Para obter o valor da função  $\mathbf{g(t)}$  no instante “ $\mathbf{t}$ ” somam-se os infinitos produtos dos valores da função  $\mathbf{s(t)}$ , avaliado no instante  $\tau$ , para o valor da função  $\mathbf{h(t)}$ , avaliado no instante  $t - \tau$ , com  $\tau$  variando de menos infinito ao infinito. Do ponto de vista matemático, isto pode ser expresso pela integral de convolução:

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)h(t - \tau)d\tau \quad (4.2)$$

Aplicando-se a transformada de Fourier nas três funções reais no domínio do tempo  $\mathbf{s(t)}$ ,  $\mathbf{h(t)}$  e  $\mathbf{g(t)}$ , obtêm-se três funções complexas no domínio da freqüência,  $\mathbf{S(f)}$ ,  $\mathbf{H(f)}$  e  $\mathbf{G(f)}$ ; pois a transformada de Fourier é uma operação matemática usada como filtro numérico de sinais, para gerar o “espectro” ou a análise em freqüência do sinal de origem, sendo definida matematicamente pela integral:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t).e^{-j2\pi ft} dt \quad (4.3)$$

Assim o sinal de saída do sistema pode ser obtido no domínio da freqüência segundo a equação 4.4.

$$G(f) = S(f).H(f) \quad (4.4)$$

Deste modo, a convolução é reduzida a um simples produto entre os espectros complexos das funções de partida.

Ao ser medida a função  $g(t)$ , é possível extrair desta a Resposta Impulsiva  $h(t)$ , independente da fonte sonora utilizada, pois é suficiente aplicar a transformada de Fourier do Refletograma, dividir o espectro complexo  $G(f)$  assim obtido pelo espectro da fonte impulsiva  $S(f)$ , determinado anteriormente, e submeter depois o espectro  $H(f)$  (**Função de Transferência**) resultante da divisão a uma Transformada Inversa de Fourier, deste modo obtendo a desejada função  $h(t)$ .

Assim sendo fica caracterizada a importância da obtenção da Função de transferência para se chegar a Resposta Impulsiva do sistema.

O procedimento é conceitualmente aplicável a qualquer tipo de excitação, também não impulsiva, uma vez que se conhece a característica temporal do sinal de excitação  $s(t)$  ou o seu espectro  $S(f)$  (FARINA, 1986).

Massarani e Müller (2005) apresentaram e analisaram quatro técnicas para obter a Função de Transferência: *Time Delay Spectrometry* (TDS), Análise de FFT de 2 canais, *Maximum Length Sequences* (MLS) e Varreduras e FFT. Concluíram que as varreduras são sinais mais aptos para avaliação de funções de transferência por serem mais imunes a distorções harmônicas e variações de linearidades.

Tendo em vista que o Software utilizado, Dirac – 7841 da Büel & Kjaer, dá a possibilidade de analisar o ambiente por meio de excitações utilizando MLS e Varreduras, além de excitações externas, estas são apresentadas e caracterizadas a seguir.

### 4.3.1 Técnica de Correlação “Maximum Length Sequences” (MLS)

A técnica de Correlação “*Maximum Length Sequences*” (MLS), popularizada na área de acústica na década de 80, pela rapidez de aplicação, alta resolução espectral e grande quantidade de ferramentas para o pós-processamento (MÜLLER; MASSARANI, 2005), emprega um sinal de excitação determinístico. Uma MLS é uma forma especial de Ruído Pseudo-aleatório de Máximo Comprimento, que ao ser repetido periodicamente apresenta uma densidade espectral de potência plana, ou seja, o seu espectro é perfeitamente branco, como mostra a figura 4.3.6. Dentre todos os tipos de ruído, é o que proporciona a melhor Relação Sinal Ruído (SNR).

Este método pode ser vulnerável à não-linearidades do meio, tornando seu uso prejudicado para medição de grandes espaços (MASIERO; IAZZETTA, 2004).

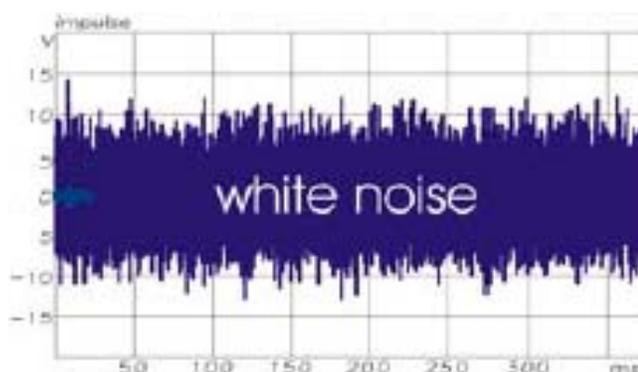


Figura 4.3.6 – Representação temporal de um Ruído Branco. Fonte: (MÜLLER; MASSARANI, 2001)

As seqüências de comprimento máximo gozam da propriedade de terem como função de autocorrelação um impulso de Dirac. Este método oferece uma Relação Sinal Ruído com intensidade suficiente para a aquisição da resposta impulsiva, mesmo em locais que estejam sendo usados ou que apresentam uma grande interferência de ruído de fundo. Este método utiliza a Transformada Rápida de Hadamard (FHT), após a digitalização por um conversor analógico-digital (AD) para o cálculo da resposta impulsiva. Com a aplicação de uma Transformada Rápida de Fourier (FFT), obtêm-se a

Função de Transferência do sistema. Esta função deve ser corrigida multiplicando-se por um espectro de referência obtido previamente por uma medida de resposta própria. Seu esquema de funcionamento é mostrado na figura 4.3.7.

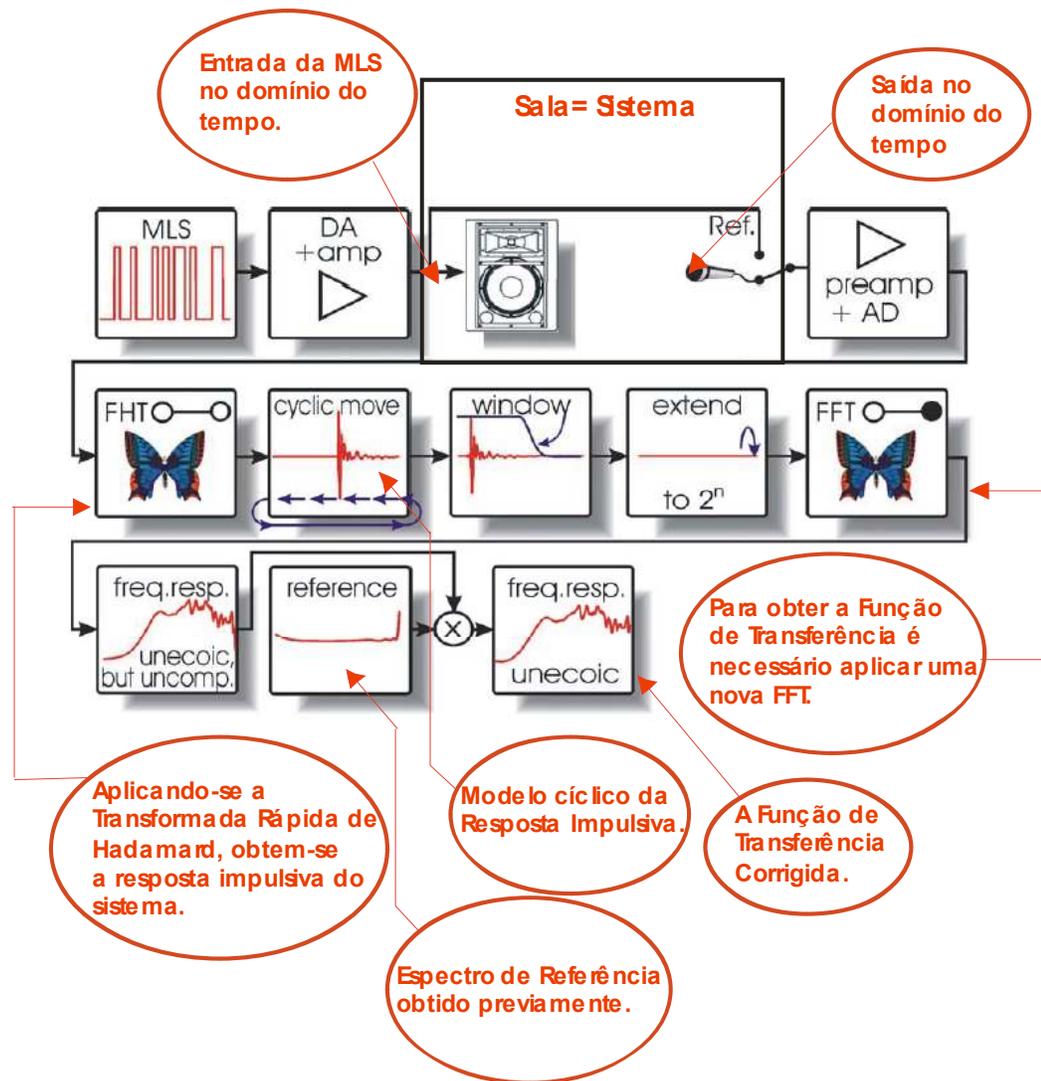


Figura 4.3.7 – Esquema da técnica de correlação “Maximum Length Sequences” (MLS) para obtenção da resposta impulsiva. Fonte: adaptado de (MÜLLER, MASSARANI, 2001)

Com relação a MLS, Müller e Massarani (2005), destacam além das vantagens também as desvantagens de seu uso, na obtenção da Função de Transferência, que são apresentadas no quadro 4.3.1.

Quadro 4.3.1 – Vantagens e desvantagens do uso de MLS. Fonte: Adaptado de (MÜLLER; MASSARANI, 2005)

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Rápido	Baixa Relação Sinal Ruído em baixas frequências.
Alta resolução, exatidão e confiabilidade.	Alta vulnerabilidade a variância no tempo.
Geração fácil do estímulo.	Alta vulnerabilidade a não-linearidades.

#### **4.3.2 Técnica de Deconvolução (Varredura de Senos)**

A Técnica de Deconvolução varredura de senos ou (sweeps) é caracterizada por um sinal sonoro, cuja intensidade permanece constante no tempo enquanto sua frequência aumenta. Esta varredura pode ser linear ou logarítmica. Ao contrário da MLS, este sinal pode ser empregado de forma não repetitiva, devendo-se ter o cuidado de manter a gravação após o término da varredura por um curto prazo para captar toda a reverberação. Mesmo assim, uma medição com varredura demora um pouco mais que a metade de uma medição com ruído pseudo-aleatório (MLS).

Com o uso de um microcomputador e um software adequado, uma varredura (sweep) como sinal sonoro, após passar por um conversor digital/analógico (DA) e um amplificador, é emitido no ambiente por meio de um alto-falante, sendo captado por um microfone conectado ao microcomputador. Como o sinal de excitação e a resposta obtida pelo software são em função do tempo, é necessário aplicar uma Transformada Rápida de Fourier (FFT) tanto no sinal produzido pelo software como no captado pelo microfone, para transformá-los no domínio da frequência. Deste modo, ao se dividir o sinal de saída pelo de entrada, obtêm-se a Função de Transferência do Sistema

também em função da frequência. A seguir é aplicada uma Transformada Inversa de Fourier (IFFT) para finalmente obter a Resposta Impulsiva do sistema (IR) em função do tempo como mostra a figura 4.3.8.

Deve-se selecionar com uma janela, apenas a parte útil do espectro, uma vez que no final da varredura podem ocorrer distorções impostas pelas limitações do alto falante e eventualmente pelo ruído de fundo.

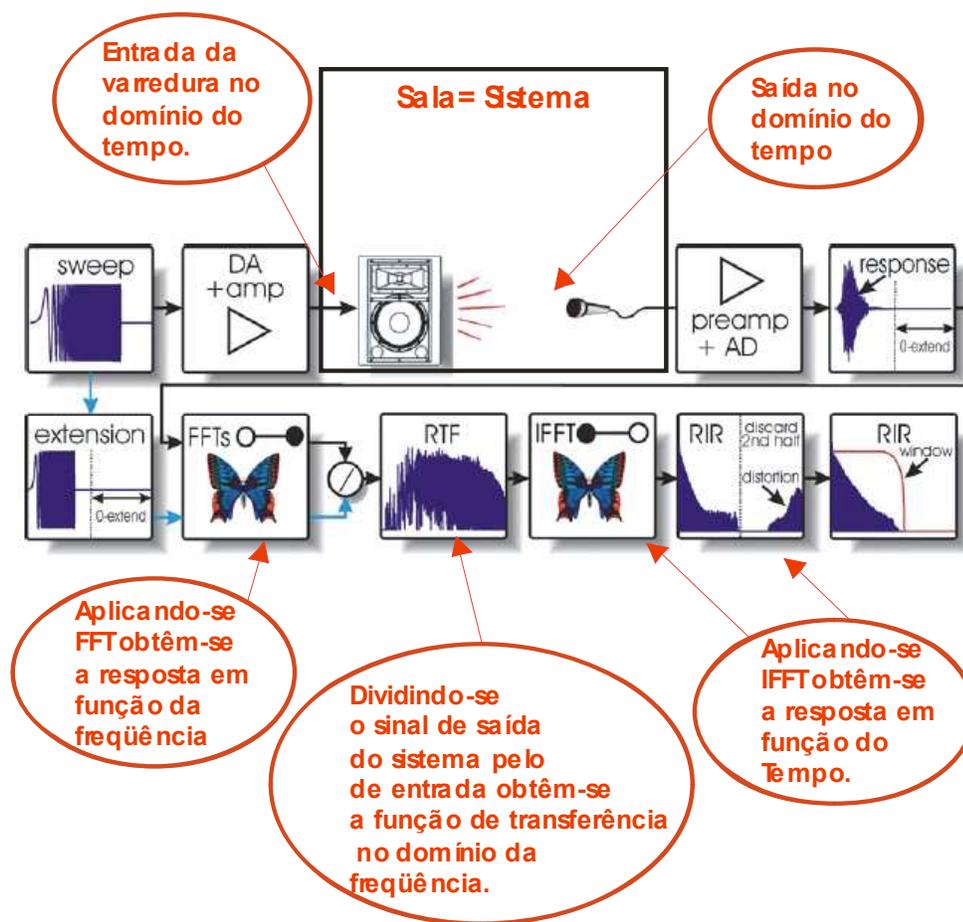


Figura 4.3.8 – Deconvolução linear para obtenção da resposta impulsiva por meio de varredura de senos. Fonte: adaptado de (MÜLLER, MASSARANI, 2001)

No momento, há uma grande tendência em se usar estas varreduras como sinal de excitação, tendo em vista que apresentam uma excelente distribuição de energia em seu espectro o que a torna bastante resistente a não linearidade, ao contrário de uma

MLS que, quando usada, não-linearidades do sistema podem ser notadas na resposta impulsiva como rugosidade do sinal, repetições do sinal deslocadas no tempo e com menor amplitude, sendo que com a varredura é possível isolar completamente resposta impulsiva desejada das componentes presentes, com o uso de janela, citado anteriormente, porque as harmônicas geradas por não-linearidade do sistema aparecem em tempos negativos da IR (MASIERO; IAZZETTA, 2004).

Müller e Massarani (2005), após analisar as quatro técnicas citadas, para a obtenção da Função de Transferência, destacaram as vantagens do uso da Técnica de Varreduras que são:

- 1) Rapidez.
- 2) Alta resolução, exatidão e confiabilidade.
- 3) Altíssima Relação Sinal Ruído alcançável.
- 4) Coloração arbitrária com baixo fator de crista.
- 5) Perfeitamente imune contra distorção harmônica.
- 6) Menos sensível contra variância no tempo.

#### **4.4 O Programa de Computador (Software) Utilizado**

O programa de computador disponível para fazer as análises dos ambientes da presente pesquisa é o DIRAC – Room Acoustics Software – Type 7841 da Brüel & Kjaer, que foi desenvolvido, dentre outras coisas, para medidas dos diversos parâmetros acústicos de salas. Ele é baseado nas análises da resposta impulsiva do ambiente comportando uma grande variedade de configurações de medidas.

Para uma correta avaliação de acordo com o padrão ISO 3382 Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993), pode-se gerar internamente sinais de excitação como MLS ou SWEEP por meio de uma fonte sonora (alto-falante). Ele também permite o uso de sinais de excitação externos, tais como tiros de pistola ou estouro de balões. Com o Dirac também é

possível realizar estudos de inteligibilidade da fala de acordo com a norma IEC 60268-16, tanto para voz masculina como feminina, utilizando tanto a fonte omnidirecional escolhida como o próprio sistema de som do ambiente, levando-se em consideração o impacto do ruído de fundo.

O quadro 4.4.1 apresenta alguns tipos de usos do software Dirac.

Quadro 4.4.1 – Usos do Software Dirac. Fonte: Adaptado de (BRÜEL & KJAER, 2005d).

Medidas das propriedades acústicas de ambientes fechados.
Medidas da inteligibilidade da fala de sistemas sonoros.
Caracterização da acústica de salas antes e depois da modificação.
Comparação das qualidades acústicas de diferentes salas.
Modelagem de acústica de salas usando medidas tomadas em modelos em escala.
Pesquisa e educação em acústica.

O hardware mínimo requerido para o uso do Dirac é um microcomputador com uma placa de som, um amplificador de potência, uma fonte sonora impulsiva, e um microfone conectado à linha de entrada da placa de som. Cada um destes quatro componentes pode ser variado dependendo do tipo de medida a ser executada.

#### **4.4.1 Métodos de Medida**

O programa de computador Dirac suporta vários métodos de medida da resposta impulsiva, os quais estão relacionados com a fonte sonora. Cada método usado depende da situação.

Os métodos internos MLS, Lin-Sweep, ou e-Sweep são precisos, mas requerem uma conexão entre o microcomputador e um alto-falante como fonte sonora ou algum outro sistema.

Os métodos externos MLS, Lin-Sweep, ou e-Sweep não requerem uma conexão entre um microcomputador e uma fonte sonora e outro sistema, sendo útil para longas distâncias. A fonte sonora externa deve, contudo, apresentar requisitos seguros para obter resultados precisos.

O método de ruído externo permite o uso de qualquer fonte de sinal contínuo de banda larga tal como ruído ou música, mas o método é menos preciso, e apenas um canal de medida é disponível.

O método externo impulsivo permite o uso de fontes sonoras de pequenos impulsos, tais como estouro de balões ou tiros, mas este método é o menos preciso de todos (BRÜEL & KJAER, 2005a).

#### **4.4.2 Parâmetros Acústicos**

O programa de computador Dirac pode calcular uma série de parâmetros acústicos, de 1 ou 2 respostas impulsivas, dependendo do tipo de microfones usado durante a medida. Pode-se selecionar até seis tipos de microfone como mostra o quadro 4.4.2, e para cada tipo também são apresentados os parâmetros que podem ser calculados.

Quadro 4.4.2 – Relação entre os tipos de microfones selecionados e os parâmetros a serem calculados. Fonte: (BRÜEL & KJAER, 2005d).

Parameter	Single Omni-directional Microphone	Switchable Omni-bi-directional Microphone	Dual Omni-directional Microphone	Omni-directional + Bi-directional Microphone	Head Simulator	Intensity Microphone Probe
	 Ch1	 Ch1	 Ch1  Ch2	 Ch1  Ch2	 Ch1  Ch2	 Ch1  Ch2
INR	•	•	•	•	•	•
G	•		•			•
EDT, T <sub>10</sub> , T <sub>20</sub> , T <sub>30</sub>	•		•			•
T <sub>S</sub> , C <sub>80</sub> , D <sub>50</sub>	•		•			•
LF		•		•		
LFC						•
IACC					•	
ST <sub>early</sub> , ST <sub>late</sub> , ST <sub>total</sub>	•		•			•
STI (male & female)	•		•			•
RASTI	•		•			•

#### 4.5 Procedimento para Avaliação Acústica das Igrejas.

As igrejas relacionadas estão classificadas como sendo pertencente à segunda, terceira e quarta fase do barroco jesuítico brasileiro, construídas nos primeiros anos século XVIII, ou seja, da centúria 1700, caracterizadas por um retábulo provido de arquivoltas concêntricas, com ornamentação de motivos fitomorfos e zoomorfos de cor dourada, formando um conjunto harmônico (MOURÃO, 1986), decoração conhecida como “talha barroca”, basicamente constituída por um conjunto de esculturas feitas em madeira.

Tendo em vista, que estes adereços e os materiais utilizados, bem como sua forma, e seu estilo arquitetônico como um todo, pode influenciar no seu desempenho acústico, é que foram escolhidas nove igrejas, consideradas as mais importantes, das 53 setecentistas do Estado de Minas Gerais, ou seja, aproximadamente 17 % do total, construídas neste período, e são relacionadas na tabela 4.5.1.

Tabela 4.5.1 – Relação das igrejas selecionadas

<b>IGREJA</b>	<b>LOCAL</b>	<b>DATA</b>	<b>FASE</b>
Catedral de Mariana	Mariana	1713	2 <sup>a</sup>
Matriz de Nossa Senhora do Pilar	São João Del Rei	1721	3 <sup>a</sup>
Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias	Ouro Preto	1729	3 <sup>a</sup>
Nova Matriz de Nossa Senhora do Pilar	Ouro Preto	1730	3 <sup>a</sup>
Matriz de Santo Antônio	Tiradentes	1733	3 <sup>a</sup>
Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo	Ouro Preto	1756	4 <sup>a</sup>
Capela de Nossa Senhora do Rosário	Ouro Preto	1761	4 <sup>a</sup>
Capela de São Francisco de Assis	Ouro Preto	1766	4 <sup>a</sup>
Capela de São Francisco de Assis	São João Del Rei	1774	4 <sup>a</sup>

Para a realização das medições nas igrejas selecionadas, foram escolhidas posições suficientes e representativas para amostrar de modo eficaz o ambiente avaliado, distribuídas entre a Capela-mor e Nave. Para avaliar os parâmetros relacionados com a inteligibilidade da fala, a fonte sonora foi colocada no interior da capela mor, do lado de dentro do altar, com o objetivo de simular a fala do orador (Padre). Para avaliar o parâmetro relacionado com a inteligibilidade musical, a fonte sonora foi colocada no centro do coro.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E ANÁLISES

*“Se a realidade fosse aquilo que aparenta ser,  
a ciência seria desnecessária.”*

*Albert Einstein*

## 5.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os resultados e análises dos parâmetros acústicos obtidos das medições realizadas nas 9 igrejas setecentistas avaliadas no Estado de Minas Gerais. Todos os parâmetros avaliados foram obtidos a partir da resposta impulsiva do ambiente. O parâmetro relacionado à qualidade do ambiente para execução de música Clareza (C80) apresentado neste trabalho foi obtido com a fonte sonora posicionada no coro. Os parâmetros, Definição (D50) e STI, relacionados à inteligibilidade da fala, bem como EDT e TR, foram obtidos com a fonte sonora posicionada dentro da capela-mor, na parte central, em frente ao altar-mor, local destinado à prática religiosa pelos párocos das respectivas igrejas. Todas as medições foram realizadas sem a presença de público.

Antes de dar início às medições nas igrejas selecionadas, foi feito o ajuste do sistema de medição. Para sua realização, foram escolhidas as seguintes posições:

- 1) A fonte sonora identificada como (Fonte 1), relativa a primeira posição da fonte, foi colocada no interior da capela-mor em frente ao altar, com o objetivo de simular a fala do orador (Padre), para avaliar os parâmetros relacionados com inteligibilidade da fala.
- 2) Após a medição nas posições distribuídas entre a capela-mor e a nave, a fonte sonora foi deslocada para o local denominado coro, onde se desenvolve as práticas musicais, sendo identificada como (Fonte 2), para avaliar a inteligibilidade musical.
- 3) Foram escolhidas entre seis e oito posições para a colocação do microfone, com o objetivo de simular o ouvinte. Sendo a posição (P1) sempre dentro da capela-mor; e em alguns casos, onde a capela-mor possui dimensões avantajadas, (P2) também se encontra em seu interior. As demais posições (P3 a P8) foram distribuídas no interior da

nave. As posições foram distribuídas de modo intercalado ao longo do eixo central das igrejas, tendo em vista que possuem um formato simétrico.

A planta baixa e um corte longitudinal de cada igreja, mostrando as posições em que foram colocadas a fonte sonora e as posições de medições são apresentadas nas figuras do Anexo A. Cabe salientar que os projetos apresentados neste apêndice foram digitalizados pelo autor, a partir de projetos obtidos de alguns administradores das igrejas e do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). As medidas internas foram conferidas in loco.

Todo e qualquer experimento é limitado por problema de ordem prática que nem sempre é possível prever no planejamento inicial. Estas limitações acabam por determinar a direção possível que a pesquisa deve tomar.

Por motivos vários, das nove igrejas avaliadas, em três não foi possível levar a fonte sonora ao coro, sendo elas: Sé de Mariana, Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto e Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

De qualquer maneira, mesmo com algumas dificuldades, as medições apresentaram a confiabilidade necessária, pois se buscou obter uma relação impulso ruído (INR) acima de 40 decibels, recomendado pelo fabricante do programa de computador utilizado. As figuras do Apêndice A apresentam uma amostra dos resultados dessas relações para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, na posição 3 de cada igreja avaliada. Pode-se observar, que no geral, houve uma relação bastante homogênea para todas as frequências.

Para efeito de simplificação, as igrejas também são identificadas segundo abreviaturas relacionadas na tabela 5.1.1.

Tabela 5.1.1 – Relação das igrejas selecionadas suas abreviaturas.

<b>IGREJA E LOCAL</b>	<b>ABREVIATURA</b>
Catedral de Mariana	SÉ-MA
Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei	MNSP-SJDR
Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto	MNSC-OP
Nova Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto	MNSP-OP
Matriz de Santo Antônio de Tiradentes	MSA-TI
Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto	CNSC-OP
Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto	CNSR-OP
Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto	CSFA-OP
Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei	CSFA-SJDR

Para efeito de análise das qualidades acústicas destas igrejas, foram também levantados seus parâmetros arquitetônicos relevantes tais como: as áreas de cada tipo de acabamentos utilizados nos tetos, paredes e pavimentos. O volume total do ambiente, a capacidade de público, e os percentuais de talhas barrocas e de madeiras presentes, bem como da existência de túmulos em seus pavimentos, quadro 5.1.1.

Quadro 5.1.1 – Parâmetros Arquitetônicos das Igrejas Avaliadas.

<b>IGREJAS</b> <b>DIMENSÕES</b>	<b>SÉ-MA</b>	<b>MNSP-SJDR</b>	<b>MNSC-OP</b>	<b>MNSP-OP</b>	<b>MSA-TI</b>	<b>CNSC-OP</b>	<b>CNSR-OP</b>	<b>CSFA-OP</b>	<b>CSFA-SJDR</b>
<b>Área dos pisos em madeira (m<sup>2</sup>)</b>	467	447	373	337	420	287	187	338	459
<b>Área dos tetos em madeira (m<sup>2</sup>)</b>	481	398	631	484	321	453	280	458	595
<b>Área das talhas barrocas (m<sup>2</sup>)</b>	294	235	198	176	183	179	194	181	318
<b>Área das paredes em madeira (m<sup>2</sup>)</b>			248	1079					
<b>Área das paredes em cal (m<sup>2</sup>)</b>	815	937	702	241	797	1062	766	1233	1543
<b>Área total das paredes (m<sup>2</sup>)</b>	1109	1172	1148	1496	980	1241	960	1414	1861
<b>Área total das superfícies (m<sup>2</sup>)</b>	2057	2017	2152	2317	1721	1981	1427	2210	2915
<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>	5298	4587	4930	4997	4710	5204	4269	4796	8405
<b>Capacidade</b>	210	410	330	300	200	260	210	280	300
<b>Percentual de talhas barrocas</b>	14,3	11,7	9,2	7,6	10,6	9,0	13,6	8,2	10,9
<b>Percentual de áreas em madeira</b>	60,4	53,5	67,4	89,6	53,7	46,4	46,3	44,2	47,1
<b>Presença de tumbas no pavimento</b>	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não

## 5.2 Parâmetro Acústico Clareza (C80)

O parâmetro acústico Clareza (C80) está relacionado à inteligibilidade das articulações das notas musicais. O seu valor é determinado pela razão da energia da resposta impulsiva que chega ao ouvinte nos primeiros 80 ms e a energia tardia total que chega após 80 ms. Deste modo, o mais importante é que haja um equilíbrio entre esses valores. Ou seja, quanto mais próximo de zero dB, melhor o equilíbrio entre a clareza percebida e a reverberação.

As figuras de 5.2.1 a 5.2.6 apresentam os parâmetros acústicos Clareza (C80), das seis igrejas onde foi possível realizar as medições no coro, entre as seis posições

de medição e a fonte sonora, para as bandas de freqüências centrais de 1/1 oitava entre 125 Hz e 4000 Hz, das seis igrejas onde foi possível fazer a sua avaliação a partir do coro.

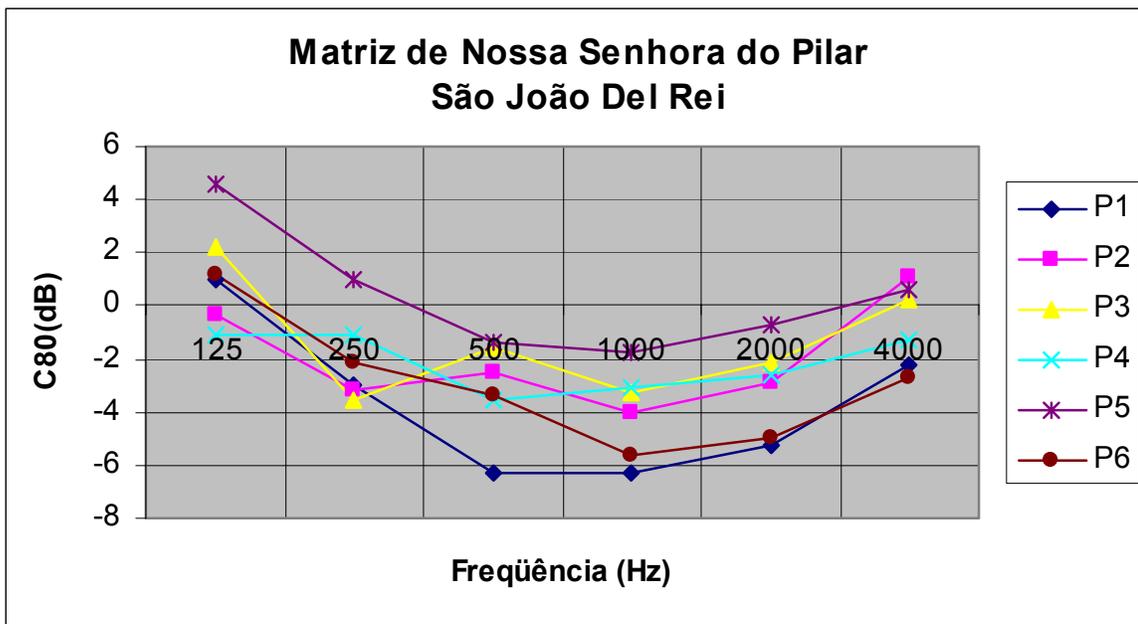


Figura 5.2.1 – Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MNSP-SJDR.

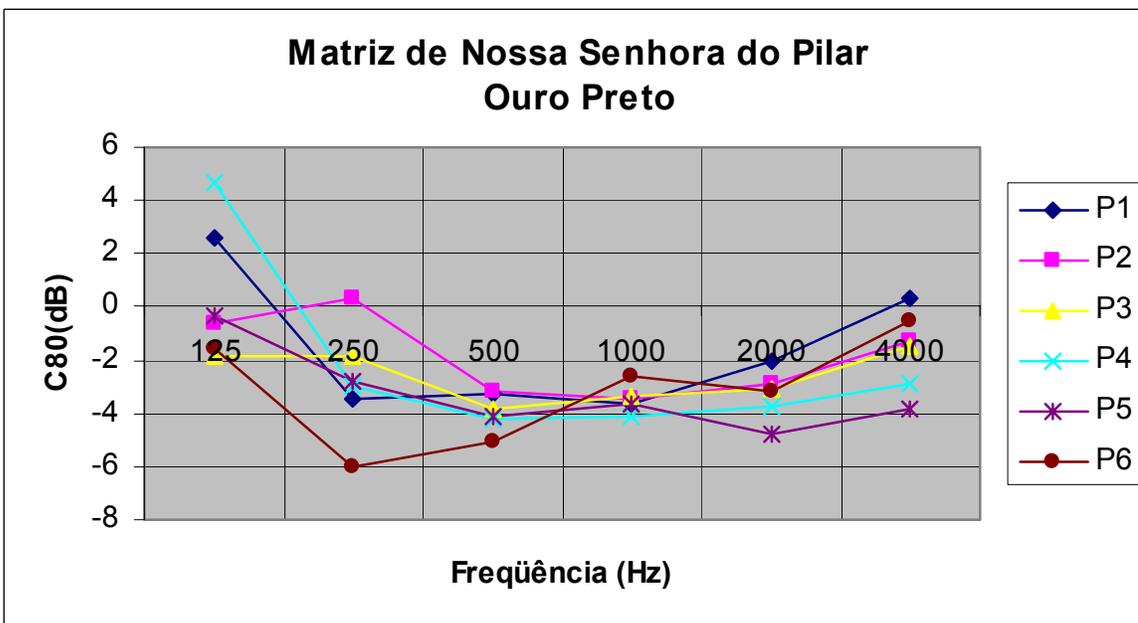


Figura 5.2.2 – Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MNSP-OP.

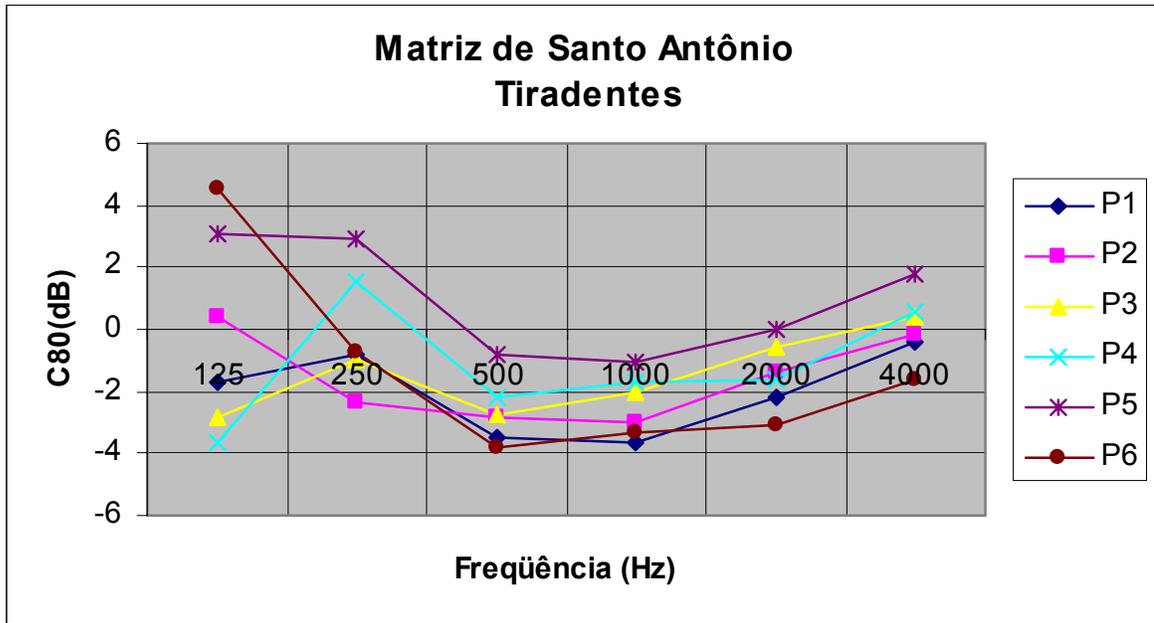


Figura 5.2.3 – Clareza (C80): 6 posições de medição, igreja MSA-TI.

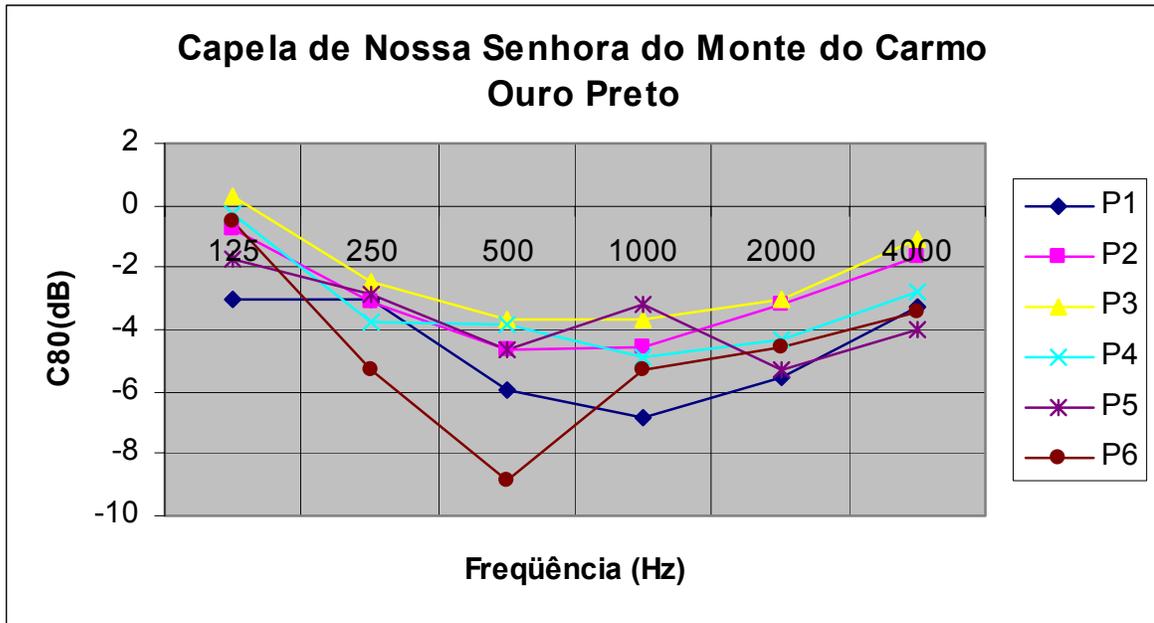


Figura 5.2.4 – Clareza (C80): 6 posições de medição, CNSC-OP.

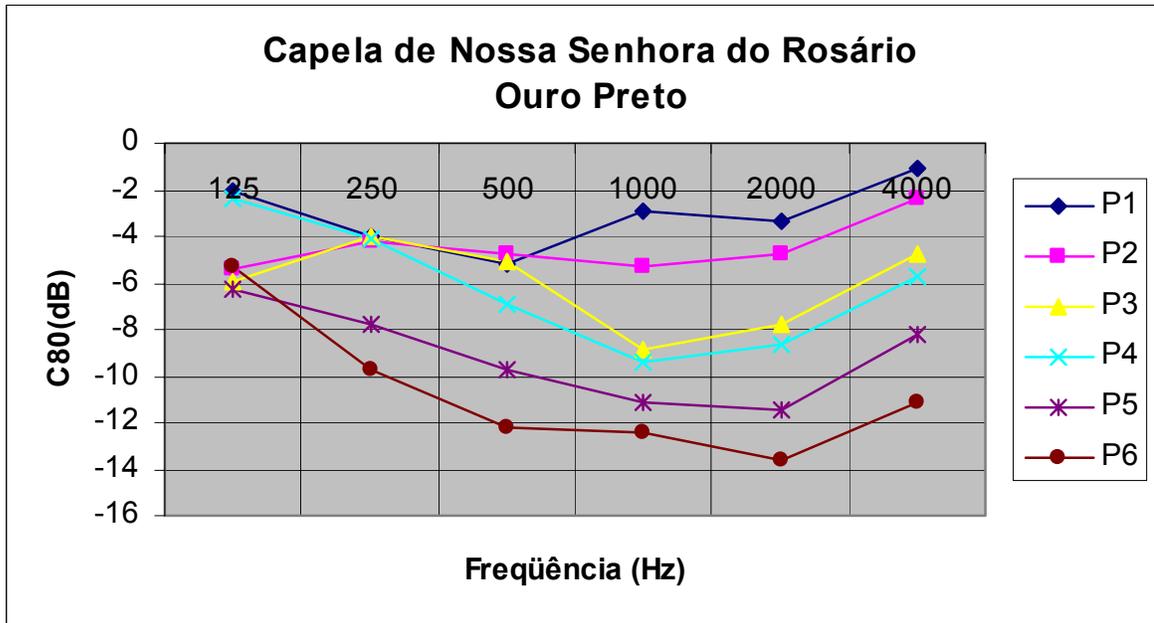


Figura 5.2.5 – Clareza (C80): 6 posições de medição, CNSR-OP.

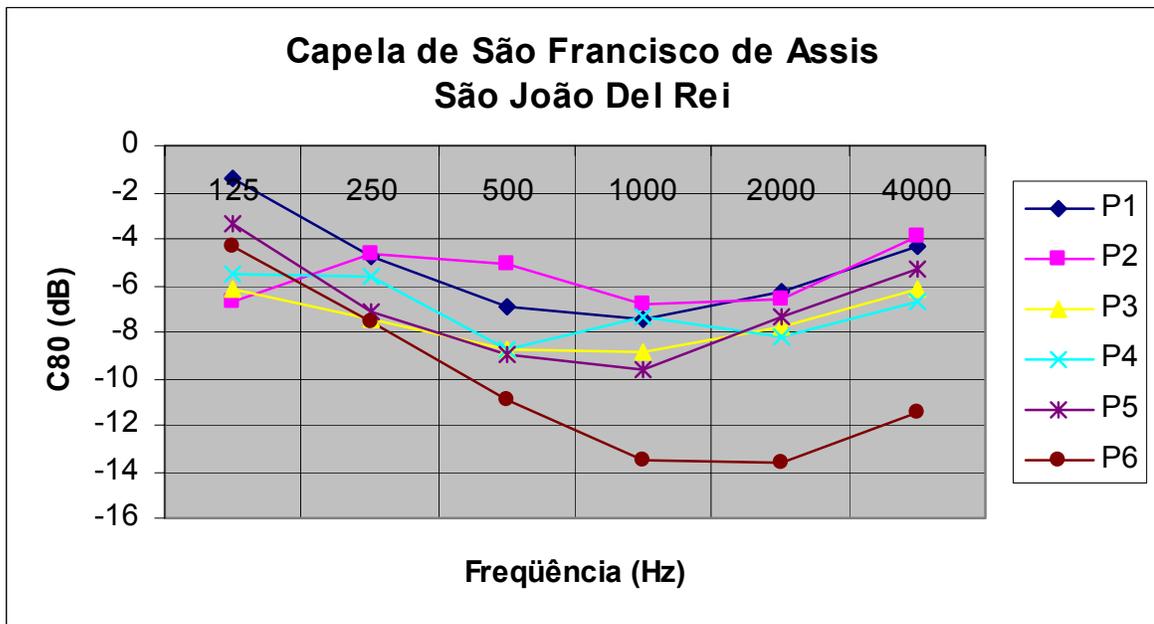


Figura 5.2.6 – Clareza (C80): 6 posições de medição, CSFA-SJDR.

Cabe salientar que ainda não há um estudo preciso informando qual o melhor valor do parâmetro acústico clareza que um ambiente deve proporcionar. Sabe-se porem, que cada estilo musical admite variações neste índice, mediante as articulações

das notas musicais pertinentes a cada um. Por exemplo, uma sala construída no período romântico não é estritamente adequada à execução de música do período clássico (TENENBAUM e VASCONCELLOS, 2004). Segundo Beranek (1962), a música sacra barroca composta no século XVIII, se destacava pelo estilo contrapontual de melodia, exigindo um maior destaque em suas articulações. Caso a clareza de uma nota musical não fosse perfeitamente percebida poderia mascarar a nota subsequente, influenciando de forma negativa na qualidade da audição musical.

Fabrizi *et al.*, (1998), define uma faixa de valores ótimos para o parâmetro Clareza (C80) entre -2 dB e 2 dB. Sendo estes valores perfeitamente aceitáveis entre -4 dB e 4 dB.

Destas seis igrejas onde são apresentados os valores do parâmetro acústico clareza: a igreja MNSP-OP classificada como pertencente a 3ª fase do barroco brasileiro, bem como as igrejas CNSR-OP e CSFA-SJDR pertencentes a 4ª fase, possuem a forma de elipse. As igrejas MNSP-SJDR e MSA-TI pertencentes a 3ª fase, bem como a igreja CNCS-OP pertencente a 4ª fase, possuem o formato retangular. Deste modo, cabe apresentar e analisar os dois formatos em separado.

Pode-se observar que nas igrejas com formato de elipse os resultados de C80 são todos negativos, exceção feita para as posições (P1) e (P4) da igreja MNSP-OP e em baixa frequência. Este fato pode ser explicado pela sua forma que possibilita uma concentração maior de energia após os 80 ms da resposta impulsiva. Isto é, há uma predominância das reflexões tardias sobre as reflexões iniciais. Observa-se também que nestas igrejas há uma certa homogeneidade em relação às frequências analisadas. Ou seja, a curva de C80 é mais plana. Isso provavelmente possibilita uma melhor audição, uma vez que a quantidade de energia nas diversas frequências são mais próximas. Este fato pode ser explicado pela difusão sonora proporcionada pela presença das talhas barrocas, (CARVALHO e LENCASTRE, 2002). Tanto que para a igreja CNSR-OP, que possui um percentual maior de talhas, o parâmetro clareza é mais bem distribuído nas várias frequências.

Outro fato que cabe destaque também nas igrejas em forma de elipse é a similaridade existente entre elas na distribuição de energias com relação às posições de medição, ou seja, as posições mais distantes da fonte sonora (coro) respondem com um equilíbrio maior, embora um pouco distante do ideal, como no caso das igrejas CNSR-OP e CSFA-SJDR para as posições entre o coro e centro da nave. Isso pode ser comprovado, pois quando a fonte sonora é acionada no coro tem-se a nítida sensação de que o som está sendo produzido na frente do ouvinte. Possivelmente influenciado pelo acoplamento entre a nave e a capela-mor (CARVALHO, 2005).

De maneira geral, na medida que se distancia da fonte sonora há uma sensível melhora do parâmetro clareza. Isso pode ser explicado, tanto pela altura em se apóia o coro como pela influência do som difratado por sua balaustrada. Isso é bem visível nas igrejas CSFA-SJDR, CNSR-OP, onde microfone está situado bem abaixo do coro. Observa-se que há uma melhora deste parâmetro na posição equivalente na MNSP-OP, uma vez que o microfone fica mais afastado no sentido do centro da nave.

Embora, as igrejas em forma de elipse, apresentando valores não muito indicados para o parâmetro acústico clareza, são consideradas pelos responsáveis de sua administração e regentes de coro, de excelente desempenho acústico, com notória fama disseminada pela comunidade católica. Esta informação foi obtida durante as medições e esta avaliação pode ter sido influenciada pela forma atípica de suas arquiteturas.

É importante observar ainda, que dentre as igrejas em forma de elipse, há uma melhora substancial deste parâmetro acústico clareza, com o aumento das superfícies em madeira. As igrejas CNSR-OP e CSFA-SJDR com uma área proporcional em torno de 47 % apresentam C80 bem similares e não muito adequados. Por outro lado igreja MNSP-OP, com uma proporção em torno 89,6 % de superfícies em madeira já possui C80 dentro da faixa ideal.

Contrariando as mais otimistas expectativas e informações obtidas a cerca das qualidades acústicas das igrejas barrocas, as de formato retangular apresentaram uma clareza excepcional tanto com relação às posições como para as frequências avaliadas. Principalmente a igreja MSA-TI onde os valores de C80 variaram entre -4 dB e 4 dB indicando que o ambiente é capaz de proporcionar uma ótima percepção das articulações das notas e acordes musicais.

É importante observar a similaridade dos parâmetros acústicos C80 entre as três igrejas retangulares, com destaque para as igrejas MNSP-SJDR e MSA-TI onde são quase idênticos. Isto é facilmente explicado, uma vez que possui percentagem de talhas barrocas e percentagem de superfícies em madeira muito próximas. Na igreja CNSC-OP as posições de medições mais próximas (P6) e mais distante (P1) apresentam valores que escapam um pouco do ideal, o que confirma a influência das percentagens de superfícies de madeira e talhas barrocas que neste caso são menores que as anteriores. Entretanto, as demais posições, região central da nave e entrada da capela-mor, os valores se mostram plenamente adequados.

Ao se analisar os parâmetros acústicos clareza C80 levando-se em consideração as posições de medição, nota-se também no caso das igrejas com formato retangular que a posição mais próxima da fonte sonora (P6) é influenciada pela posição em relação ao coro e sua balaustrada. Este fato pode ser observado com mais clareza na igreja CNSC-OP, tendo em vista que esta posição se encontra quase sob o coro. Destaca-se também para estas igrejas que a posição de medição dentro da capela-mor teve seu resultado prejudicado em média frequência, ao contrário das igrejas em forma de elipse.

Na análise do parâmetro C80 levando-se em consideração o volume de cada igreja, tanto as que possuem a forma de elipse como as retangulares, nota-se que este parâmetro arquitetônico tem pouca ou nenhuma influência sobre seu resultado. Isso pode ser constatado ao se comparar CNSC-OP no qual o volume é maior que o da MNSP-SJDR e, no entanto, ambas possuem C80 dentro de uma mesma faixa. Da

mesma forma, e com mais destaque, a igreja CSFA-SJDR possui um volume muito maior que a CNSR-OP, entretanto C80 é bem semelhante, tendo uma pequena melhora em média e altas freqüência nas posições mais distantes da fonte sonora.

As médias em freqüência do parâmetro acústico Clareza de cada igreja onde foi possível fazer a medição no coro são apresentadas na figura 5.2.7.

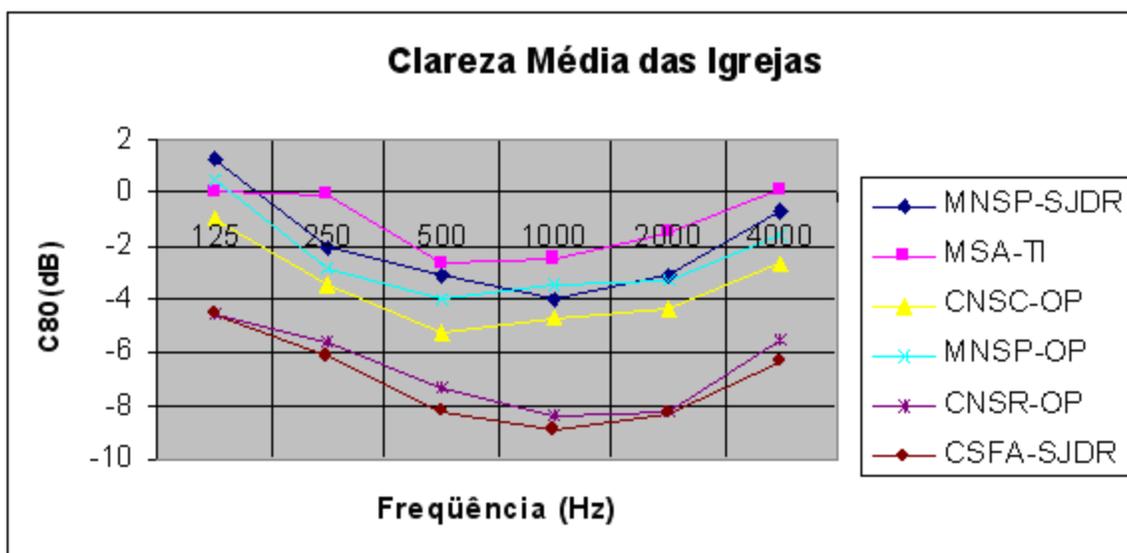


Figura 5.2.7 – Clareza média das igrejas avaliadas.

Em resumo pode-se afirmar que os parâmetros forma e materiais de acabamento são fundamentais na determinação da qualidade acústica para prática da música em uma igreja. As igrejas em formato retangular tiveram um equilíbrio dentro da faixa ideal segundo a bibliografia já citada, exceto a igreja CNSC-OP e em algumas freqüências, tendo como fundamento a redução do percentual de talhas barrocas e superfícies de madeira. Da mesma forma as igrejas em forma de elipse CNSR-OP e CSFA-SJDR apresentaram C80 pouco adequados, mesmo possuindo percentuais de talhas barrocas e percentuais de superfície de madeira semelhantes aos das igrejas retangulares. Esta situação só é revertida quando se excede a quantidade de talhas e madeiras, como é o caso da igreja MNSP-OP, tendo seu valor considerado ótimo.

### 5.3 O Parâmetro Acústico “Tempo de Decaimento Inicial” (EDT)

A percepção auditiva da reverberação está intimamente relacionada ao EDT, dando a sensação de estar dentro de um ambiente extremamente vivo quando seu valor for alto. O seu cálculo é realizado em um curtíssimo espaço de tempo, no limite do decaimento entre 0 e -10 dB na curva integrada de Schoroeder. Segundo Cocchi, Garai e Tavernelli (2000), o EDT é considerado subjetivamente mais importante que TR em relação à percepção da reverberação. Estando TR mais relacionado com as propriedades físicas do ambiente.

Os resultados de EDT para bandas de freqüências centrais de 125 a 4000 Hz, obtidos das medições realizadas nas várias posições entre a capela-mor e a nave das igrejas barrocas construídas no século XVIII no Estado de Minas Gerais, são apresentados nas figuras 5.3.1 até 5.3.9. Para todas as igrejas o EDT foi medido com a fonte sonora colocada dentro da capela-mor, no local onde o padre celebra missa.

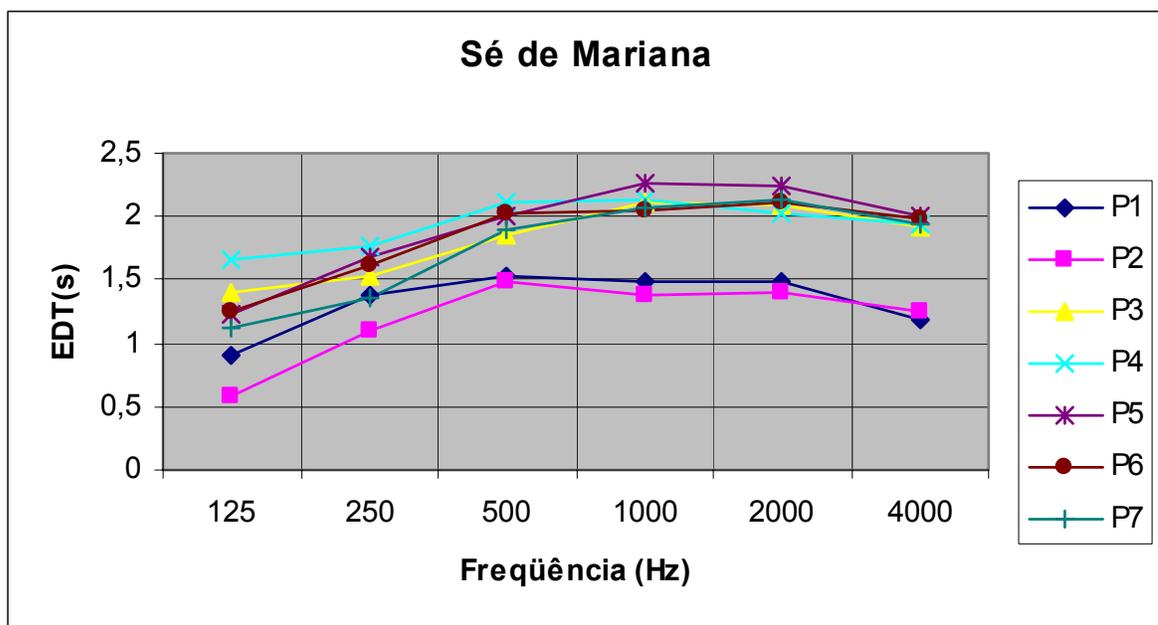


Figura 5.3.1 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 7 posições de medição, SÉ-MA.

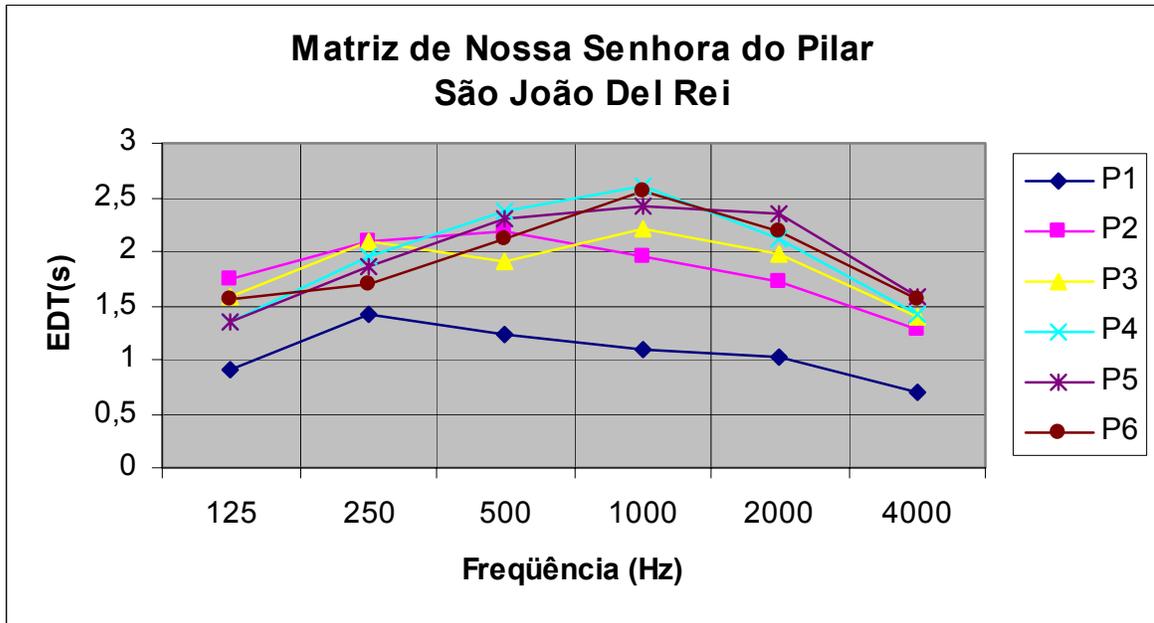


Figura 5.3.2 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSP-SJDR.

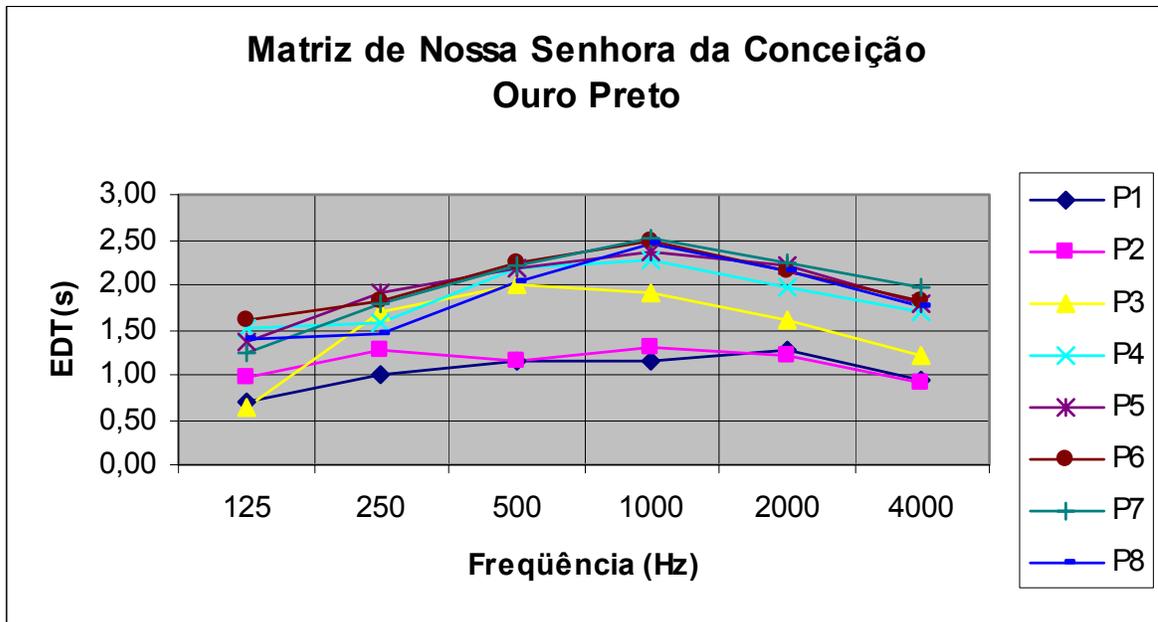


Figura 5.3.3 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 8 posições de medição, MNSC-OP.

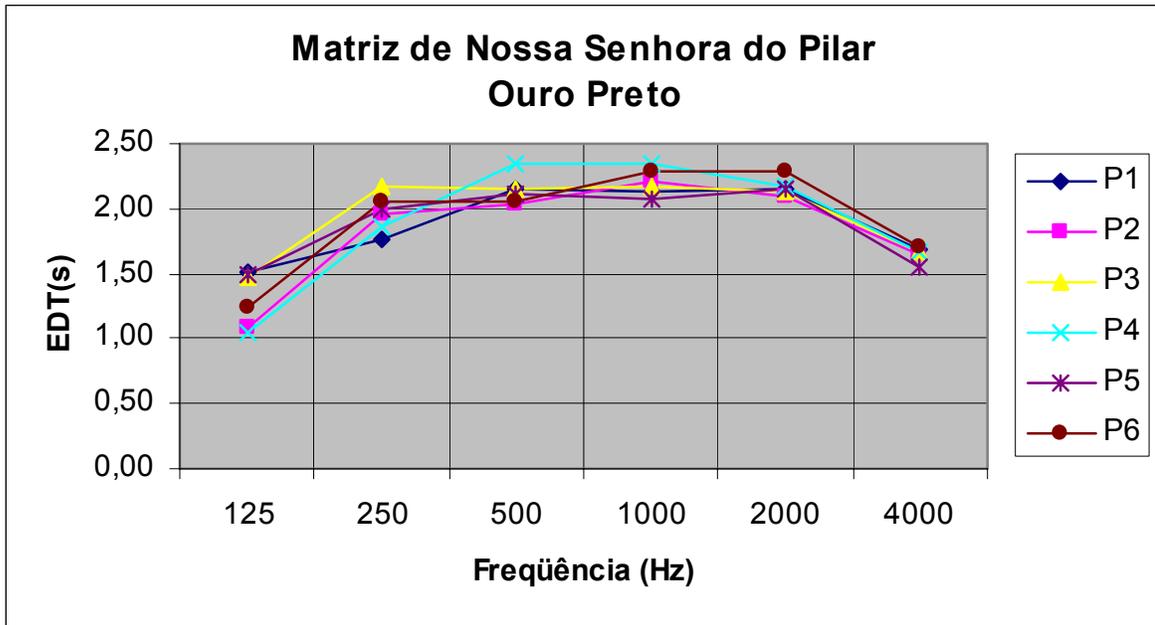


Figura 5.3.4 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSP-OP.

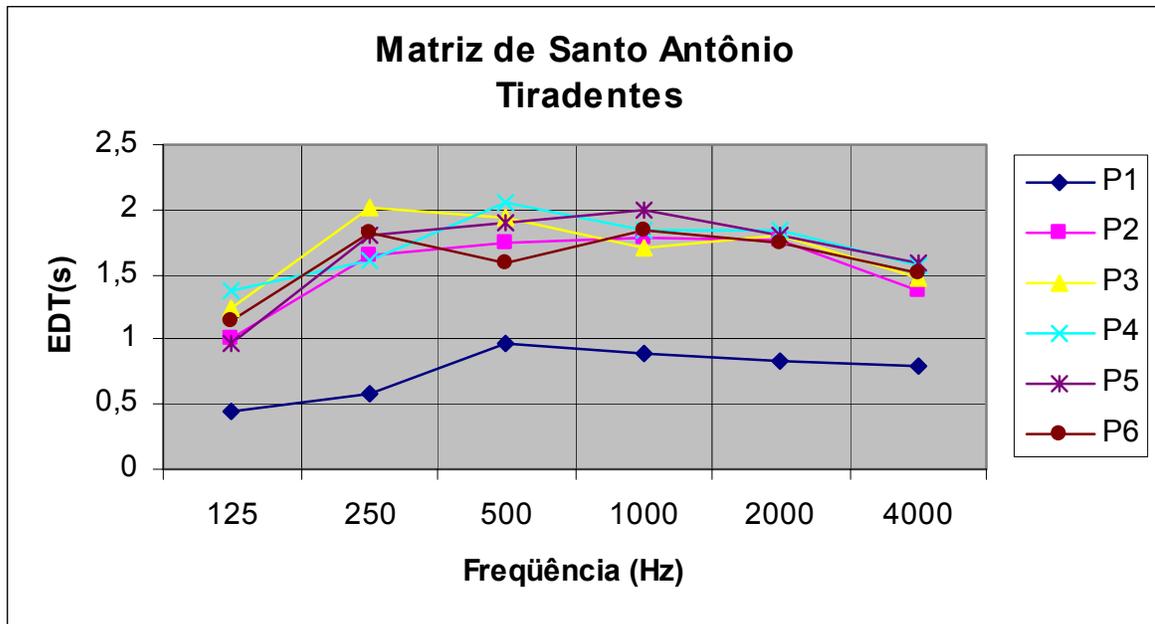


Figura 5.3.5 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MSA-TI.

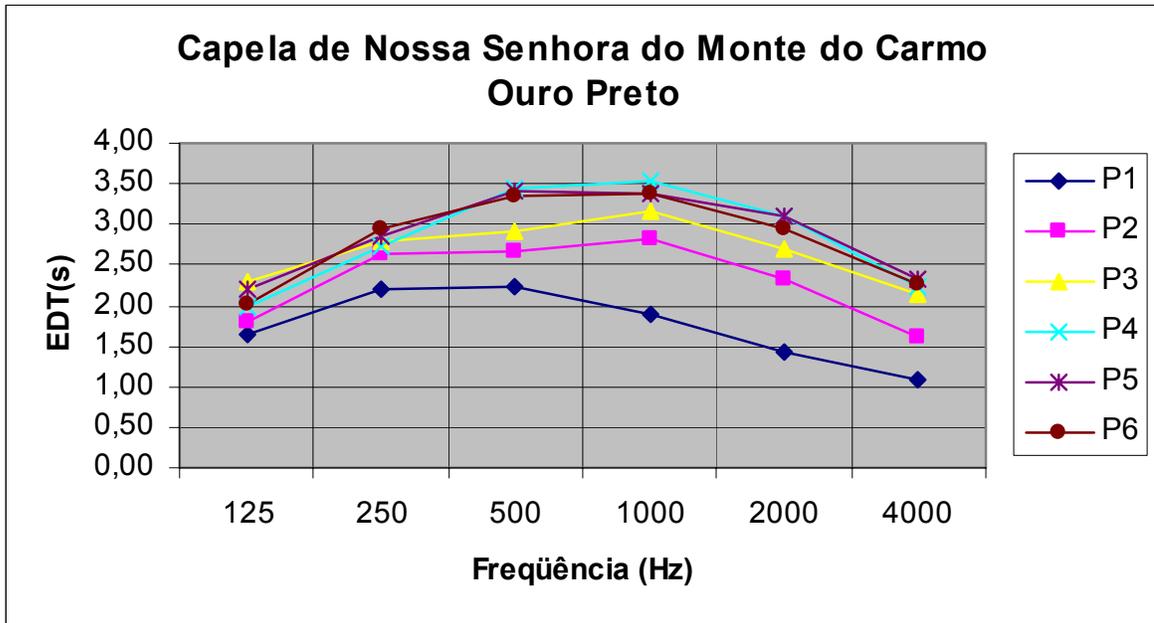


Figura 5.3.6 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, MNSC-OP.

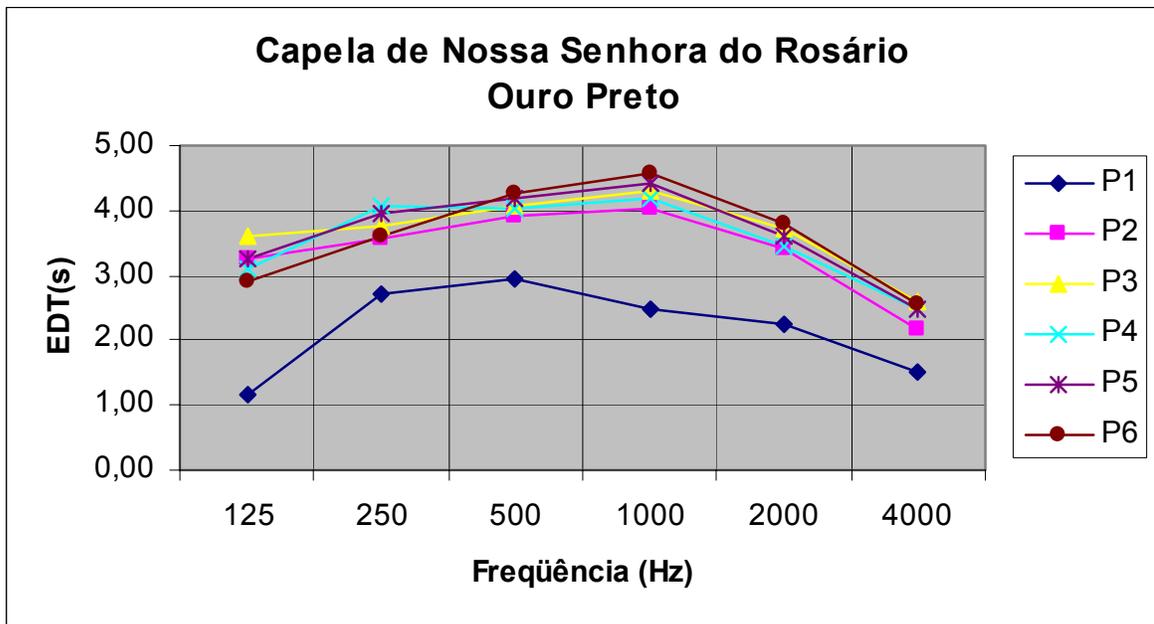


Figura 5.3.7 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CNSR-OP.

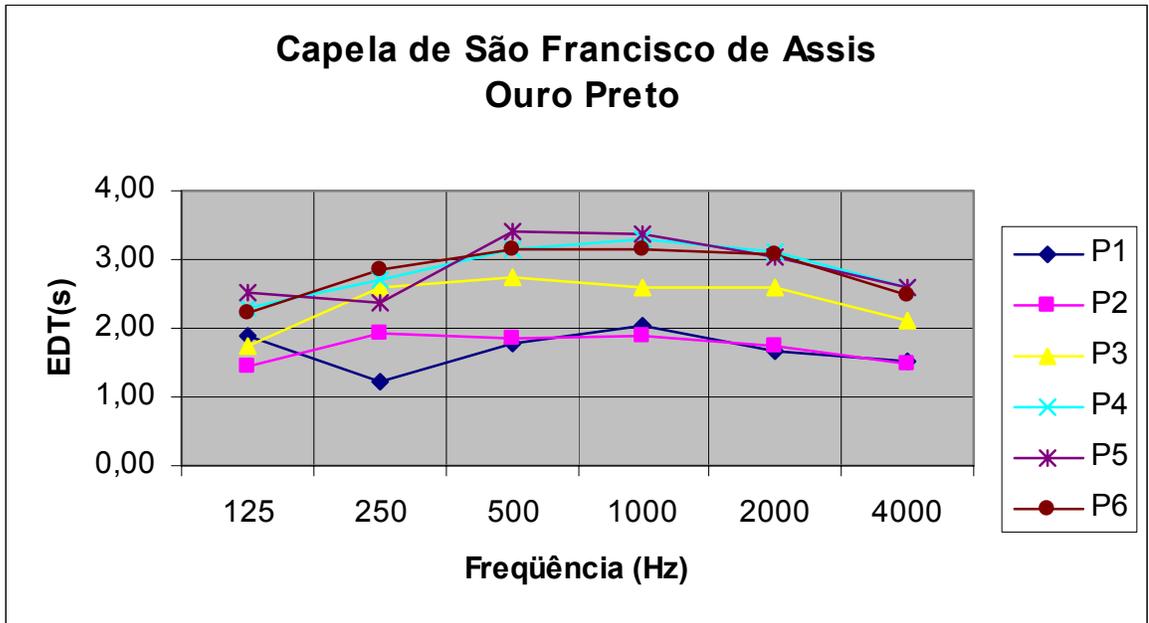


Figura 5.3.8 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CSFA-OP.

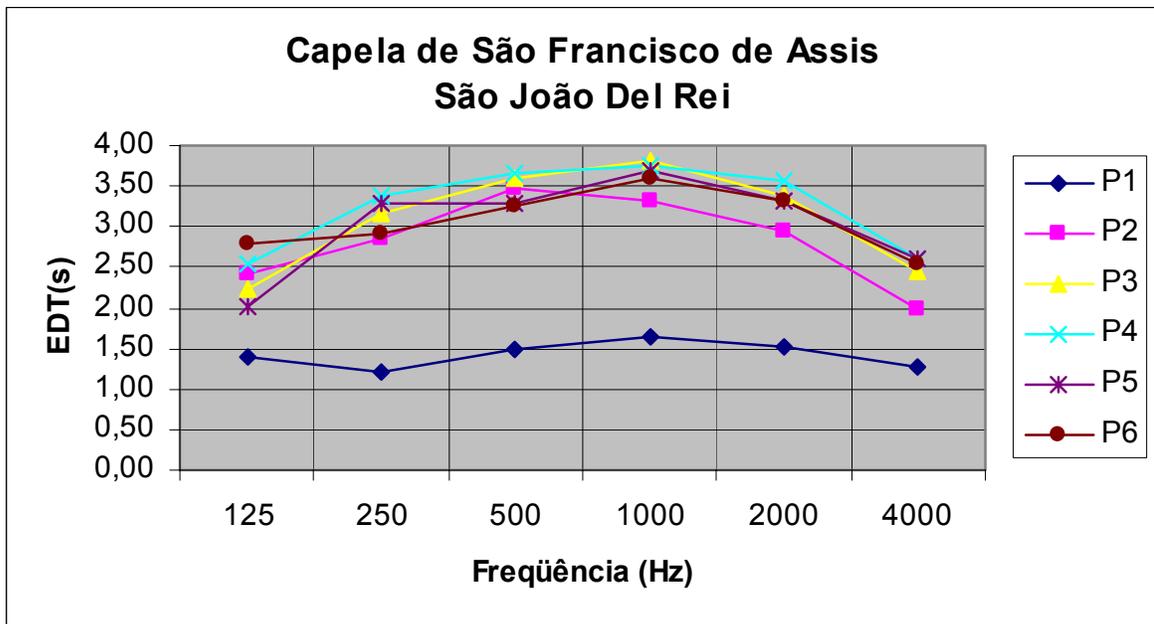


Figura 5.3.9 – Tempo de decaimento inicial (EDT) das 6 posições de medição, CSFA-SJDR.

Da mesma forma como o parâmetro acústico apresentado e analisado anteriormente, é importante inicialmente apresentar os resultados do EDT separando as igrejas em dois grupos: as que foram construídas em formato de elipse e as foram construídas em formato retangular.

De um modo geral, o EDT apresenta valores menores nas posições mais próximas da fonte sonora e tende a aumentar para as posições mais distantes. Isso se deve, por um lado à influência do som direto, e por outro por estar dentro da capela-mor, ambiente este de menores dimensões. Pode-se afirmar, que a forma também tem sua influência. Pois esta situação é mais aparente nas igrejas em forma de elipse CNSR-OP e CSFA-SJDR, aonde as diferenças do EDT da posição (P1) para as demais chegam a 2 segundos. Pois o campo acústico acaba sendo praticamente dividido em dois pela grande concentração de energia, principalmente em médias frequências, dentro da nave e que se destaca mais na igreja CSFA-SJDR. Uma diferença tão acentuada como esta não ocorre com as igrejas em forma retangular.

É importante observar, que no caso das igrejas setecentistas a forma tem maior influência sobre o aumento do EDT, isso é claramente evidenciado entre as igrejas CNSR-OP e CSFA-SJDR, onde seus percentuais de talhas barrocas e madeiras são aproximados, entretanto o volume da igreja CNSR-OP é 50 % menor que da CSFA-SJDR. Os EDT obtidos além de maiores são muito semelhantes em todas as frequências e posições de medição.

Ao se observar os resultados de EDT das igrejas em formato retangular, nota-se que as igrejas SE-MA, MNSP-SJDR, MNSC-OP e MSA-TI pertencentes a segunda e terceira fases do barroco brasileiro, apresentam uma impressionante similaridade tanto no tempo quanto nas várias frequências. Os valores de EDT variam entre 1 e 2,5 segundos em 1000 Hz. Observa-se que as igrejas destas duas fases têm seus percentuais de superfícies de madeira variando de 53,5 % a 67,4 % e seus percentuais de talhas barrocas variando entre 9,2 % e 14,3 %, o que certamente influenciou esta

homogeneidade. Mais uma vez se constata a pouca influência do volume do ambiente, pois a igreja SE-MA, com volume maior, apresenta EDT reduzido frente às demais.

Já as igrejas retangulares, pertencentes à quarta fase do barroco como CNSC-OP e CSFA-OP perdem a homogeneidade de EDT em relação às várias frequências, tendo seus valores reduzidos nas baixas e altas, e ampliado nas médias. Os valores de EDT variam entre 2 e 3,5 segundos em 1000 Hz. Este aumento de EDT em relação às demais, se deve a redução do percentual de talhas barrocas e superfícies de madeira das igrejas pertencentes a quarta fase, que tem seus percentuais variando entre 8 % a 9 % de talhas barrocas e 44,2 % a 46,4 % de superfícies de madeira.

De maneira geral, o EDT de todas as igrejas avaliadas possuem características comuns. Tendo seus valores reduzidos em baixas e altas frequências. Os valores de EDT reduzidos em baixa frequência podem estar relacionados à presença dos altares colaterais, onde seus nichos funcionam como ressonadores. Tanto que nas posições mais distantes da fonte sonora, próxima à entrada da igreja, os valores de EDT tendem a ser mais elevados, tendo em vista que nestas posições há uma menor presença de superfícies revestidas de madeira e talhas. Dando lugar a grandes superfícies revestidas com argamassa de cal e areia, que funcionam como superfícies refletoras. Aumentando nesta região a percepção da reverberação. Esta situação pode ser facilmente constatada nas igrejas MNSP-SJDR e CNSC-OP.

A redução de EDT em altas frequências está diretamente relacionada à presença das talhas barrocas. Pois os seus altos e baixos relevos, funcionando como armadilhas sonoras, atenuando os sons de alta frequência, tendo em vista que possuem pequenos comprimentos de onda. Os altos e baixos relevos também ampliam a real superfície de madeira exposta ao campo acústico, aumentando proporcionalmente a absorção sonora.

As figuras 5.3.10 e 5.3.11 apresentam EDT médio das igrejas avaliadas.

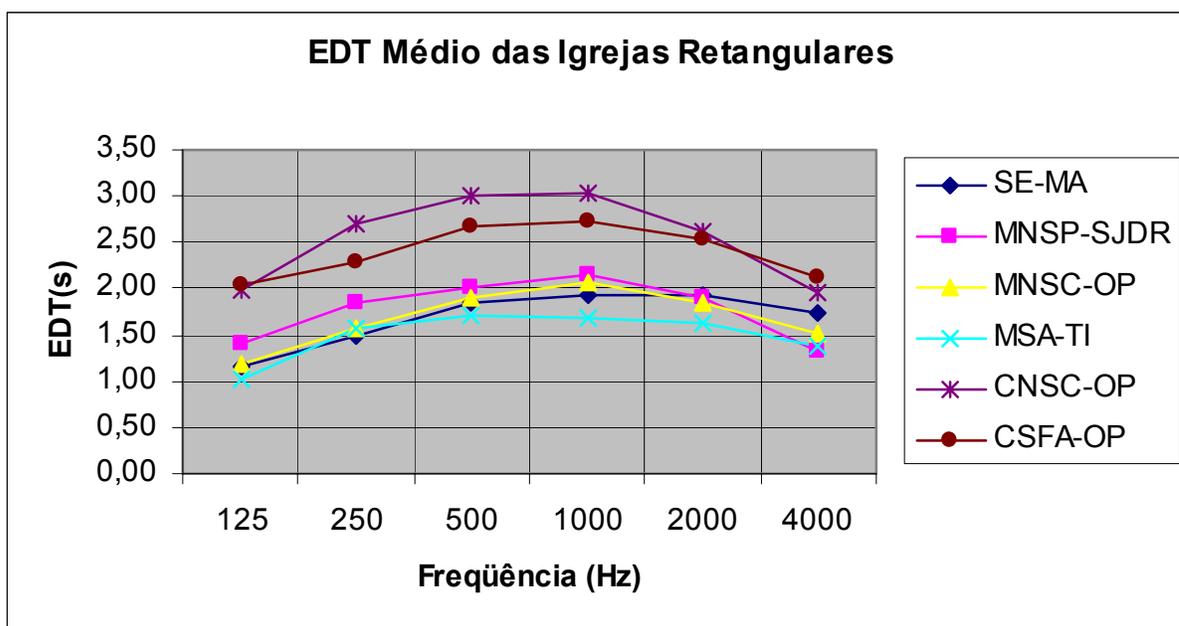


Figura 5.3.10 – EDT médio das igrejas em formato retangular.

É importante destacar que as igrejas de um modo geral apresentam os parâmetros acústicos EDT bastante semelhantes. Principalmente as de formato retangular. Apenas variando em uma faixa estreita de tempo entre 1,7 e 3 segundos em 1000 Hz. Estando seus valores diretamente relacionados à presença maior ou menor de superfícies em madeira, figura 5.3.10.

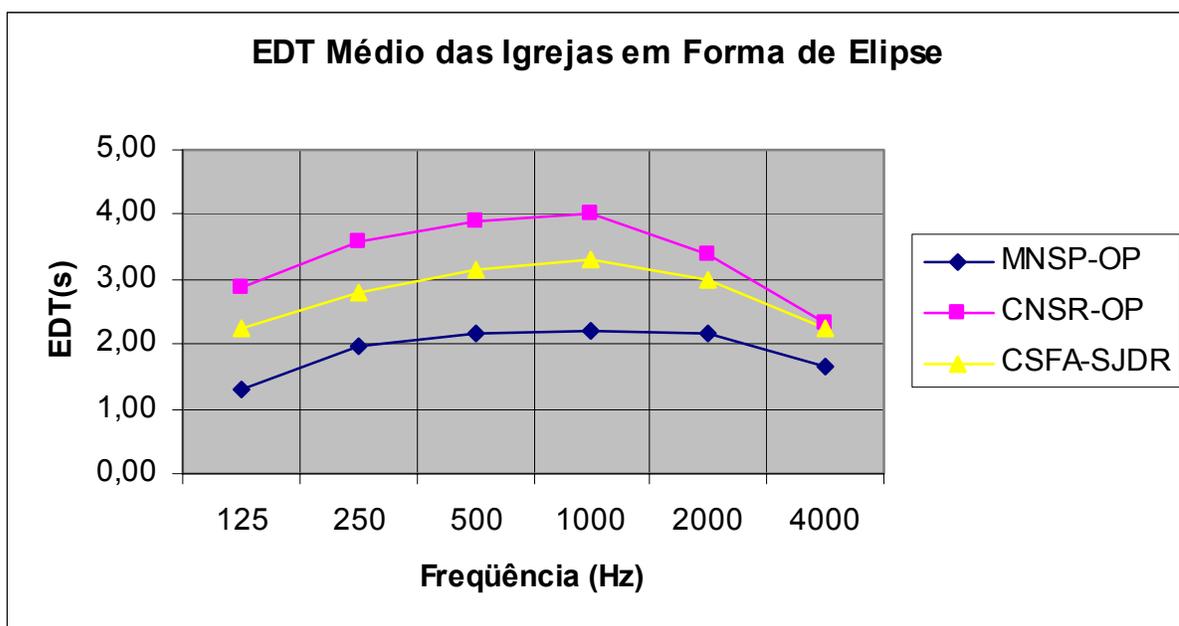


Figura 5.3.11 – EDT médio das igrejas em forma de elipse.

Como pode ser observada na figura 5.3.11, a forma proporciona uma maior concentração de energia sonora em 1000 Hz nestas igrejas que possuem o formato de elipse. Aumentando nesta frequência, a percepção da reverberação. O comportamento acústico destas igrejas é muito semelhante. A variação do EDT também está relacionada à quantidade de superfícies em madeira. Ou seja, quanto maior o percentual de superfícies revestidas em madeira, menor o EDT. Como pode ser observado, a igreja MNSP-OP com 89,6 % de superfícies em madeira e 7,6 % em superfícies de talhas barrocas apresenta EDT menor em todas frequências. As igrejas CSFA-SJDR e CNSR-OP com 47 % e 46,3 % de superfície em madeira, e 10,9 % e 13,6 % de superfícies em talhas barrocas respectivamente, apresentam EDT mais elevados. É importante notar que a igreja CNSR-OP com o maior percentual de talhas barrocas teve uma grande redução do EDT em altas frequências comprovando a sua benéfica influência sobre este parâmetro acústico.

## 5.4 O Parâmetro Acústico “Tempo de Reverberação” (TR)

Segundo Kuttruff (2000) a reverberação é a mais importante propriedade acústica de uma sala. Toda pessoa, mesmo leiga, é capaz de perceber a longa calda de som que segue o acorde final de um órgão em uma grande catedral. Ela reconhece que esta calda sonora é responsável pela dificuldade de se entender a palavra falada em uma grande sala. O que ela pode não saber é que esta espécie de calda acústica, chamada “reverberação” está presente em todas as salas e afeta cada sinal sonoro transmitido influenciando o entendimento não só da palavra falada, mas também a qualidade da audição musical. Esta observação que Sabine se baseou para fazer a sua clássica investigação da reverberação e desde então se considera não somente a sua duração, mas as suas propriedades espectrais como a mais importante característica acústica de um ambiente.

O tempo de reverberação é definido como tempo necessário para que o nível de pressão sonora decaia de 60 decibels após a interrupção do som produzido pela fonte sonora. Os resultados do tempo de reverberação para bandas de frequências centrais de 125 a 4000 Hz, obtidos das medições realizadas nas várias posições entre a capela-mor e a nave das igrejas setecentistas construídas no Estado de Minas Gerais, são apresentados nas figuras 5.4.1 até 5.4.9. Para todas as igrejas o TR foi medido com a fonte sonora colocada dentro da capela-mor, no local de celebração da missa pelo padre.

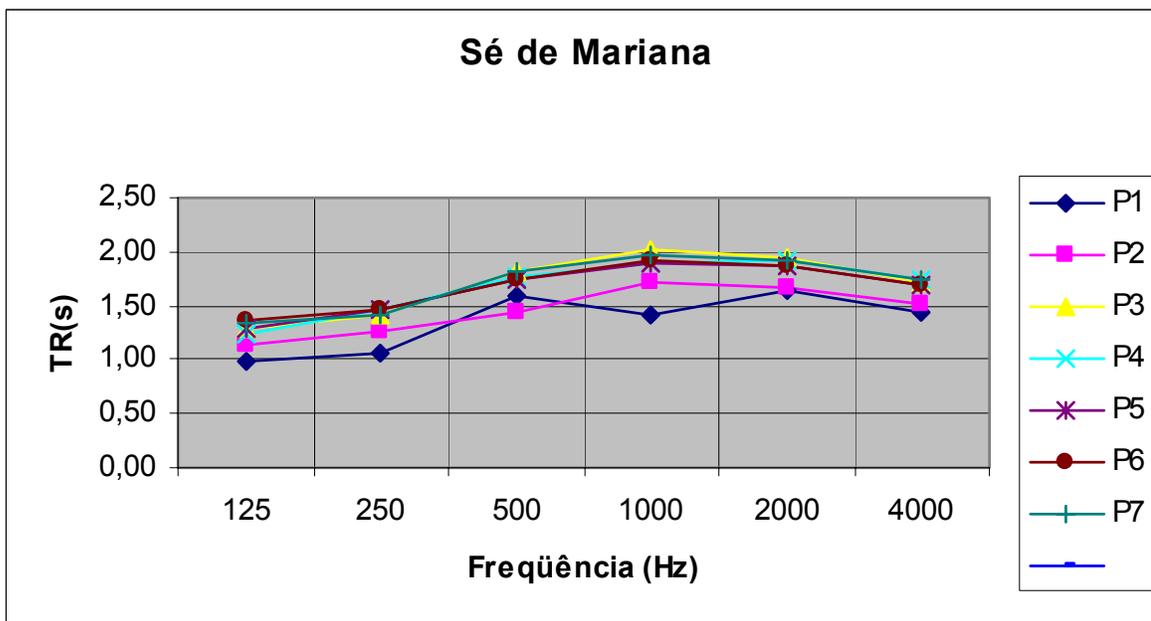


Figura 5.4.1 – Tempo de Reverberação (TR) das 7 posições, SE-MA.

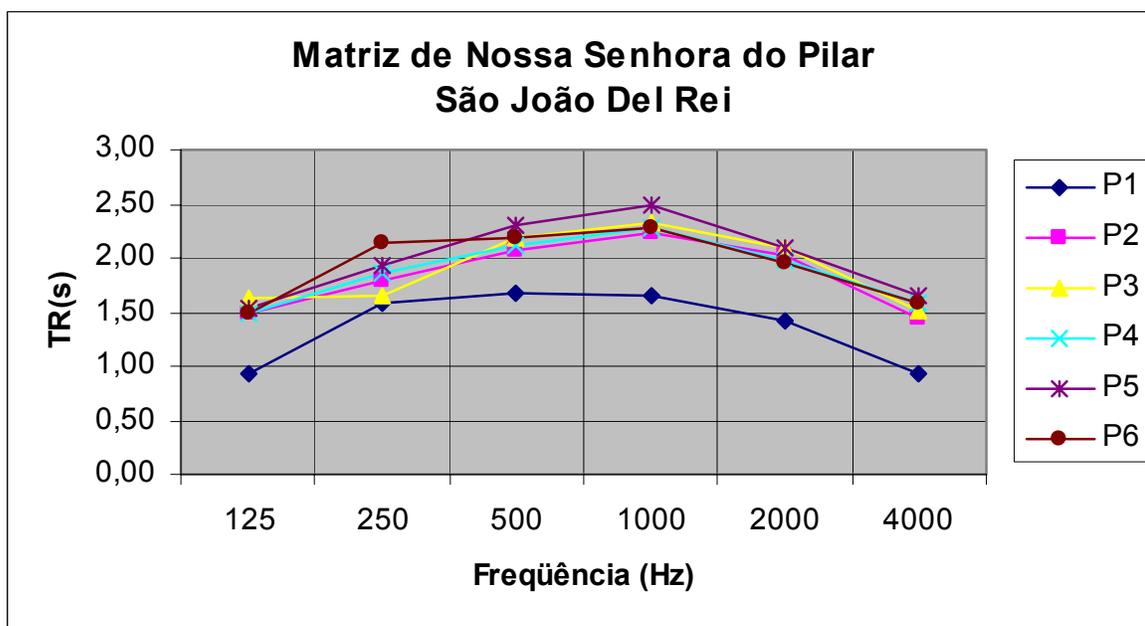


Figura 5.4.2 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MNSP-SJDR.

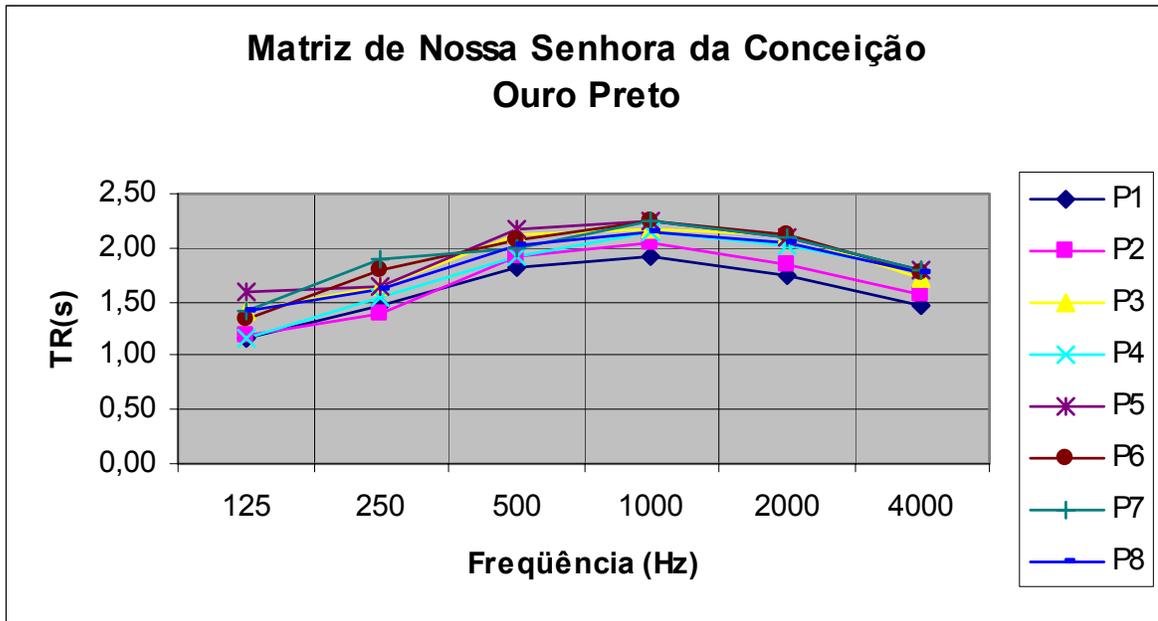


Figura 5.4.3 – Tempo de Reverberação (TR) das 8 posições de medição, MNSC-OP.

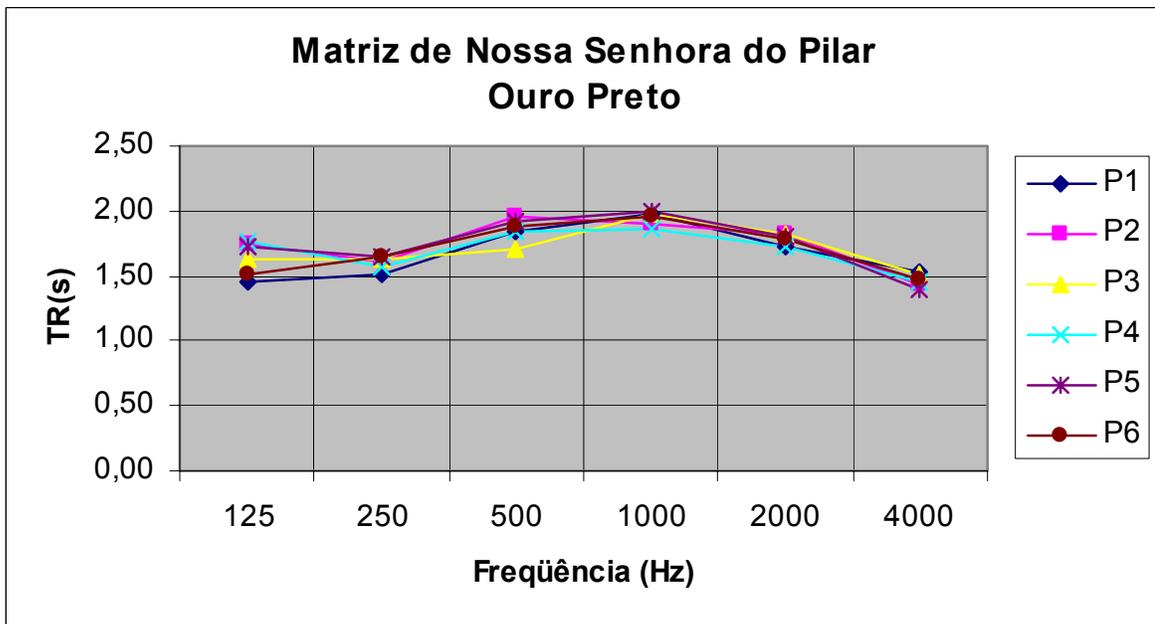


Figura 5.4.4 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MNSP-OP.

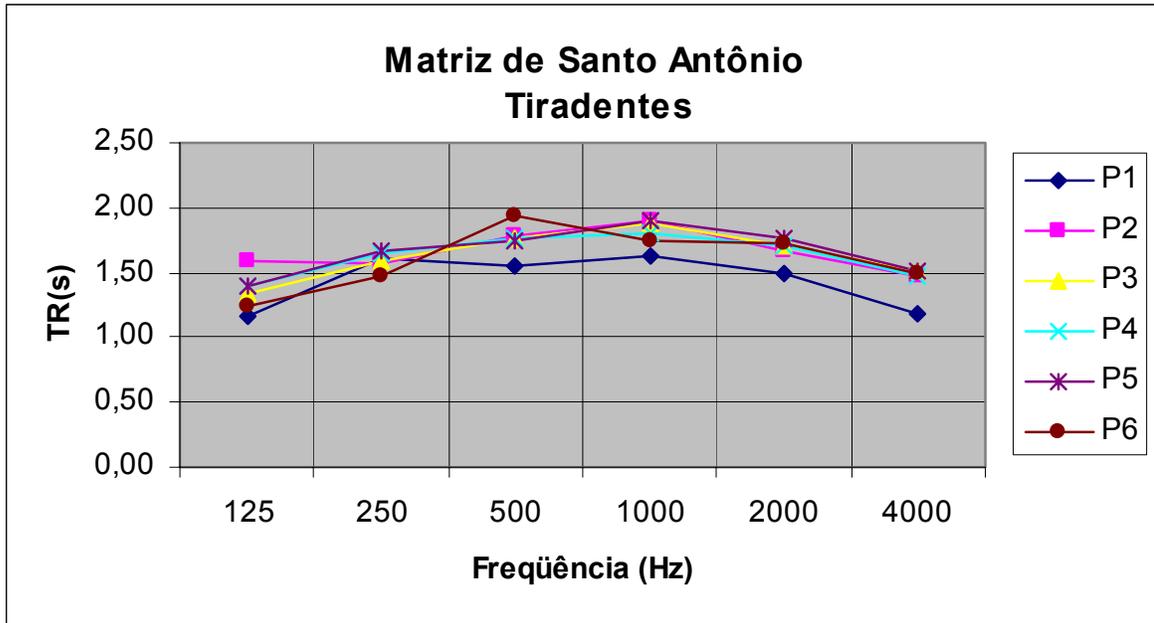


Figura 5.4.5 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, MSA-TI.

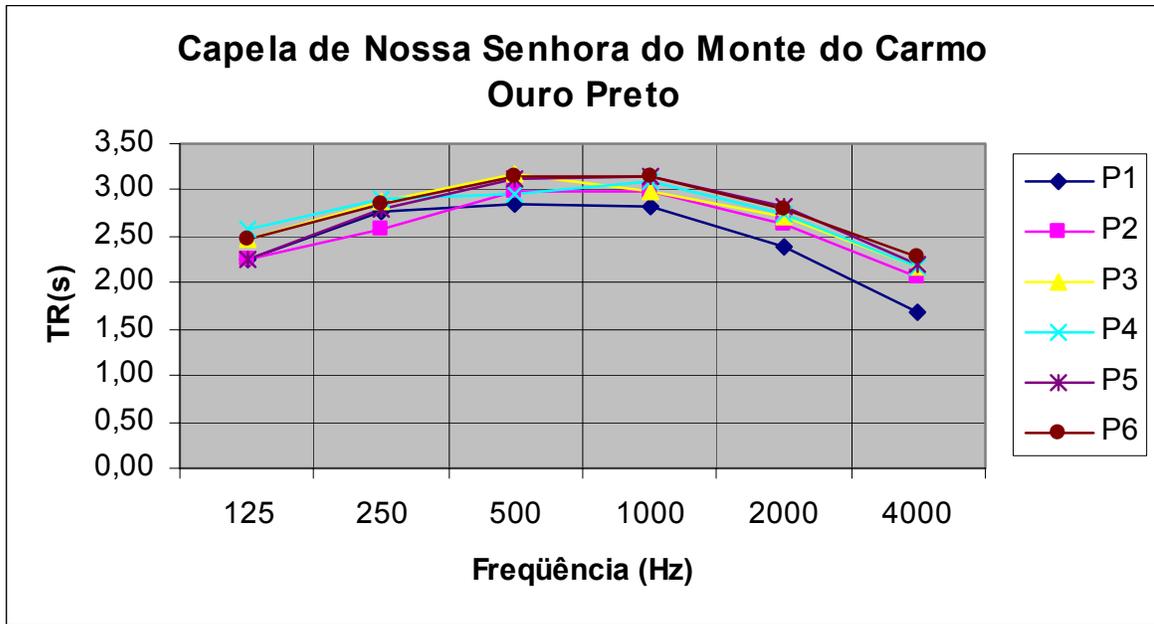


Figura 5.4.6 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CNSC-OP.

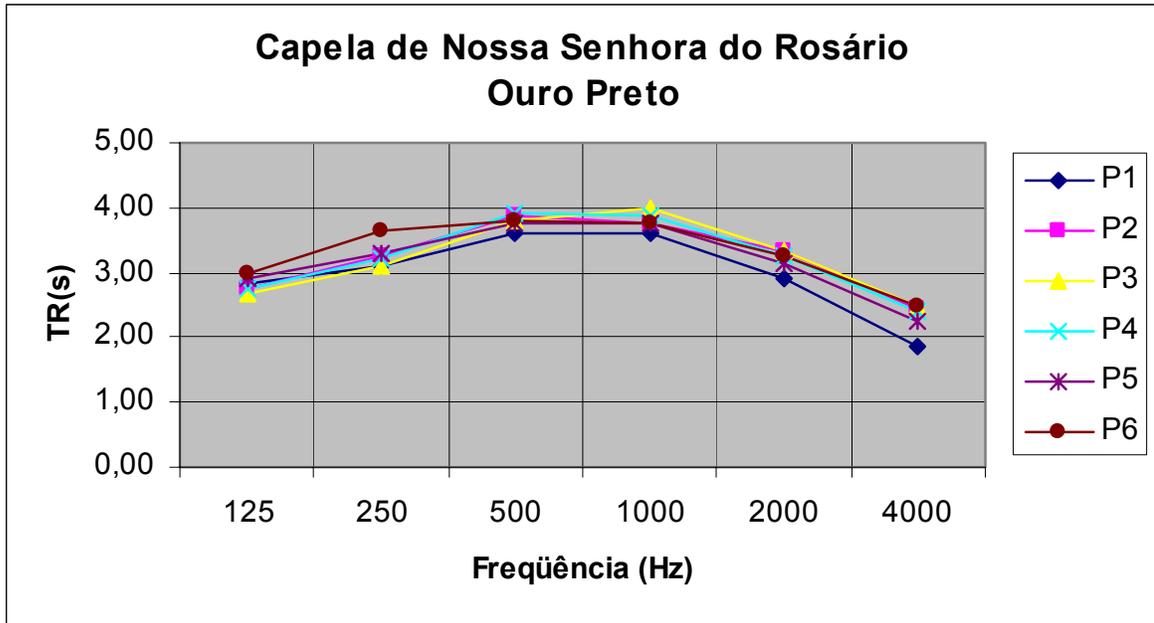


Figura 5.4.7 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CNSR-OP.

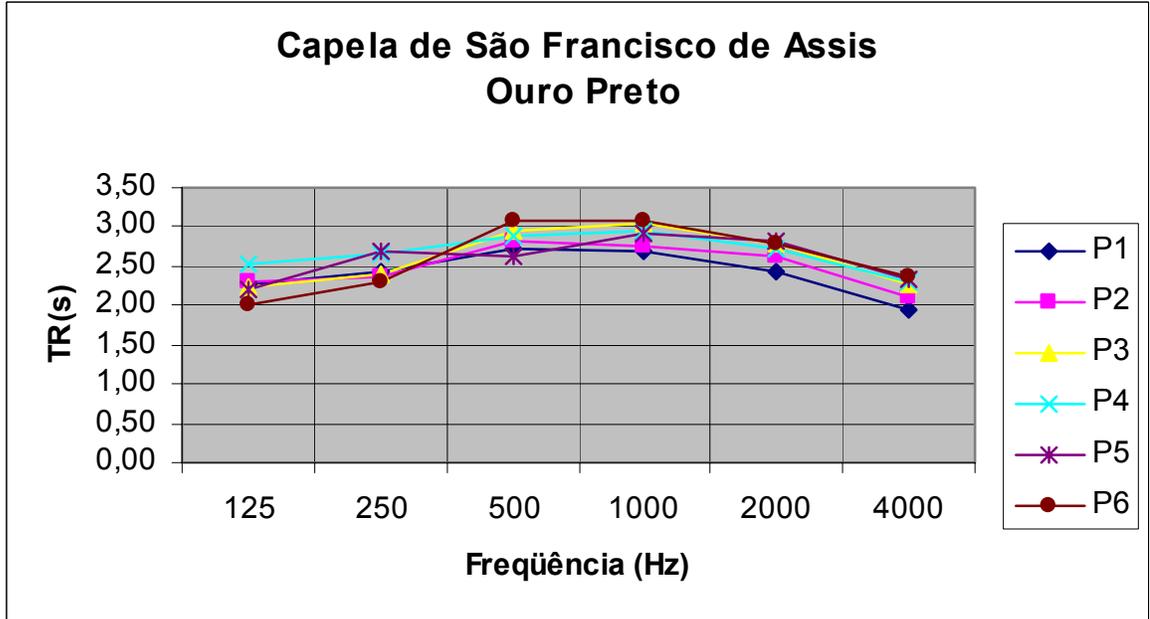


Figura 5.4.8 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CSFA-OP.

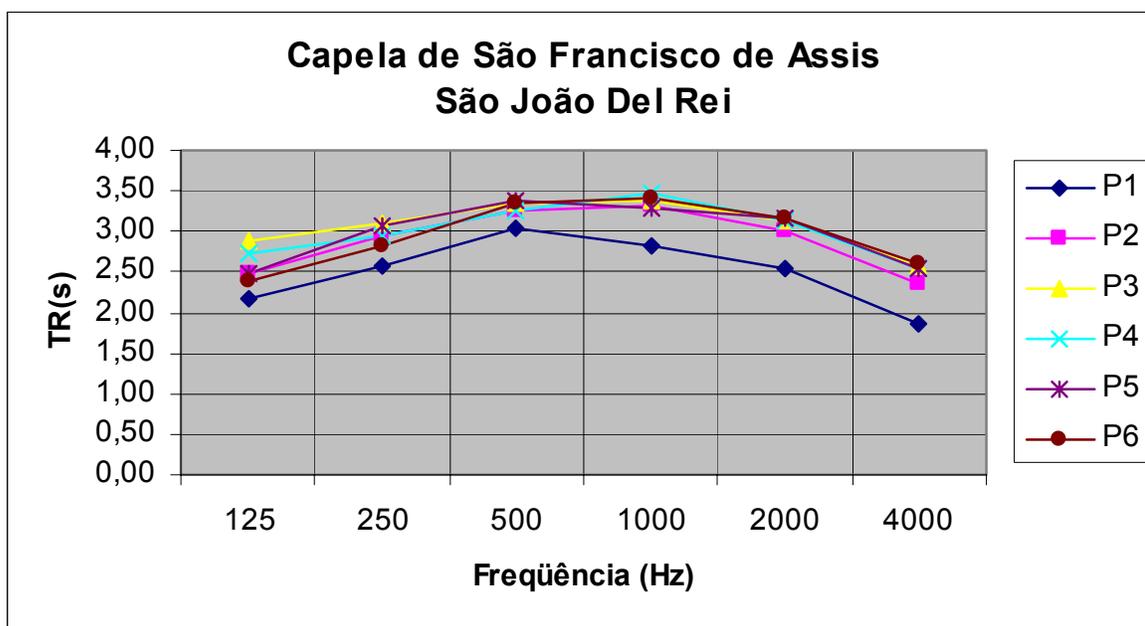


Figura 5.4.9 – Tempo de Reverberação (TR) das 6 posições de medição, CSFA-SJDR.

Dentre as igrejas em formato retangular: SE-MA, MNSP-SJDR, MNSC-OP, MSA-TI, CNSC-OP, CSFA-OP, observa-se um comportamento acústico bastante similar. Há uma redução do tempo de reverberação em baixas e altas frequências, e um ligeiro aumento em médias frequências. Apresentando um gráfico de TR em função da frequência ligeiramente curvo. A redução de TR em baixas frequências está relacionada à existência dos altares colaterais, pois a cavidade em que se encontram, tendo em vista as suas medidas, funcionam como ressonadores absorvendo os sons de baixas frequências. Isto pode ser comprovado pelo TR majorado da igreja MNSP-SJDR, nas posições mais distantes da fonte sonora, tendo em vista que os altares colaterais são dispostos mais próximo da capela-mor. Pode-se dizer também que a grande quantidade de revestimentos em madeira tais como: assoalhos e forros também influenciam este comportamento acústico, uma vez que funcionam como painéis vibrantes. A redução de TR nas bandas de frequências mais elevadas está diretamente relacionada à absorção sonora proporcionada pelas superfícies em madeira ( $\alpha = 0,15$ ) e talhas barrocas ( $\alpha = 0,32$ ) presentes nos requadros. Podendo ser explicado pelo aumento da área da verdadeira zona de madeira exposta ao som criada pelas protuberâncias originadas

pelos motivos decorativos das talhas (pequenas esculturas e floreios) que tem um papel importante na absorção sonora, mas, unicamente para pequenos comprimentos de ondas (isto é, para altas frequências). O domínio de frequências da adicional absorção sonora corresponde ao comprimento de onda dos detalhes protuberantes que conduzem ao aumento da absorção e que também causam um efeito de aumento da difusão sonora (muito útil e favorável para transmissão agradável de sons musicais). Portanto as talhas barrocas são também responsáveis pela criação de um campo acústico mais homogêneo, principalmente pelo seu posicionamento, tanto do altar-mor quanto dos altares colaterais existentes na nave, pois proporciona uma maior difusão do som (CARVALHO e LENCASTRE, 2002).

Nas igrejas que possuem um percentual maior de talhas barrocas, caso da igreja SE-MA com 14,3 %, o gráfico de TR em função da frequência tende ser mais plano. Ou seja, os tempos de reverberação são mais próximos em todas as frequências. Caso contrário ocorre quando o percentual é reduzido, como se observa na igreja CSFA-OP.

Um fator que também exerce uma grande influência neste comportamento acústico pode ser relacionado ao grande número de frentes de ondas e a sua distribuição no ambiente proporcionado pela forma retangular destas igrejas. O contrário ocorre nas igrejas em forma de elipse: MN-SP-OP, CN-SP-OP, CSFA-SJDR, que apresentam tendência à grande concentração de energia, principalmente em médias frequências, e ao desenvolvimento de frentes de ondas “defeituosas”, (BISTAFÁ, 2004). Este fato é facilmente visualizado na figura 5.4.9, CSFA-SJDR, em que uma forte concentração de energia eleva o tempo de reverberação na frequência de 1000 Hz, na região central da nave, mesmo possuindo esta igreja, um razoável percentual de superfícies em talhas e madeira.

A figura 5.4.10 mostra os tempos de reverberação médios para bandas de frequências centrais de 125 a 4000 Hz das igrejas construídas em forma retangular.

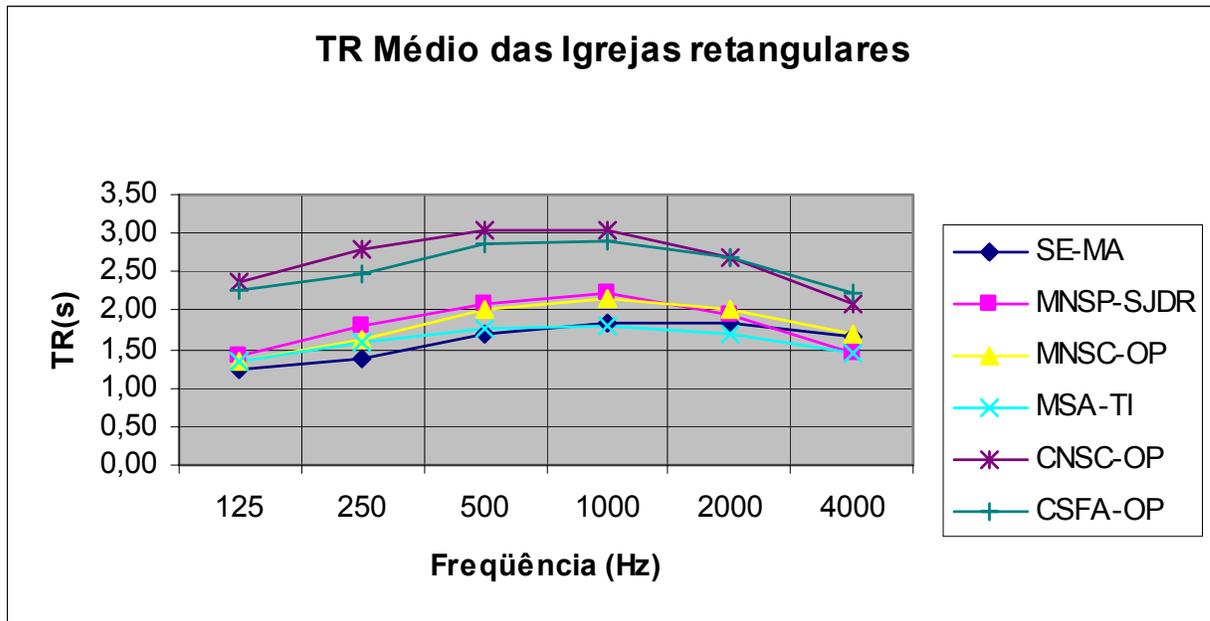


Figura 5.4.10 – TR médio das igrejas em formato retangular.

Observa-se que os tempos de reverberação das igrejas com forma retangular estão diretamente relacionado à maior presença de superfícies revestidas em madeira e superfícies de talhas barrocas. As igrejas SÉ-MA, MNSP-SJDR, MNSC-OP e MSA-TI, com percentuais variando entre 53,5 % a 67,4 % de superfícies em madeira e 9,2 % a 14,3 % de talhas barrocas, apresentam um TR médio de 2 segundos na freqüência de 1000 Hz, com variações não superiores 1/2 segundo.

Por outro lado, as igrejas com percentuais de superfícies em madeira abaixo de 50 %, tendem a apresentar tempos de reverberação maiores, como é o caso das igrejas CSFA-OP e CNSC-OP, aonde seus valores em médias freqüências chegam a 3 segundos.

A figura 5.4.11 mostra os tempos de reverberação médios para bandas de freqüências centrais de 125 a 4000 Hz das igrejas em forma elíptica.

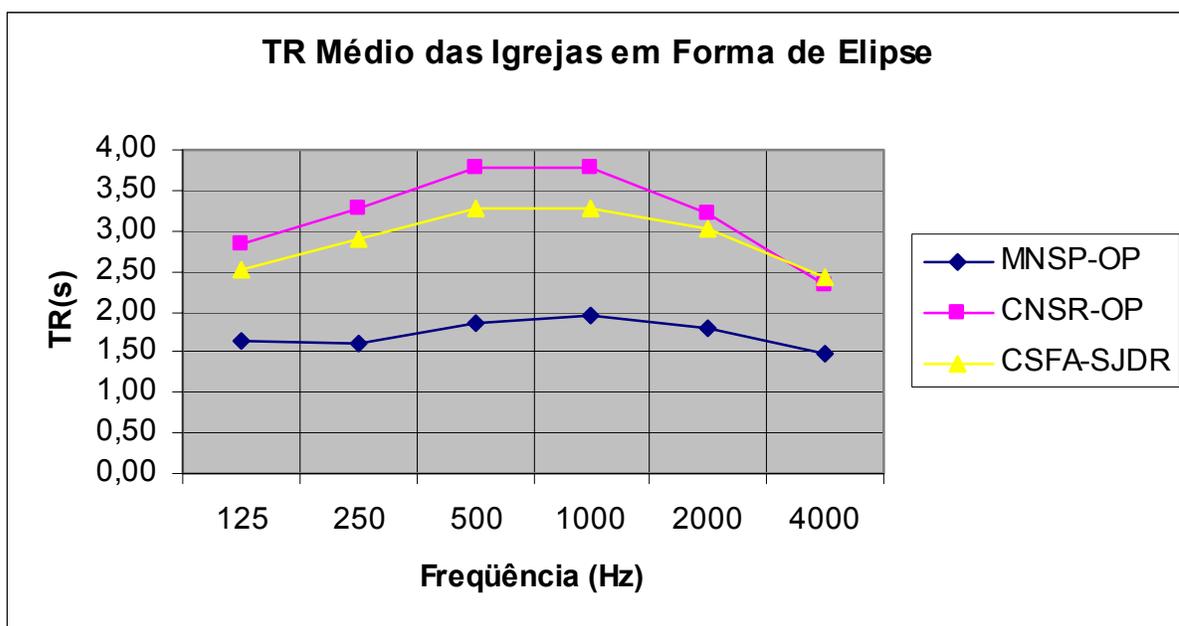


Figura 5.4.11 – TR médio das igrejas em forma de elipse.

Da mesma forma que as igrejas em formatos retangulares, os tempos de reverberação das igrejas elípticas são proporcionais à presença de superfícies revestidas com madeira e de talhas barrocas.

Nota-se que o volume exerce pouca influência sobre o TR, pois a igreja CSFA-SJDR com o dobro do volume da igreja CNSR-OP, apresenta um tempo de reverberação em média 1 segundo menor.

A tabela 5.4.1 apresenta os tempos de reverberação por posição e por frequência da igreja CSFA-SJDR, onde é possível observar uma maior concentração de energia na área central da nave, responsável pelo substancial aumento do TR, principalmente nas frequências centrais de 500 e 1000 Hz.

Pode-se observar também, que na posição mais próxima da fonte sonora (P1), localizada dentro da capela-mor, os tempos de reverberação são menores, demonstrando claramente a influência do som direto. Esta diferença também pode ser

explicada pela localização do microfone usado na medição. Pois, sendo a capela-mor um ambiente de menores dimensões, ele pode determinar a redução do TR nesta região.

Tabela 5.4.1 – TR por posição e por freqüência da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>P1</b>	2,17	2,56	3,04	2,83	2,53	1,85
<b>P2</b>	2,49	2,95	3,25	3,32	3,02	2,36
<b>P3</b>	2,88	3,10	3,36	3,39	3,12	2,57
<b>P4</b>	2,72	2,94	3,27	3,46	3,14	2,54
<b>P5</b>	2,47	3,08	3,37	3,29	3,17	2,55
<b>P6</b>	2,39	2,82	3,36	3,41	3,17	2,59

Mesmo tendo estas concentrações de energia, que elevam o tempo de reverberação em médias freqüências, as igrejas construídas no estilo barroco-rococó em forma de elipse apresentam tempos de reverberação bem inferiores à maioria das igrejas construídas em outros estilos arquitetônicos, que tem mostrado situações bem piores, com TR superiores a 10 segundos (GIULIANNI; COCCHI, 1985).

De um modo geral as igrejas setecentistas de Minas Gerais apresentam um comportamento acústico bastante peculiar no que diz respeito ao tempo de reverberação. Ou seja, valores reduzidos de TR em baixas freqüências, com ligeiro aumento em médias freqüências e redução em altas.

Este comportamento acústico é raro em outros estilos arquitetônicos de igrejas. Das 43 igrejas avaliadas por Lubman e Wetherill (1983), Estados Unidos, México e Japão, 80 % possuem tempo de reverberação muito grande em baixa freqüência, e uma vertiginosa queda em médias e altas freqüências. Das demais igrejas, apenas 3 mostram comportamento acústico com uma certa semelhança, as outras, embora apresentando valores de TR reduzidos em baixas freqüências, apresentam tendência

de aumento em altas freqüências. Da mesma forma, Sanchidrián e González (2006) obtiveram resultados de TR com as mesmas características ao avaliar a igreja do Monastério de Santo Domingo de Silos, Espanha. Podendo ser constatado também nas avaliações da Catedral Metropolitana de Porto Alegre realizadas por Simões e Nabinger (2001) e na correção acústica da Basílica de San Domenico em Foligno, Itália, com o objetivo de transformá-la em sala de concerto, realizada por Cocchi e Farina (1987).

Pode-se dizer que este comportamento acústico é característico das igrejas barrocas. Tendo em vista que Desarnaulds e Carvalho (2001), em pesquisa desenvolvida com mais de quarenta igrejas de vários estilos arquitetônicos obtiveram TR semelhantes nas igrejas barrocas de Portugal, ou seja, TR reduzido em baixas e altas freqüências com ligeiro aumento em médias freqüências.

Deste modo, é possível perceber o quão especial é a acústica das igrejas históricas construídas no século XVIII no Estado de Minas Gerais.

## **5.5 O Parâmetro Acústico “Definição” (D50)**

As reflexões que chegam ao ouvinte nos primeiros 50 ms dão suporte ao som direto possibilitando melhor inteligibilidade da fala. Deste modo, o parâmetro Definição (D50) está relacionado à capacidade de se perceber melhor as articulações das palavras, pois leva em consideração a razão da energia sonora que chega ao ouvinte até 50 ms após o som direto e a energia total da resposta impulsiva. Assim sendo, quanto mais o seu valor se aproxima de um, melhor se percebe a definição das articulações da fala. O que sem dúvida melhora a compreensão das palavras.

Nas figuras 5.5.1 até 5.5.9 são apresentados os resultados do parâmetro D50 para bandas de freqüências centrais de 125 a 4000 Hz, obtidos das medições realizadas nas igrejas selecionadas. Para todas igrejas o D50 foi medido a partir da resposta impulsiva obtida entre a fonte sonora posicionada dentro da capela-mor, no

local de celebração das missas pelo padre, e os pontos de medição distribuídos entre a capela-mor e a nave, fornecendo uma visão clara de seu comportamento acústico.

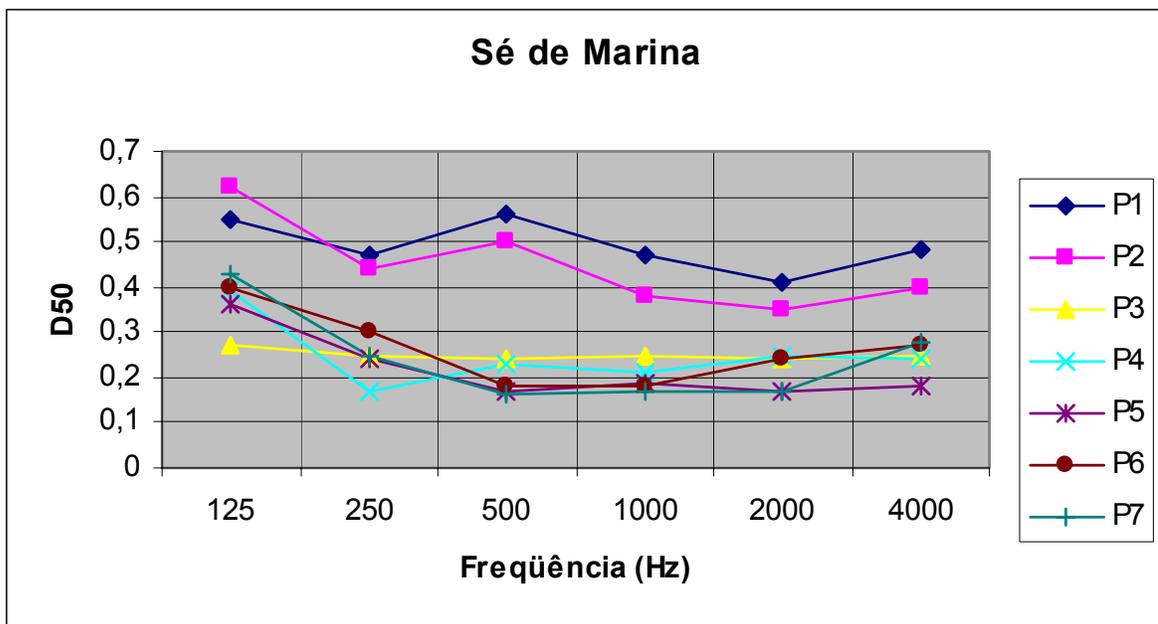


Figura 5.5.1 - Definição (D50) das 7 posições, Sé-MA.

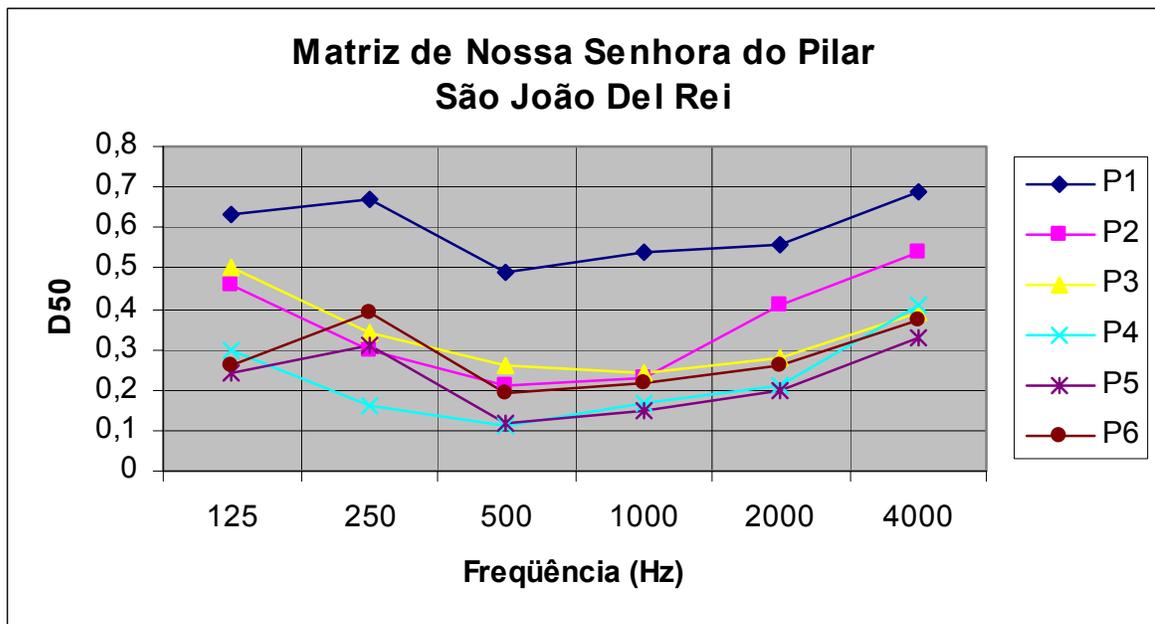


Figura 5.5.2 - Definição (D50) das 6 posições, MNSP-SJDR.

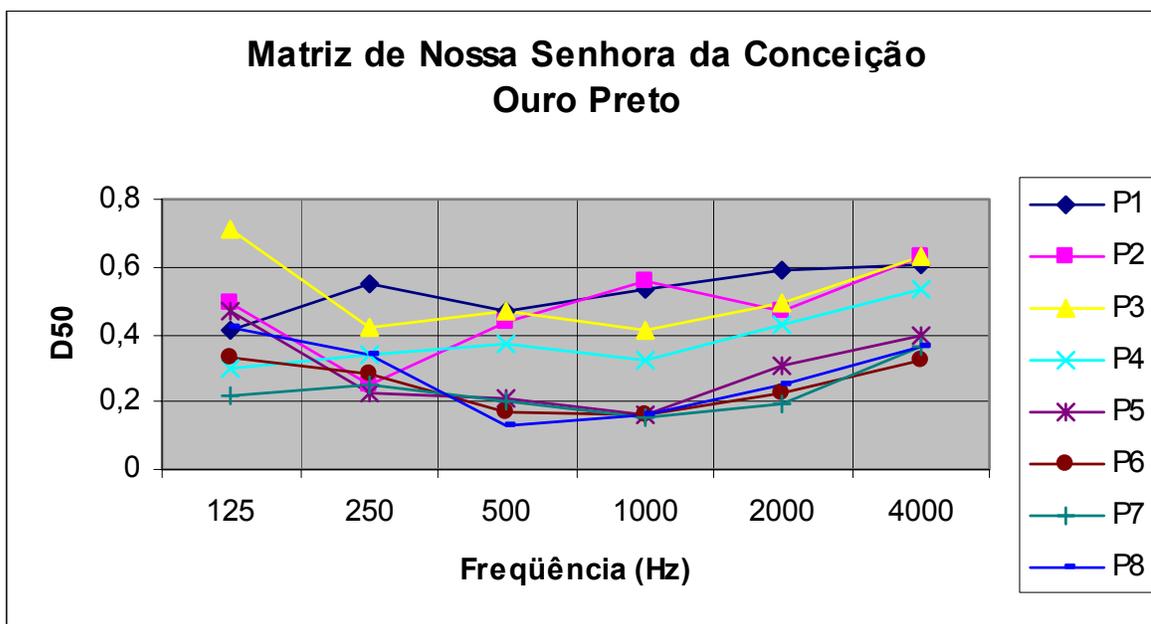


Figura 5.5.3 - Definição (D50) das 8 posições, MNSC-OP.

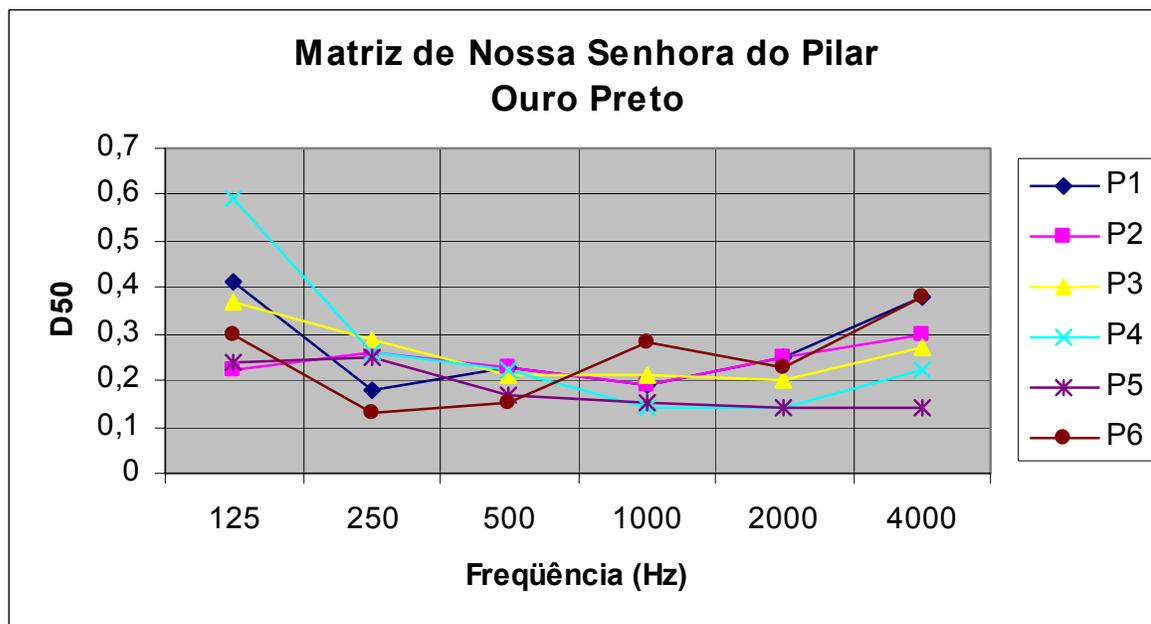


Figura 5.5.4 - Definição (D50) das 6 posições, MNSP-OP.

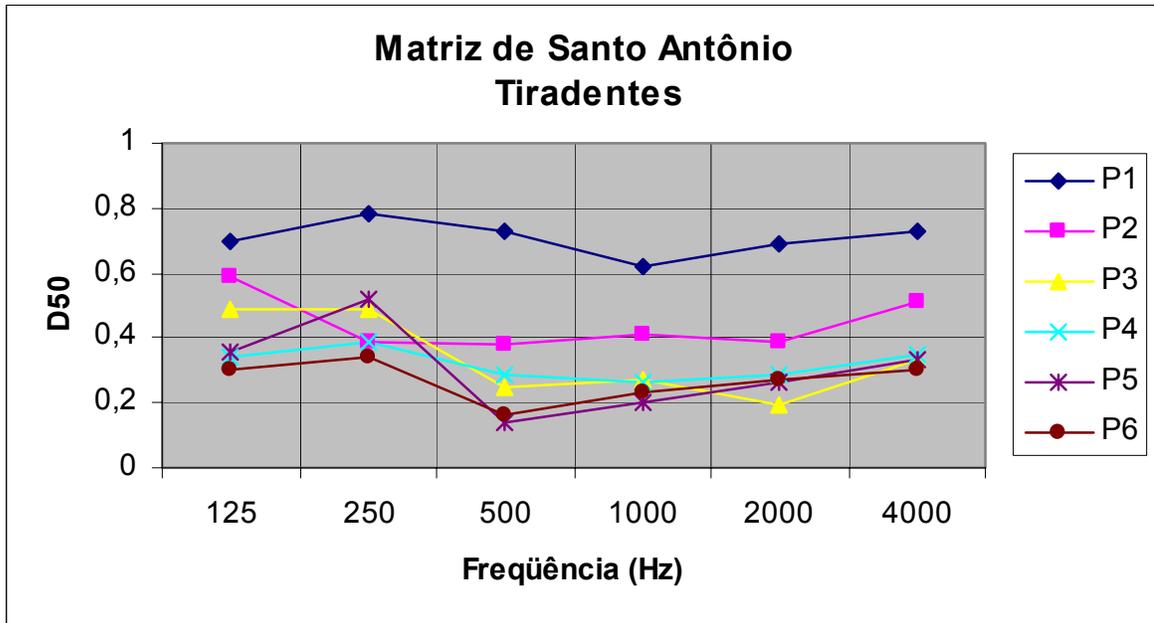


Figura 5.5.5 - Definição (D50) das 6 posições, MSA-TI.

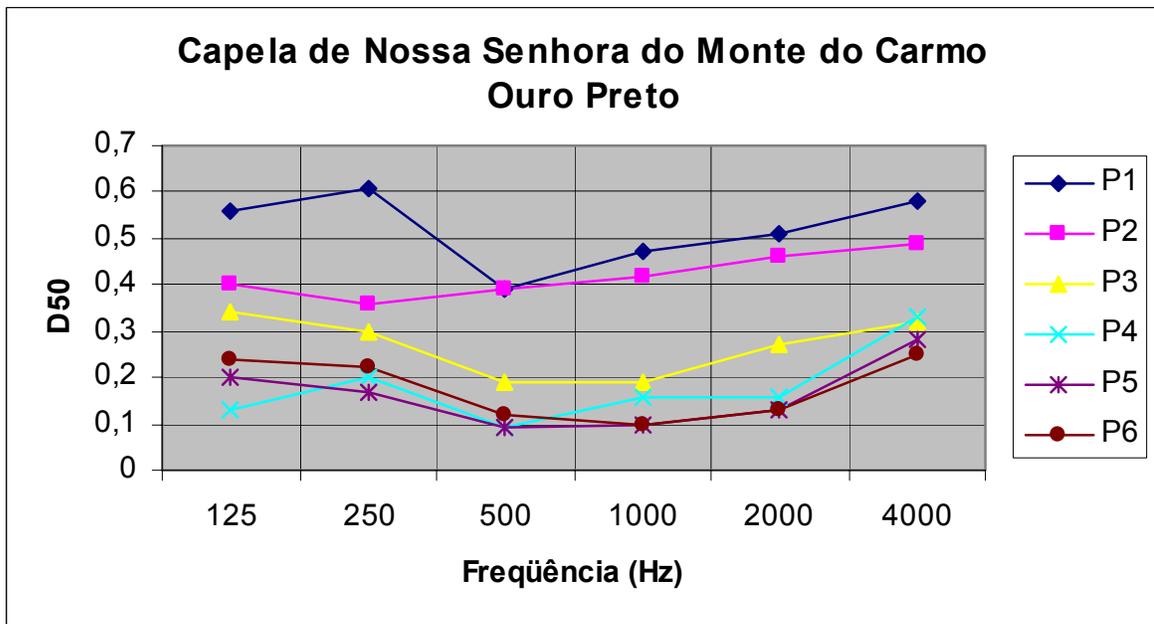


Figura 5.5.6 - Definição (D50) das 6 posições, CNSC-OP.

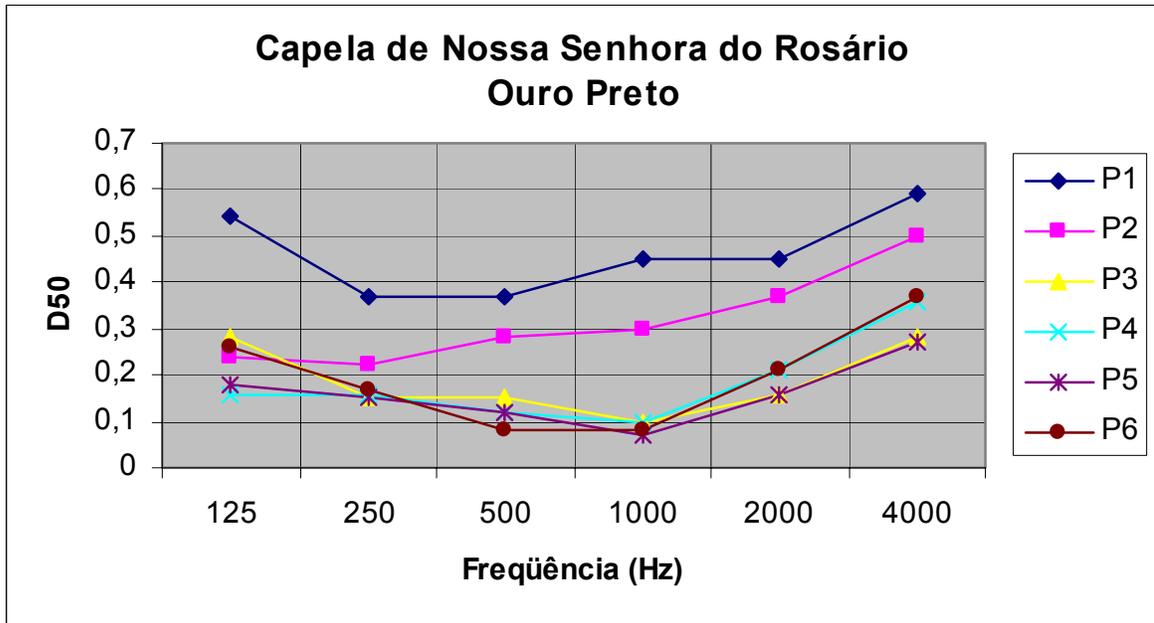


Figura 5.5.7 - Definição (D50) das 6 posições, CNSR-OP.

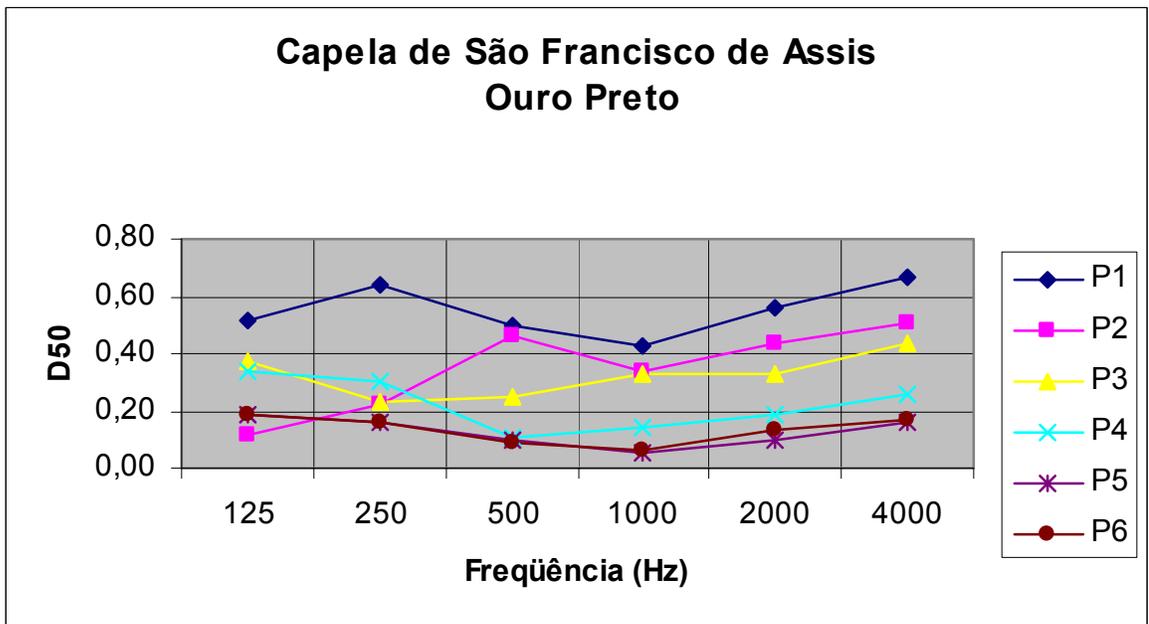


Figura 5.5.8 - Definição (D50) das 6 posições, CSFA-OP.

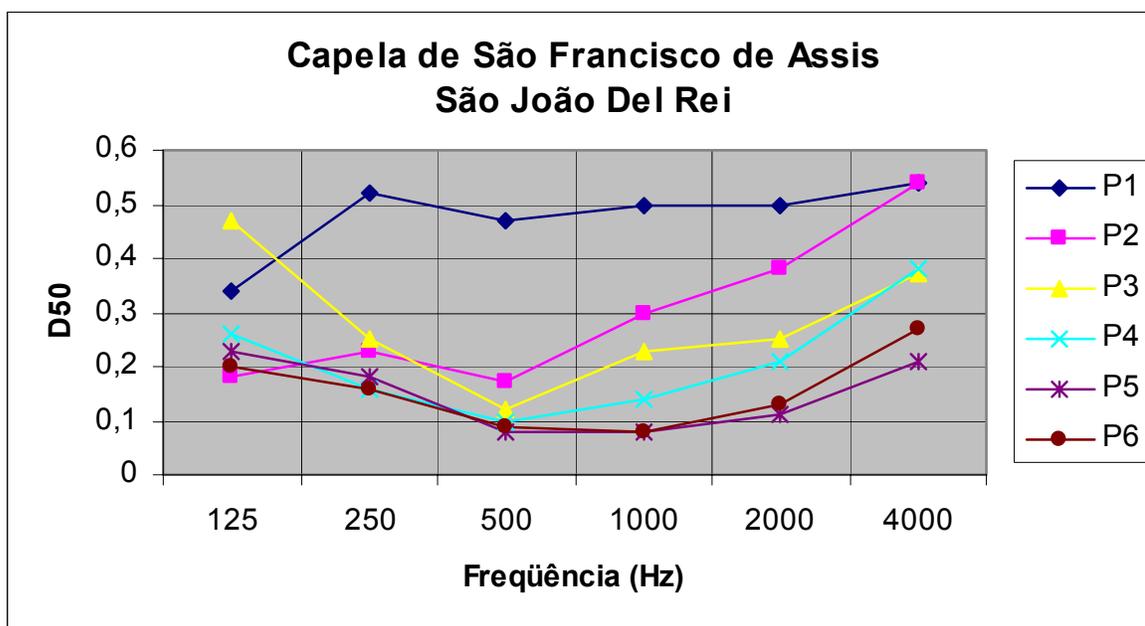


Figura 5.5.9 - Definição (D50) das 6 posições, CSFA-SJDR.

Da mesma forma adotada nos parâmetros acústicos anteriormente analisados, o parâmetro definição (D50) também é analisado separando-se as igrejas construídas em formato retangulares das de forma elíptica. Muito embora não havendo grandes diferenças no comportamento relacionado a este parâmetro, algumas peculiaridades ocorrem, tornando necessária esta separação com o propósito de facilitar a compreensão de seus resultados.

Observa-se nas igrejas retangulares, (figuras 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 5.5.5, 5.5.6 e 5.5.8), que na medida que se distancia da fonte sonora, o parâmetro definição tende a diminuir. Apresentando valores excepcionais de definição dentro da capela-mor, que na maioria das igrejas avaliadas ultrapassa 0,60. Estas igrejas apresentam valores de definição reduzidos nas últimas posições, mais distantes da fonte sonora e próxima à entrada da nave, embora tendo uma pequena melhora na última posição, em relação à penúltima, fato que certamente ocorre influenciado pela reflexão da parede da entrada. Esta situação se destaca mais nas igrejas MNSP-SJDR e CSFA-OP, podendo ser explicado pela combinação de dois parâmetros arquitetônicos: possuir menores percentuais de superfícies em madeira e menor percentual de talhas barrocas. Sendo

que no caso específico da igreja MNSP-SJDR, os altares colaterais estão dispostos entre o centro da nave e a capela-mor, deixando expostas grandes superfícies revestidas com argamassa. Esta condição reduz a difusão sonora em função da diminuição da proporção de talhas barrocas, favorecendo as reflexões que contribuem com o reforço do som direto.

Da mesma forma que nas igrejas retangulares, as igrejas CNSR-OP e CSFA-SJDR construídas em formato de elipse, apresentam parâmetros D50 que diminuem na proporção em que a distância entre o ouvinte e o orador aumenta. Ao se comparar os gráficos das figuras 5.5.7 e 5.5.9 nota-se uma grande semelhança entre seus resultados, não obstante a enorme diferença de dimensões entre ela, onde a igreja CNSR-OP possui um volume 50 % menor que a igreja CSFA-SJDR. Esta diferença é compensada pela proporção de talhas barrocas que é maior na igreja de menor volume, fazendo com que os resultados se aproximem. Mais uma vez é possível comprovar a influência negativa da difusão sonora no parâmetro acústico definição.

Ao se observar os valores de D50 determinados por bandas de frequência, nota-se que seus resultados são maiores em baixas e altas frequências e menores em médias. Embora guardando uma certa semelhança com as igrejas retangulares, os valores apresentados em médias frequências são bem inferiores.

A figura 5.5.10 apresenta os parâmetros acústicos definição média para bandas de frequências centrais de 125 a 4000 Hz das igrejas em formato retangular.

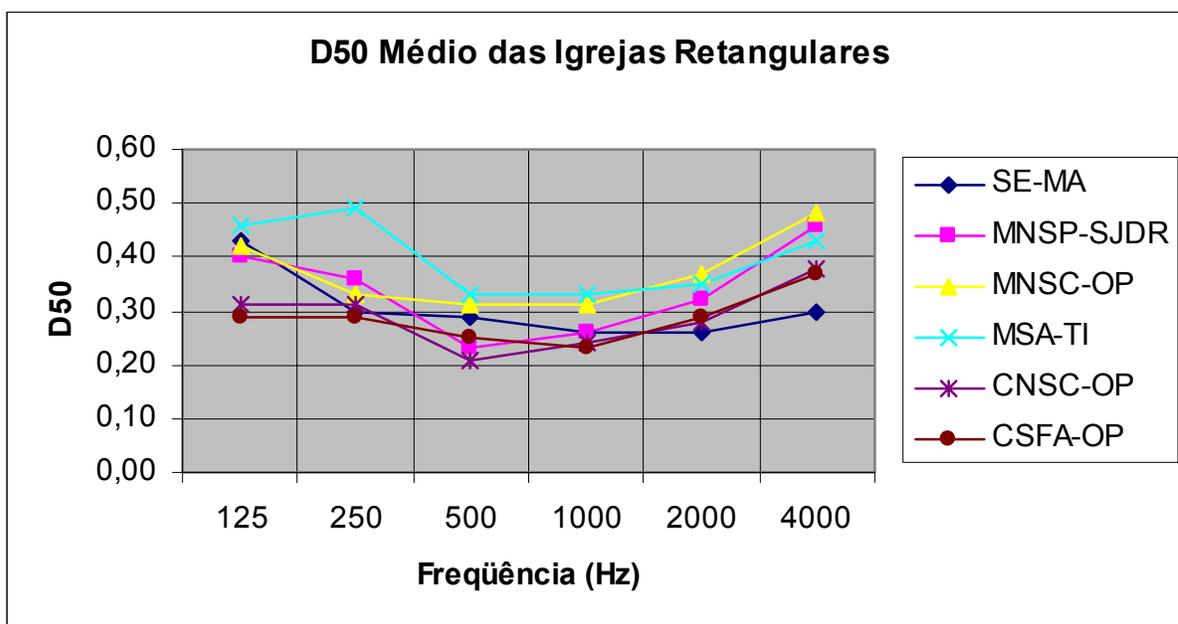


Figura 5.5.10 - Definição média das igrejas em formato retangular.

Pode-se observar claramente que D50 é inversamente proporcional a superfície de talhas barrocas presentes no ambiente. Principalmente quando leva em consideração a sua relação com as superfícies em madeira.

A figura 5.5.11 mostra os parâmetros D50 médios para bandas de frequências centrais de 125 a 4000 Hz das igrejas em forma elíptica.

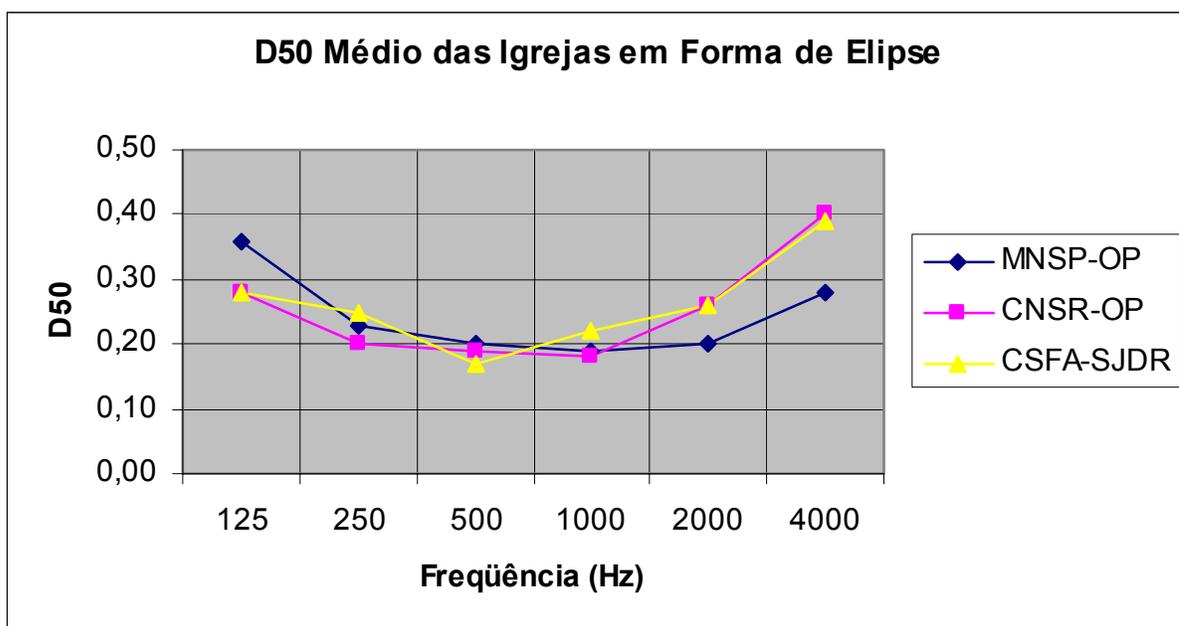


Figura 5.5.11 - Definição média das igrejas em forma de elipse.

Da mesma forma, D50 se apresenta melhor nas igrejas onde o percentual de talhas barrocas é menor. Principalmente se este ambiente possui superfícies lisas compostas de materiais mais reflexivos como por exemplos paredes revestidas com argamassa de cal e areia. Isto mostra que em ambientes difuso a percepção das articulações das palavras é prejudicada. Confirmando que a presença de superfícies reflexivas, sobretudo nas posições mais distantes da fonte sonora, pode favorecer a melhoria de D50, uma vez que o som refletido chegando até 50 ms após o som direto trás benefícios ao facilitar a compreensão das sílabas.

Mais uma vez pode-se constatar a forte influência exercida pela difusão sonora proporcionada pela talhas barrocas.

Finalmente, pode-se verificar que o parâmetro arquitetônico volume exerce pouca influência sobre o parâmetro acústico definição, uma vez que a igreja CSFA-SJDR, mesmo tendo dobro do volume da igreja CNSR-OP apresentam D50 muito semelhantes em todas bandas de frequências analisadas.

## 5.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)

Os índices de inteligibilidade da fala das igrejas setecentistas de Minas Gerais foram obtidos da mesma maneira, que os demais parâmetros acústicos, a partir da resposta impulsiva entre a fonte sonora e às posições de medição. Entretanto, foram feitas medições em apenas duas posições: sendo a posição mais próxima identificada como P3, junto a entrada da capela-mor e P6, P7 ou P8 posição mais distante da fonte sonora, próxima ao nártex, ou seja, do lado da entrada da igreja. Estas posições variaram de acordo com o comprimento de cada igreja e podem ser vistas no Anexo A. A fonte sonora foi posicionada dentro da capela-mor, no local de celebração das missas pelo padre.

Antes de dar início às medições, o sistema foi ajustado. Foram necessários também alguns ajustes como filtrar o sinal sonoro de teste para que seu conteúdo em frequência fosse semelhante ao da voz humana masculina com o propósito de obter uma avaliação do entendimento da fala do padre. O filtro é apresentado no capítulo 2 e descrito na norma IEC 60268-16.

O nível do sinal sonoro de teste foi ajustado no mesmo nível da voz de uma pessoa falando em tom normal, ou seja, sem elevar a voz em demasia. Para que isso fosse possível foi pedida a uma pessoa do sexo masculino que fizesse uma leitura de um texto qualquer, no local onde o padre faz suas celebrações. O nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) foi gravado na posição mais distante do orador, por um período de aproximadamente 15 segundos.

A partir daí, um sinal sonoro tipo MLS, filtrado na voz masculina, foi emitido de modo contínuo na igreja, e o amplificador de potência foi ajustado até que o nível de pressão sonora, na mesma posição, atingisse o valor igual ao anterior, aproximadamente 60 dB.

Foi gravado o ruído de fundo, em ambas as posições de medição, e arquivado digitalmente no mesmo formato das gravações das respostas impulsivas (.wav). Após a emissão do sinal sonoro (Lin Sweep), filtrado na voz masculina, foram obtidas as respostas impulsivas, também para as duas posições anteriormente determinadas.

O valor do STI de cada igreja foi calculado, e seus resultados são apresentados no quadro 5.6.1, bem como as percentagens de perdas das articulações das consoantes e seus respectivos ruídos de fundo.

Quadro 5.6.1 – Valores de STI, para voz masculina, medidos nas igrejas.

IGREJA E LOCAL	POSIÇÃO DE MEDIÇÃO 3			POSIÇÃO DE MEDIÇÃO 6, 7 OU 8		
	STI	% ALC	RUÍDO DE FUNDO dB(A)	STI	% ALC	RUÍDO DE FUNDO dB(A)
SÉ-MA	0,43	16,6	57	0,42	17,5	46
MNSP-SJDR	0,28	37,4	62	0,23	49,0	64
MNSC-OP	0,55	8,7	37	0,41	18,9	39
MNSP-OP	0,47	13,3	47	0,39	20,5	36
MSA-TI	0,28	36,4	61	0,23	49,0	60
CNSC-OP	0,33	28,0	61	0,30	33,1	62
CNSR-OP	0,31	31,9	67	0,30	33,5	59
CSFA-OP	0,45	15,1	44	0,30	33,3	45
CSFA-SJDR	0,35	25,7	56	0,32	29,6	51

É importante destacar, que para determinação do STI, não se usou o amplificador de potência da própria, para que se avaliasse a fala do orador sem qualquer recurso eletroacústico, e se ter uma idéia clara do comportamento do ambiente nestas condições. Tendo em vista que, na época em que foram concebidas e

executadas suas edificações, não havia os recursos que são disponíveis na atualidade e que certamente dariam sua contribuição na melhoria da inteligibilidade da fala.

Ao contrário dos demais parâmetros acústicos, para apresentação e análise do STI, não se separou as igrejas avaliadas pela sua forma executiva por não ter sido encontrada qualquer relação direta com este parâmetro arquitetônico.

A partir das informações apresentadas no quadro 5.6.1, observa-se que o STI tem seus valores melhores na posição mais próxima do orador, nas igrejas em que os ruídos de fundo ou são aproximadamente iguais nas posições de medição, ou maior na posição mais distante. Isto pode ser claramente notado nas igrejas MNSP-SJDR, MNSC-OP, MSA-TI, CNSC-OP e CSFA-OP. Do mesmo modo, ao se observar a perda da inteligibilidade das consoantes, nota-se que os percentuais de perdas são substancialmente maiores nas posições mais distantes. O que já era de se esperar, tendo em vista, que este parâmetro leva em consideração a distância emissor-receptor, tempo de reverberação do ambiente e seu nível de ruído de fundo (SIMÕES e NABINGER, 2001).

Por outro lado a igreja SÉ-MA apresenta STI bem semelhante tanto para a posição mais próxima da fonte sonora quanto para mais distante. Isto se deve a um substancial aumento do ruído de fundo, na posição mais próxima da capela-mor, que chegou a 57 dB(A), ao passo que na entrada da igreja não passou de 46 dB(A). Portanto, a perda da inteligibilidade pela distância foi compensada pela redução do ruído de fundo. Isto também pode ser observado na igreja CSFA-SJDR onde a variação do valor de STI também é pequena.

Contrário ao anteriormente descrito ocorre nas igrejas MNSP-OP e CNSR-OP, onde mesmo havendo nível de ruído de fundo menor na posição mais distante do orador, apresentam STI menores. Comprovando que o valor de STI tende a diminuir com aumento da distância entre o ouvinte da fonte sonora.

Ao se comparar os resultados entre as igrejas, nota-se que, da mesma forma que o ruído de fundo, o tempo de reverberação também exerce uma forte influência sobre o resultado da inteligibilidade. Este fato fica bem claro ao se observar os resultados das igrejas SÉ-MA e CSFA-SJDR, onde os ruído de fundo são bem próximos, no entanto seus índices de transmissão da fala são substancialmente diferentes. Daí se percebe a influência das superfícies revestidas em madeira sobre os resultados do STI.

Nota-se também que a diferença do STI da posição mais próxima da fonte sonora para a mais distante, tende a aumentar nas igrejas com menor percentual de talhas barrocas podendo ser constatado ao se comparar às igrejas SÉ-MA e CSFA-OP. Isto não quer dizer que exercem influência na melhoria do STI, mas torna-o mais constante ao longo do ambiente.

Um caso específico merece destaque pela sua peculiaridade. A igreja MNSP-SJDR, que apesar da distância, nível de ruído de fundo maior, tempo de reverberação também maior, na posição mais distante da fonte sonora, apresenta um STI melhor. Este fato pode ser explicado pela ausência de altares colaterais próximos a entrada da igreja. O que aumenta a proporção de superfícies revestida com argamassa, funcionando como refletores acústicos, o que certamente contribui com a redução da perda da inteligibilidade das consoantes verificadas, melhorando, deste modo, o STI.

Segundo a norma ISO 60268-16, os valores de STI variam de 0 a 1. A qualidade da inteligibilidade da fala é avaliada por faixa de valores de STI e podem ser classificadas como mostra a tabela 5.6.1.

Tabela 5.6.1 – Relação entre STI e a inteligibilidade da fala.

STI	0-0,3	0,3-0,45	0,45-0,6	0,6-0,75	0,75-1
Inteligibilidade	Ruim	Pobre	Razoável	Boa	Excelente

Das nove igrejas avaliadas, apenas três: MNSC-OP, MNSP-OP e CSFA-OP foram classificadas como “razoável”, mesmo assim nas posições mais próximas da fonte sonora, ou seja, próximo à entrada da capela-mor. Nas posições mais distantes foram classificadas como “pobre”. Quatro igrejas foram classificadas como “pobre” nas posições mais próximas do orador: SÈ-MA, CNSC-OP, CNSR-OP e CSFA-SJDR, mantendo-se nesta classificação para a posição mais distante. A igreja CSFA-OP perde qualidade no índice de transmissão da fala nas posições mais distantes sendo classificadas como “ruim”. As igrejas MNSP-SJDR e MSA-TI foram classificadas tanto nas posições mais próximas da fonte sonora quanto nas posições mais distantes com “ruim”.

Além das faixas de qualificação subjetiva de ambientes, a norma ISO 60268–16 apresenta um gráfico correlacionando o STI a um escore de entendimento de palavras, figura 5.6.1. Ao se consultar este gráfico tem-se a possibilidade de prever o índice de acertos, tanto de palavras como de frases. Estas previsões têm como base respectivamente, listas em inglês conhecidas como “Harvard Lists” e os resultados da inteligibilidade de sentenças SRT (Speech Reception Threshold). Apesar de serem qualificadas dentro da mesma faixa, as variações do STI obtida mostra uma substancial diferença no entendimento de palavras e frases, tendo em vista o rigor na avaliação deste índice (BERTOLI; GOMES, 2006).

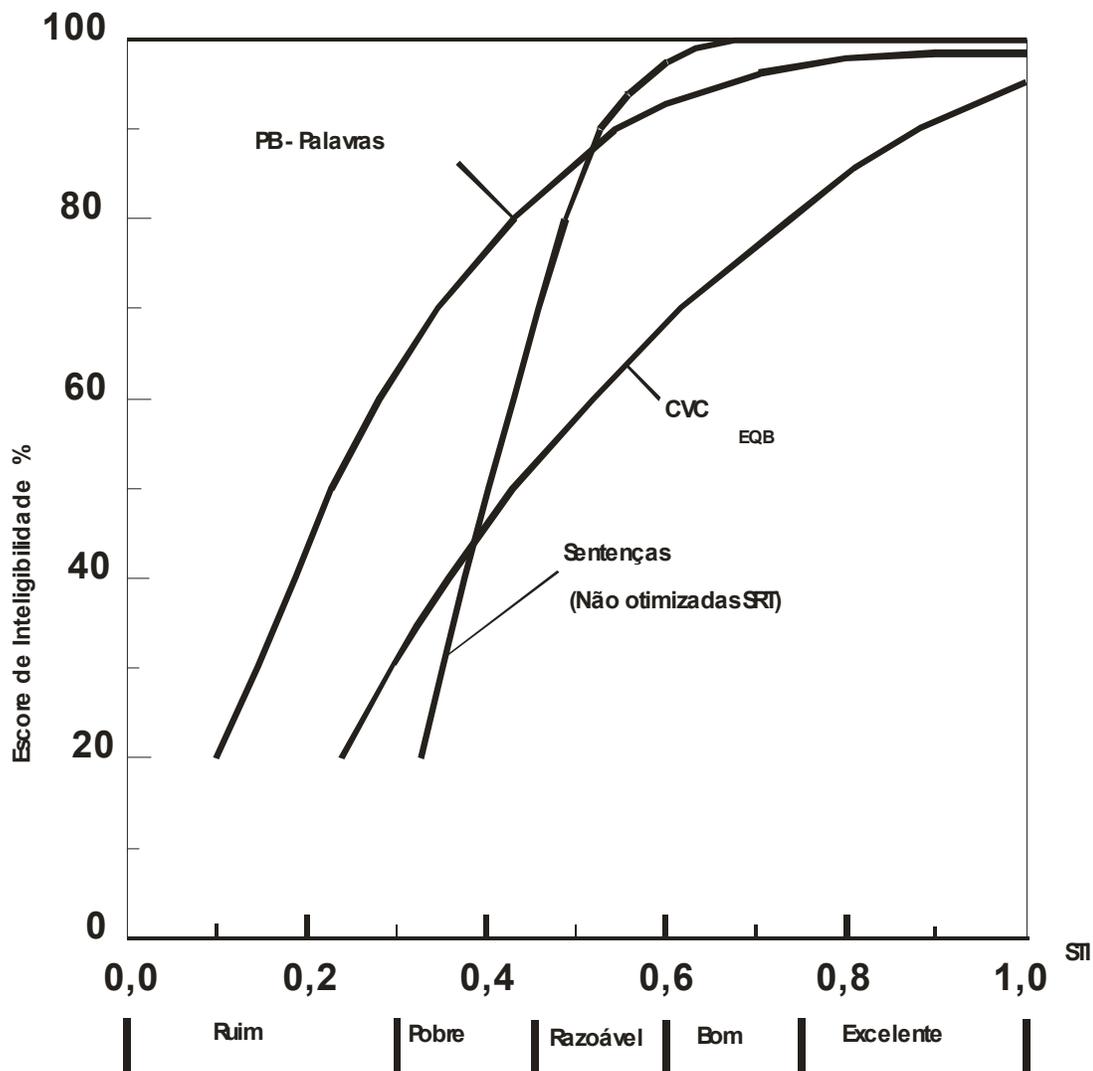


Figura 5.6.1 - Qualificação do STI e escore de inteligibilidade. Fonte: Adaptado de IEC 60268-16 (2003-05).

As igrejas MNSC-OP, MNSP-OP e CSFA-OP apresentaram os melhores desempenhos de STI com o escore de entendimento em torno de 85 % das palavras e 82 % das frases na posição mais próxima da fonte sonora avaliada e 79 % das palavras e 52 % das frases na posição mais distante. As igrejas com o segundo melhor resultado foram: SÉ-MA e CSFA-OP com resultados em torno de 80 % de entendimento de palavras na posição mais próxima do orador e 67 % na posição mais distante. As demais tiveram seus resultados avaliados abaixo de 70 % de entendimento de palavras e 25 % de frases na posição mais próxima. Chegando a valores quase nulo de entendimento nas posições mais distantes. As igrejas MNSP-SJDR e MSA-TI

apresentaram escore de entendimento de palavras em torno de 50 % na posição mais distante, e quase nulo no que se refere ao entendimento de frases.

Ao se verificar os escores de entendimento constata-se mais uma vez o grande peso do ruído de fundo exercido sobre a inteligibilidade das palavras nas igrejas avaliadas. O rigor na determinação do STI, principalmente se comparado com o bom desempenho obtido na avaliação dos demais parâmetros acústicos, pode ser justificado, ou pela excessiva importância dada ao ruído de fundo, ou pela relação entre seu valor e a lista de palavras de referência no idioma inglês. Tendo em vista, que são foneticamente diferentes das palavras proferidas em português, o que certamente tem influência sobre seus resultados. Mesmo assim é possível extrair importantes informações a cerca da influência do ambiente sobre a inteligibilidade das palavras.



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

*“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma... Todo o Universo conspira a seu favor”.*

*Goethe*

## **6.1 Considerações**

Esta pesquisa teve como propósito, caracterizar as qualidades acústicas de nove igrejas setecentistas, edificadas em duas regiões de substancial importância histórica do Estado de Minas Gerais, correlacionando aos seus parâmetros arquitetônicos. Para isso foram levantadas suas características arquitetônicas tais como: formato, comprimento, largura, altura, áreas, volume e materiais de acabamento de cada igreja.

Ao se levantar tais características pode-se perceber que as igrejas obedecem a uma forma e disposição de seus diversos ambientes de modo semelhante, ou seja, são compostas basicamente de três partes: à entrada o nártex, com o coro em sua parte superior, a nave localizada ao centro, e do lado oposto à entrada, a capela-mor. Das nove igrejas avaliadas, seis são em forma de retângulos interligados e três em forma de elipse.

As igrejas de um modo geral, além de possuir características arquitetônicas para atender as exigências litúrgicas e ritualísticas, também têm que atender as qualidades acústicas para boa audição musical, principalmente ao canto de coro, e a inteligibilidade da fala do padre e auxiliares. Deste modo, procurou-se avaliar os parâmetros acústicos relacionados a estas condições.

De uma forma mais específica em relação a cada um dos parâmetros acústicos abordados neste trabalho, pode-se concluir o seguinte:

## **6.2 Clareza (C80)**

A partir das análises realizadas do parâmetro acústico clareza das igrejas em formato de elipse, pode-se concluir que sua forma tem grande influência em seus resultados, uma vez que concentrou grande quantidade de energia, trazendo prejuízo à

sua qualidade acústica, no que concerne a audição de música, pois houve uma predominância das reflexões tardias sobre as primeiras reflexões.

As posições mais distantes da fonte sonora são consideradas melhores para audição musical, pois sofre menos influência da balaustrada e da borda do piso, tendo ainda como contribuição o acoplamento entre a nave e a capela-mor, que funciona como um ressonador, melhorando a percepção dos sons produzidos no coro.

A maior presença de superfícies revestidas com madeira e talhas barrocas influenciam de maneira positiva ao proporcionar um melhor equilíbrio entre a energia do som que chega até 80 ms e a do som reverberante.

Ao contrário do que se esperava as igrejas em formato retangular são qualitativamente melhores que as igrejas em forma de elipse, apresentando um equilíbrio melhor tanto em frequência quanto nas posições de medição. Por outro lado, o parâmetro arquitetônico volume, em ambos os formatos construtivos, tem pouca influência sobre a clareza do ambiente.

### **6.3 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)**

Foi possível concluir das análises do parâmetro acústico EDT, que o formato construtivo das igrejas setecentistas de Minas Gerais é o principal responsável pela percepção da reverberação, proporcionando a sensação de estar dentro de um ambiente mais vivo do que realmente é. Principalmente nas igrejas em forma de elipse onde a concentração de energia aumenta a percepção da reverberação na região central da nave.

A quantidade de superfícies revestidas com madeira, independente do formato construtivo, influencia diretamente seus resultados, ou seja, quanto maior a sua área menor o valor de EDT.

A regularidade e homogeneidade apresentadas nos valores de EDT para todas as frequências, com ligeira redução em seus valores em baixas e altas frequências, estão relacionadas não só com a proporção de superfícies revestidas com talhas barrocas, mas também com a distribuição dos altares colaterais dentro da nave. Aqui também se constata a pouca influência exercida pelo aumento ou diminuição do volume do ambiente.

#### **6.4 Tempo de Reverberação (TR)**

Mais evidente na análise do tempo de reverberação, foi possível concluir que o comportamento acústico extremamente similar, principalmente nas igrejas edificadas em formato retangular, ou seja, valores reduzidos em baixas e altas frequências, está relacionado à presença das superfícies de madeira providas de talhas barrocas e distribuídas ao longo da igreja e que são responsáveis pela efetiva redução do TR em altas frequências. Sendo a redução do TR em baixas frequências creditada aos altares colaterais, uma vez que a cavidade em que se encontram funcionam como ressonadores absorvendo os sons de baixas frequências, bem como a presença de grande quantidade de revestimentos em madeira funcionando como painéis vibrantes. A presença das talhas barrocas também é responsável pelo aumento da difusão sonora proporcionando uma melhor transmissão dos sons musicais.

Este comportamento acústico bastante peculiar e próprio do estilo arquitetônico das igrejas barrocas construídas no século XVIII, em Minas Gerais, também tem como co-responsável a formação do grande número de frentes de ondas, e sua distribuição ao longo da nave, que nas igrejas em formato retangular promove uma homogeneidade ainda maior do que nas demais.

Da mesma forma que o parâmetro acústico EDT, o tempo de reverberação, independentemente do formato construtivo, é diretamente influenciado pela proporção de superfícies revestidas com madeira. A influência da absorção sonora produzida

pelas talhas barrocas está relacionada ao efetivo aumento de suas superfícies expostas ao campo acústico em consequência dos altos e baixos relevos de suas esculturas. As irregularidades das superfícies também são responsáveis pela absorção dos sons de alta frequência. O tempo de reverberação também é pouco influenciado pelo volume do ambiente.

### **6.5 Definição (D50)**

O que já era de se esperar, no geral, o parâmetro definição tem seus valores melhorados nas posições mais próximas da fonte sonora, ou seja, quanto mais próximo do orador, melhor a percepção das articulações da fala. Nas igrejas setecentistas seus resultados tendem a melhorar nas posições mais distantes mostrando a influência das reflexões promovidas pelas paredes frontais das igrejas ou em casos específicos, nas igrejas desprovidas de altares co-laterais nesta região. Deste modo pode-se concluir que a difusão sonora produzida pela talhas barrocas é responsável pela redução do valor de D50 e pela homogeneidade na sua distribuição nas diversas frequências avaliadas. A sua presença é altamente benéfica nas posições mais próximas do orador trazendo prejuízo nas posições mais distantes. Este parâmetro acústico também é pouco influenciado pelo volume da igreja. A forma retangular trás uma sensível melhoria do valor de D50 para médias frequências, o que não ocorre com as igrejas em formato de elipse. Finalmente pode-se concluir que a grande quantidade de superfícies lisas, sobretudo as superfícies revestidas com argamassa de cal e areia, favorecem a melhoria da percepção das articulações das palavras, proporcionando uma melhor inteligibilidade da fala.

### **6.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)**

A partir dos resultados do índice de transmissão da fala das igrejas setecentistas de Minas, foi possível concluir que quatro parâmetros exercem total influência em seu

resultado. Sendo dois acústicos e dois arquitetônicos. O primeiro, com um peso maior na determinação do STI é o ruído de fundo. Pois, mesmo com valores de ruído de fundo relativamente baixo, os resultados de STI e o índice de acerto de palavras, ficaram muito aquém do esperado, principalmente levando-se em consideração os bons resultados apresentados pelos demais parâmetros acústicos.

Outro parâmetro acústico que notadamente influencia os resultados do STI é o tempo de reverberação. Ou seja, quanto maior o TR, menor é o valor do STI.

A maior presença de superfícies compostas por talhas barrocas proporciona um melhor equilíbrio entre os valores do STI obtidos nas posições mais próximas e mais distantes da fonte sonora.

Pode-se concluir também que a presença de superfícies que proporcionam melhor reflexão do som (madeiras lisas e argamassas), existentes a partir do centro da nave e em direção à entrada da igreja, na posição mais distante do padre, contribuem sobremaneira para a melhoria da inteligibilidade da fala.

## **6.7 Considerações Finais**

Mediante as conclusões relativas à pesquisa desenvolvida é possível perceber o quanto importante e especial é a acústica das igrejas construídas no estilo barroco-rococó, no século XVIII em Minas Gerais. Onde as características arquitetônicas destes monumentos históricos, comprovadamente, exercem enorme influência sobre suas qualidades acústicas. Deste modo foi possível atingir os objetivos desta pesquisa, que além de caracterizar a acústica das igrejas setecentistas, ofereceu uma contribuição eficaz ao fornecer elementos para atender a demanda por informações a respeito da acústica destes ambientes, tanto no que concerne à correção acústica de igrejas existentes, como para a elaboração de novos projetos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da investigação para todas as igrejas barrocas, construídas nas diversas fases do barroco brasileiro, principalmente as da primeira e segunda fase, que podem ser encontradas em outros estados brasileiros.

Sugere-se também a ampliação da investigação para igrejas com outras características arquitetônicas com o propósito de obter mais subsídios de comparação.

Sugere-se ainda um aprofundamento na investigação do índice de transmissão da fala, especialmente fazendo-se a comparação com testes subjetivos de inteligibilidade de palavras, com a aplicação de questionários usando-se lista de palavras em português para se obter uma avaliação mais fiel e real do ambiente.



## REFERÊNCIAS

ANDO, Y.; AIZAWA, S.; SAKURAI, M.; SUZUMURA, Y. A Diagnostic System Measuring Orthogonal Factors of Sound Fields in a Scale Model of Auditorium. **Journal of Sound and Vibration**, v. 232, p. 231,237, 2000.

BARROM, MICHAEL. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. London: E & FN Spon, 1998. 443 p.

BARRON, M. Late Lateral Energy Fractions and the Envelopment Question in Concert Halls. **Applied Acoustics**, n. 62, p. 185-202, 2000.

BAZIN, GERMAIN. **A Arquitetura Religiosa Barroca no Brasil** Rio de Janeiro: Editora Record, 1956. 109 p. v. 2.

BERANEK, L.L. Concert and Opera Halls - How They Sound. **Acoustical Society of America**, 1996.

BERANEK, LEO L. **Concert Halls And Opera House: Music, Acoustics, and Architecture**. 2 ed. New York: Springer-Verlag New York, Inc., 2004. 661 p.

BERANEK, LEO L. **Music, Acoustics & Architecture**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1962. 586 p.

BERANEK, LEO L.; HIDAKA, TAKAYUKI. Objective and Subjective Evaluations of Twenty-three Opera Houses in Europe, Japan, and the Americas. **Acoustical Society of America**, 2000. p. 368-383,

BERANEK, LEO L.; HIDAKA, TAKAYUKI; OKANO, TOSHIYUKI. Relations Among Interaural Cross-correlation Coefficient (IACCE), Lateral Fraction (LFE), and Apparent Source Width (ASW) in Concert Halls. **Journal of Acoustical Society of America**, Cambridge, v. 104, p. 255-265, 1998.

BERTOLI, STELAMARIS ROLLA.; GOMES, MÁRCIO HENRIQUE DE AVELAR. **Determinação da inteligibilidade da fala: uma contribuição para avaliação pós ocupação**. 2006, Campinas, 2006.

BERTOLI, STELAMARIS ROLLA; GOMES, MÁRCIO HENRIQUE DE AVELAR. **Técnicas de Medição para Acústica de Salas**. Campinas: [S.n.], 2005. 65 p. (Apostila da Disciplina: Acústica III - Aprofundamento.)

BISTAFÁ, S.R. **Difusão sonora em salas: paradigmas do passado e estado da arte**. In: I SEMINÁRIO - MÚSICA, ACÚSTICA E TECNOLOGIA, I., 2004, São Paulo. **AcMus - I Seminário - Música, Acústica e Tecnologia**. São Paulo, 2004. p. 98-130.

BISTAFÁ, SYLVIO REYNALDO. **Acústica Arquitetônica: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica**. 2003. <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/acuarq.htm>. Acesso em: 05 set. 2003.

BRÜEL & KJAER. **2716 Power Amplifier**. Disponível em: <[www.bksv.com](http://www.bksv.com)> Acesso em: 12 nov. 2005c.

BRÜEL & KJAER. **Sound Level Meter Type 2260**. Disponível em: <[www.bksv.com](http://www.bksv.com)> Acesso em: 12 nov. 2005b.

BRÜEL & KJAER. **OmniPower Loudspeaker Type 4296** Disponível em: <[www.bksv.com](http://www.bksv.com)> Acesso em: 12 nov. 2005a.

BRÜEL & KJAER. **Product Data - Dirac Room Acoustics Software - Type 7841**. Naerum, 2005d. Catálogo.

CARVALHO, A.P.O.; LENCASTRE, M. Absorção sonora de Retábulos em talha barroca. **Revista Estudos Patrimônio - IPPAR**, Porto, n. 3, p. 14-18, 2002.

CARVALHO, ANTÔNIO P.O.; HENRIQUE, L.; MORGADO, ANTÔNIO E.J. **Analysis of Subjective Acoustic Measures and Speech Intelligibility in Portuguese Churches**. *In*: MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, 131., 1996, Indianapolis. Indianapolis, 1996. p. 1-24.

CARVALHO, ANTÔNIO PEDRO DE OLIVEIRA. The Sabine Equation and Coupled Spaces in Church. *In*: INTERNOISE, 1995, Newport Beach. Newport Beach, 1995. p. 339-342.

CARVALHO, ANTÔNIO PEDRO OLIVEIRA DE. **Acústica de Igrejas**. <http://www.fe.up.pt/~carvalho/igrejas.htm>. Acesso em: 10 ago. 2003.

CARVALHO, ANTÔNIO PEDRO OLIVEIRA. **Objective Acoustical Analysis of Room Acoustic Measurements in Portuguese Catholic Churches**. *In*: NOISE-CON 94, 1994, Ft. Lauderdale. Florida: University of Florida, 1994. p. 805-810.

COCCHI, A.; GARAI, M.; TAVERNELLI, C. Boxes and sound quality in an italian opera house. **Journal of Sound and Vibration**, n. 232, p. 171-191, 2000.

COCCHI, ALESSANDRO; FARINA, ANGELO. **Utilizzo di Ex-Chiese Come Sale Polifunzionali: La Chiesa di S. Lucia a Bologna**. **Atti del XVIII Convegno Nazionale AIA, L'Aquila**, L'Aquila, p. 6, Abr. 1990. <http://pcfarina.eng.unipr.it>. Acesso em: 04 abr. 2005.

COCCHI, ALESSANDRO; FARINA, ANGELO. **Correzione Acustica di Ex-Chiese Riadattate per Utilizzo Concertistico: Un Esempio di Progettazione di Interventi non Sabiniani con L'Ausilio del Calcolatore**. Parma, p. 16, 1987. <http://pcfarina.eng.unipr.it>. Acesso em: 04 abr. 2005.

COCCHI, ALESSANDRO; FARINA, ANGELO. **Old Churches as Concert Halls: A non-sabinian Approach to Optimum Design of Acoustic Correction.** Proc. of 14th. ICA, Beijing, p. 2, Set. 1992. <http://pcfarina.eng.unipr.it>. Acesso em: 04 abr. 2005.

CORONA, EDUARDO; LEMOS, CARLOS A. C. **Dicionário da Arquitetura Brasileira.** 1 ed. São Paulo: Edart - São Paulo Livraria Editora Ltda, 1972. 479 p.

DER-MG. **Mapa rodoviário de Minas Gerais.** Disponível em: <[http://www.der.mg.br/html/mapa\\_rodoviario/indice/indice.htm](http://www.der.mg.br/html/mapa_rodoviario/indice/indice.htm)> Acesso em: 20 jul. 2006.

DESARNAULDS, VICTOR; CARVALHO, ANTÔNIO PEDRO DE OLIVEIRA. **Analysis of Reverberation Time Values in Churches According to Country and Architetural Style.** In: THE 8TH INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 8., 2001, Hong Kong. Hong Kong, 2001. p. 749-755.

DIGIGRAM. **Placas de Áudio para Computadores Portáteis.** Disponível em: <[www.digigram.com](http://www.digigram.com)> Acesso em: 12 out. 2005.

DIRAC. **Product Data - Dirac Room Acoustic Software - Type 7841.** Naerum, 2005. Manual do Software.

EGAN, M. DAVID. **Architectural Acoustics.** New York: McGraw-Hill, 1988. 411 p.

FABBRI, P.; FARINA, A.; FAUSTI, P.; POMPOLI, R. Il Teatro degli intrepidi di Giovan Battista Aleotti rivive attraverso le nuove tecniche dell'acustica virtuale. **Giambattista Aleotti e gli Ingegnere del Rinascimento,** Firenze, p. 195-205, 1998.

FARINA, ANGELO. **Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion With a Swept-sine Technique.** In: AES - AN AUDIO ENGINEERING SOCIETY PREPRINT, 108., 2000a, Paris. Paris, 2000. p. 1-24.

FARINA, ANGELO. **La Caratterizzazione Acustica Delle Sale Da Spettacolo Con Particolare Attenzione Alle Esigenze Di Ascolto Della Musica Sinfonica.** Bologna, 1986. 364 f. Tesi (Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica) - Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna.

FARINA, ANGELO. Acoustic Quality of Theatre: Correlations between Experimental Measures and Subjective Evaluations. **Applied Acoustics,** London, v. 62, p. 890-916, 2000b.

FARINA, ANGELO. **Tecniche di Convoluzione Applicate al Trattamento di Segnali Sonori per Prove di Ascolto.** Parma, 1993. 6 f. Trabalho Acadêmico (Física Técnica) - Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma.

FARINA, ANGELO. Nuove Tendenze nell'Acquisizione dei Dati Acustici: Strumentazione, Software, Normativa. *In*: CONVEGNO NAZIONALE, 1990, Bologna. **Rumore e Vibrazioni - Valutazione, Prevenzione, Bonifica**. Bologna: Monduzzi Editore S.p.A., 1990. p. 667-677.

FARINA, ANGELO. **Metodologia di Misura e Valutazione**. *In*: SEMINARIO TOP AUDIO 2001 - L'ACUSTICA DEI PICCOLI AMBIENTI DI ASCOLTO, 2001, : Audio Engineering Society, 2001. p. 1-14.

FARINA, ANGELO; AVANZINI, ANDREA. **Registrazione della Risposta Acustica delle Sale da Concerto per i Posterj**. *In*: AES ITALIA - WORKSHOP 2003 SULLE TECNICHE DI RIPRESA, 2003, Adria. : Audio Engineering Society, 2003. p. 1-17.

FAUSTI, PATRIZIO; FARINA, ANGELO. **Acoustic Measurements in Opera House: Comparison Between Different Techniques and Equipment**. Dipartimento di Ingegneria. Ferrara, 2000.

FERNANDES, JOÃO CANDIDO. **Acústica e Ruídos**. Bauru: [S.n.], 2002. 98 p. (Apostila para disciplina: Acústica e Ruídos - Faculdade de Engenharia - Unesp.)

FERNANDES, JOÃO CÂNDIDO. **Avaliação da Inteligibilidade Acústica em uma Igreja Pelos Métodos Subjetivo e Analítico**. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19., 2000, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizontep. 300-305.

FIGUEIREDO, FÁBIO LEÃO; IAZZETTA, FERNANDO; MASIERO, BRUNO. **Análise de Parâmetros Acústicos Subjetivos: Critério para Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música**. *In*: REUNION ANUAL DE LA SOCIEDAD ARGENTINA PARA LAS CIENCIAS COGNITIVAS DE LA MUSICA, 4., 2002, Tucumán. Tucumán, 2002.

GERGES, SAMIR NAGI YOUSRI. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2 ed. Florianópolis: NR, 2000. 696 p.

GIULIANNI A.; COCCHI A. Un Contributo alla Conoscenza delle Caratteristiche Acustiche degli Spazi Chiusi: le Chiese. **Rivista Italiana di Acustica**, v. 9, n. 1, 1985.

GOMES, MÁRCIO HENRIQUE DA AVELAR. **Obtenção de Parâmetros para a Avaliação da Qualidade Acústica de Salas Através da Técnica MLS e Acústica de Raios**. Florianópolis, 1998. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

GRANADO JÚNIOR, MILTON VILHENA. **Acústica Arquitetônica: Subsídios para Projeto de Salas para Palavra Falada (Teatro de Palco Italiano)**. São Paulo, 2002. 211 f. Tese - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

GRILLO, FLÁVIO C. **Capela de São Francisco de Assis, Ouro Preto**. Belo Horizonte, 1988. Projeto Arquitetônico.

HOUTGAST, T; STEENEKEN, H.J.M. A Mult-Language Evaluation of the RASTI-Method for Estimating Speech Intelligibility in Auditoria. **Acustica**, 1984. 54, p. 185-199,

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO-9613-1**: Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors. Genève, 2003-05.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382**: Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters.. Genève, 1993.

INTERNATIONAL STANDARD. **IEC - 60268-16**: Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Genève, 2003-05.

IPHAN. **Igreja da Sé - Mariana - MG** Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1331> > Acesso em: 18 dez. 2004h.

IPHAN. **Igreja Matriz de Santo Antônio - Tiradentes - MG** Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1460> > Acesso em: 18 dez. 2004a.

IPHAN. **Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar - Ouro Preto - MG** Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1385> > Acesso em: 18 dez. 2004b.

IPHAN. **Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias - Ouro Preto - MG**. Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1381> > Acesso em: 18 dez. 2004c.

IPHAN. **Igreja de Nossa Senhora do Rosário - Ouro Preto - MG**. Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1375> > Acesso em: 18 dez. 2004d.

IPHAN. **Igreja de São Francisco de Assis - São João del Rei - MG** Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1440> > Acesso em: 18 dez. 2004k.

IPHAN. **Igreja de São Francisco de Assis - Ouro Preto - MG** Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1378> > Acesso em: 18 dez. 2004g.

IPHAN. **Igreja Matriz do Pilar - São João Del Rei**. Disponível em:  
<<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1441> > Acesso em: 18 dez. 2004i.

IPHAN. **Igreja de Nossa Senhora do Monte do Carmo - Ouro Preto - MG** Disponível em: <<http://www.iphan.gov.br/bancodados/benstombados/mostrabenstombados.asp?CodBem=1374> > Acesso em: 18 dez. 2004f.

JOHNSON, JIM; METHA, MADAN; ROCAFORT, JORGE. **Architectural Acoustics: Principles and Design** Upper Saddle River, New Jersey: Merrill Prentice Hall, 1999. 446 p.

JORDAN, V.L. A Group of Objective Acoustical Criteria For Concert Halls. **Applied Acoustics**, London, v. 14, p. 253-266, 1981 1981.

KUTTRUFF, H. Reverberation in room acoustics. *In: XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, XIX., 2000, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte, 2000. p. 67-76.

LUBMAN, DAVID; WETHERILL, EWART A. **Acoustics of Worship Spaces**. *In: MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA*, 106., 1983, San Diego. **Acoustics of Worship Spaces..** New York: [S.n.], 1985. p. 1-91.

MALAFAIA, SORAIA F.; TENENBAUM, ROBERTO A. Estudo Psicoacústico dos Parâmetros Utilizados para Caracterizar a Qualidade Acústica de Salas de Concerto. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 19., 2000, Belo Horizonte. **Anais Proceedings**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. p. 318-323.

MASIERO, BRUNO SANCHES; IAZZETTA, FERNANDO. Estudo de **Implementação de Métodos de Medição de Resposta Impulsiva**. *In: I SEMINÁRIO MÚSICA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: ACÚSTICA MUSICAL*, 1., 2004, São Paulo. **Acmus**. São Paulo: USP, 2004. p. 200-209.

MEYER, E; RICHARDSON, E.C. **Technical Aspects of Sound**. Amsterdam: Elsevier Publ., 1962. v. 3.

MOURÃO, PAULO KRÜGER CORRÊA. **As Igrejas Setecentistas de Minas**. 2 ed. Belo Horizonte: Itatiaia, 1986. 180 p. (Reconquista do Brasil.)

MÜLLER, SWEN; MASSARANI, PAULO. Transfer-Function Measurement with Sweeps. **Journal of Audio Engineering Society**, v. 49, n. 6, p. 443, 2001.

MÜLLER, SWEN; MASSARANI, PAULO. **Medições da Resposta em Frequência de Sistemas de Sonorização**. in: Duque de Caxias: Laena - Inmetro, 2005. p. 1-8.

NANNARIELLO, JOSEPH; FRICKE, FERGUS R. A Neural-Computation Method of Predicting the Early Interaural Cross-correlation Coefficient (IACCE3) for Auditoria. **Applied Acoustics**, London, v. 63, p. 627-641, 2001.

NEPOMUCENO, LAURO XAVIER. **Acústica Técnica** São Paulo: Etegil - Editora Técnico-Gráfica Industrial Ltda, 1968. 578 p.

PAIVA, JOÃO PEDRO DE ALMEIDA. **Capela de Nossa Senhora do Rosário, Ouro Preto**. Belo Horizonte, 1979 b. Projeto Arquitetônico.

PAIVA, JOÃO PEDRO DE ALMEIDA. **Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo, Ouro Preto**. Belo Horizonte, 1979 a. Projeto Arquitetônico.

PIERCE, JOHN R. **La Scienza Del Suono**  
[http://www.buscemihifi.it/hifi/acustica\\_architettura.htm](http://www.buscemihifi.it/hifi/acustica_architettura.htm). Acesso em: 04 set. 2003.

SALLES. FRITZ TEIXEIRA DE. **Vila Rica do Pilar**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Ltda, 1999. 235 p. (Coleção Reconquista do Brasil (2ª Série)..) v. 71.

SAMPAIO, WILSON V. **Matriz de Santo Antônio de Tiradentes**. Belo Horizonte, 1995. Projeto Arquitetônico.

SAMPAIO, WILSON V. **Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias, Ouro Preto**. Belo Horizonte, 1948. Projeto Arquitetônico.

SAMPAIO, WILSON V. **Matriz de Nossa Senhora do Pilar, São João Del Rei**. Belo Horizonte, 1952. Projeto Arquitetônico.

SAMPAIO, WILSON V. **Capela de São Francisco de Assis, São João Del Rei**. Belo Horizonte, 1950. Projeto Arquitetônico.

SANCHIDRIÁN, CÉSAR DIAZ; GONZALEZ, ANTONIO PEDRERO. La Acústica de la Iglesia del Monasterio de Santo Domingo de Silos y su Adecuación a la Práctica del Canto Gregoriano. **TecniAcústica**, Madrid, 2006.

SANTOS, PAULO F. **Subsídios Para o Estudo Da Arquitetura Religiosa em Ouro Preto**. Rio de Janeiro: Livraria Kosmos Erich Eichner & Cia. Ltda, 1951. 174 p.

SCHROEDER, M.R. New Method of Measuring Reverberation Time. **Acoustical Society of America**, New Jersey, n. 37, p. 409-412, 1965.

SIMÕES, F.M.; NABINGER, L.B. **Análise das Condições Acústicas e Projeto de Condicionamento Acústico da Catedral Metropolitana de Porto Alegre, RS**. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO., 6., 2001, São Pedro. , 2001.

TENENBAUM, R.A.; VASCONCELLOS, L. Sobre a a influência do teto móvel na qualidade acústica da sala São Paulo. In: ACMUS - I SEMINÁRIO - MÚSICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2004, São Paulo. **I Seminário - Música, Ciência e Tecnologia - Acústica Musical**. São Paulo, 2004. p. 153-170.

THIELE, R. Richtungsverteilung und Zeitfolger der Schallrückwürfe in Räumen. **Acustica**, 1953. 3, p. 291-302,

TIRAPELLI, PERCIVAL. **As Mais Belas Igrejas do Brasil** São Paulo: Metalivros, 1952. 295 p.

TRONCHIN, LAMBERTO; FARINA, ANGELO. **Acoustics of the Former Teatro "La Fenice" in Venice**. University of Bologna. Bologna, 2000.

VASCONCELLOS, SALOMÃO DE. **Mariana e Seus Templos**. Belo Horizonte: Graphica Queiroz Breyner Ltda, 1938. 41 p.

## GLOSSÁRIO

Bibliografia de referência do glossário: (CORONA, LEMOS; 1972).

**Adro:** Terreno em frente e/ou em volta da igreja que antigamente era murado, plano ou escalonado.

**Altar-mor:** Altar principal de uma igreja. Nas igrejas barrocas está situado dentro da capela-mor.

**Arco cruzeiro:** Grande umbral em forma de arco que separa nave da capela-mor nas igrejas barrocas mineiras.

**Arquitrave:** Divisão situada na base de um entablamento clássico, que repousa diretamente sobre os capiteis das colunas e que apóia o friso.

**Balaustrada:** Barreira composta por um corrimão apoiado em pontalotes ou balaústres espaçados entre si. Também chamada de guarda-corpo e parapeito.

**Balaústre:** Pequena coluna ou pilar, de altura e seção variável, de metal, madeira, pedra ou alvenaria que sustenta o corrimão.

**Barroco:** Manifestações artísticas caracterizada pela formação de um conjunto de estilos que surgiu entre o fim do Renascimento e o Neo-classicismo. Com o barroco surgiu uma nova concepção plástica do conjunto arquitetônico. O barroco é caracterizado pelo uso livre e escultural das ordens e da ornamentação clássicas, a oposição dinâmica e a interpretação de espaços, e o efeito dramático da combinação de arquitetura, escultura, pintura e artes decorativas.

**Canelura:** Sulco escavado ao longo de uma superfície, cuja seção é um arco de círculo. Ou seja, cada uma das ranhuras ou estrias semelhantes a diminutos canaletes, abertos para ornamentar fustes de colunas, pilastras ou peças edificadas.

**Cantaria:** Pedras lavradas e cortadas segundo as regras da ESTEREOTOMIA para serem aplicadas às diferentes partes do edifício, como constituição, das paredes, etc.

**Capela:** Área de uma igreja consagrada a atividades à parte como preces individuais, meditações ou pequenos serviços religiosos.

**Capela-mor:** Capela principal de uma igreja. Nas igrejas barrocas mineiras elas se encontram ao fundo abrigando o altar-mor.

**Cimalha:** Refere-se ao elemento colocado na parte superior que termina, coroa ou remata a fachada de um edifício, ao mesmo tempo em que oculta o telhado e serve de apoio ao algeroz e, também, designa o conjunto de molduras que subdivide uma superfície de parede, tanto interna como externa. Em sentido mais amplo, cimalha é o termo empregado para se referir a tope, cimo, alto, cume além de cumeeira.

**Compósita:** Nome de uma ordem de arquitetura de origem romana, sendo uma mistura dos ornamentos das colunas Jônica e Coríntia, isto é, têm no seu capitel as volutas da Ordem Jônica e as folhas de acanto da Ordem Coríntia.

**Consolo:** Elemento de balanço na parede para servir de apoio a estátuas, vasos ou mesmo balcões ou sacadas.

**Cornija:** É a terceira e mais elevada parte do entablamento clássico, dividindo-se em três partes: cimácio, lacrimal e sófito. De maneira geral, dá-se o nome de cornija a todo conjunto de molduras salientes que servem de arremate superior às obras de arquitetura.

**Coro:** Parte de uma igreja reservada aos cantores do coro. Nas igrejas barrocas de Minas Gerais, o coro se encontra sobre o nártex na entrada principal.

**Cúpula:** Abóbada de revolução, formada por um arco que gira em torno de um eixo. Ou seja, estrutura abobadada de planta circular e que normalmente apresenta a forma de uma porção esférica construída de modo a exercer esforços de compressão iguais em todas as direções.

**Dossel:** Qualquer cobertura a meia altura, no interior de um cômodo. Pode ser de madeira, pedra, ou mesmo de tecidos variados, como o veludo, a seda ou o damasco.

**Fitomorfo:** Em forma de vegetal (planta).

**Fuste:** Parte central de uma coluna ou pilar, compreendida entre o capitel e a base.

**Nártex:** Pórtico à entrada da nave de uma igreja cristã ou bizantina. Antigamente, galeria alpendrada na frente das igrejas, onde eram reunidos os catecúmenos, os energúmenos e penitentes impedidos por ordem religiosa, de adentrar a nave do templo.

**Nave:** Parte central ou principal de uma igreja que se prolonga do nártex até o coro ou o coro lateral, e normalmente ladeado por naves laterais. Nas igrejas barrocas mineiras as naves se prolongam do nártex até a capela-mor.

**Nave lateral:** Qualquer uma das divisões longitudinais de uma igreja, separada da nave central por um renque de colunas ou pilares.

**Pináculo:** Estrutura vertical subordinada que termina em uma pirâmide ou flecha, utilizada especialmente na arquitetura gótica para acrescentar peso a uma pilastra de arcobotante. O ponto mais alto de um edifício.

**Presbitério:** Residência paroquial, igreja paroquial ou capela-mor.

**Púlpito:** Tribuna elevada em um dos lados da nave para pregadores nos templos religiosos. O mesmo que palco.

**Retábulo:** O termo provem das palavras latinas retro (de trás) e tabula (tábua) e significa habitualmente neste contexto, uma construção de madeira, com relevos, que se eleva da parte posterior de um altar e que encerra geralmente um motivo religioso que decora o altar. Os retábulos mineiros apresentam três estilos artísticos distintos, que expressam a evolução do barroco na Europa, notadamente em Portugal o nacional português, o joanino (ou Dom João V) e o rococó.

**Roca:** Armação de madeira das imagens dos santos.

**Rococó:** Nome dado à profusão de ornamentos, às vezes de mau gosto, que caracterizam estilos pós-renascentistas, especialmente na França de Luis XIV.

**Talha barroca:** Esculturas executadas em madeira que ornamentam os retábulos das igrejas barrocas.

**Tarja:** Ornato de pintura, desenho ou escultura na orla ou no contorno de algum objeto.

**Torso:** Torcido, tortuoso ou sinuoso.

**Verga:** Peça de pedra ou madeira que se põe horizontalmente sobre ombreiras de portas ou de janelas; torça ou padieira.

**Voluta:** Ornato espiralado de um capitel de coluna.

**Zoomorfo:** Em forma de animal.

## Apêndice – A: Gráficos da Relação Impulso Ruído das Igrejas Setecentistas de Minas Gerais.

O gráfico da figura A.1 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Sé de Mariana, na posição 3 do microfone.

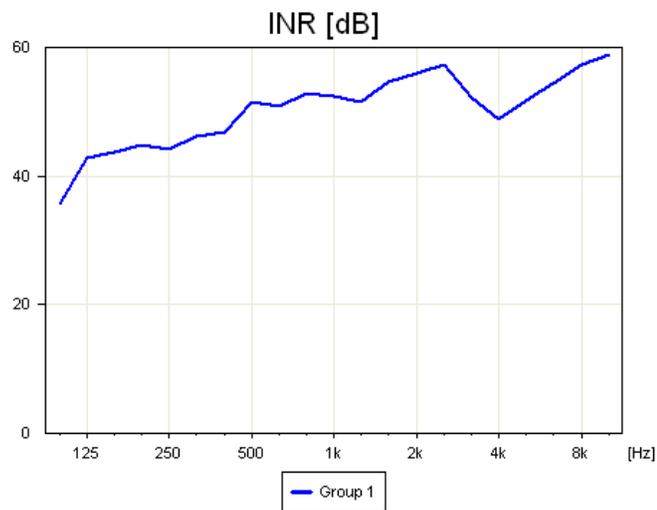


Figura A1 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Sé de Mariana.

O gráfico da figura A2 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, na posição 3 do microfone.

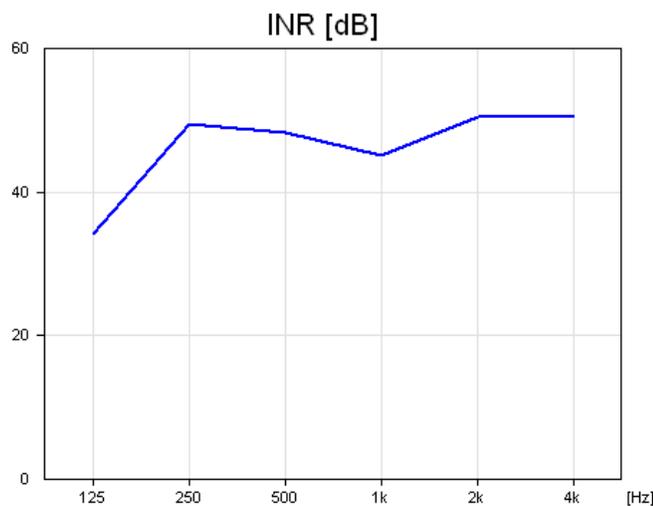


Figura A2 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.

O gráfico da figura A3 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto, na posição 3 do microfone.

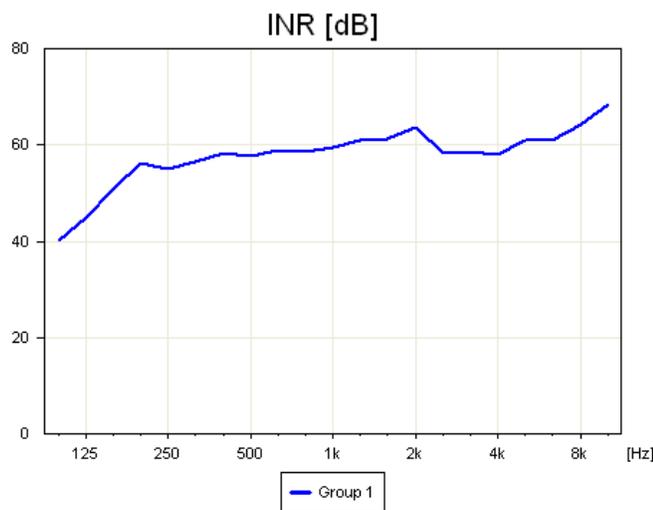


Figura A3 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.

O gráfico da figura A4 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto, na posição 3 do microfone.

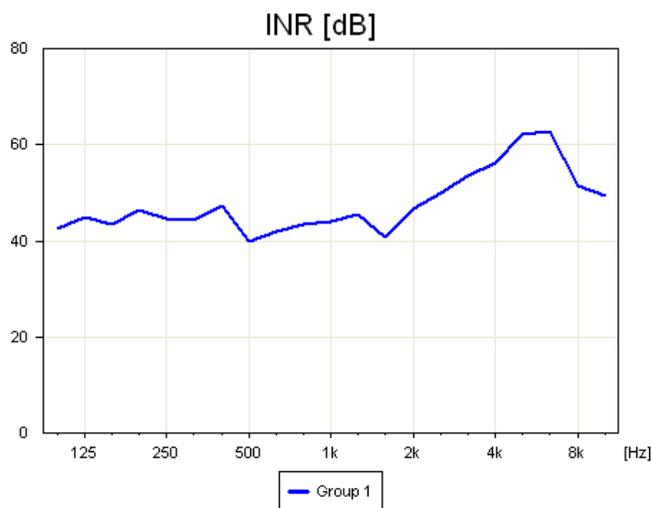


Figura A4 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

O gráfico da figura A5 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Matriz de Santo Antônio de Tiradentes, na posição 3 do microfone.

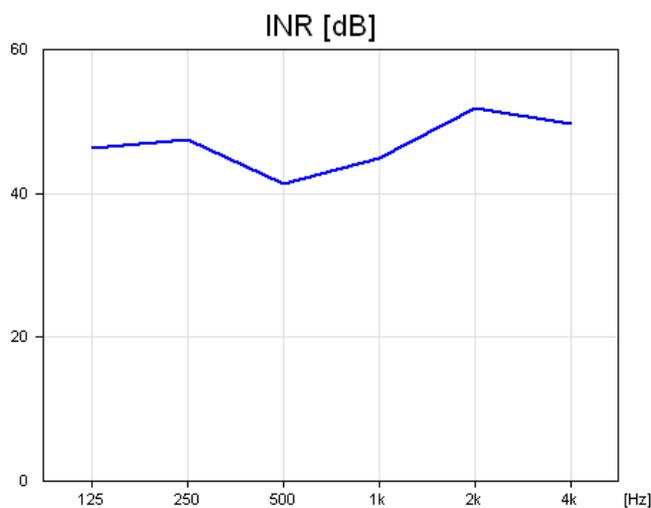


Figura A5 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

O gráfico da figura A6 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto, na posição 3 do microfone.

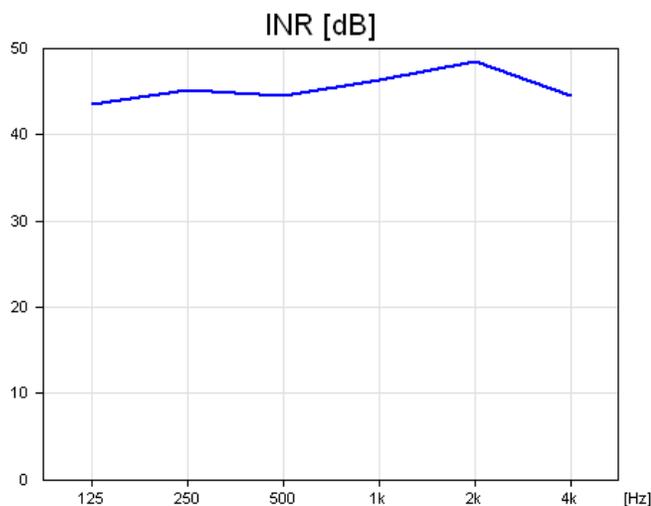


Figura A6 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto.

O gráfico da figura A7 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto, na posição 3 do microfone.

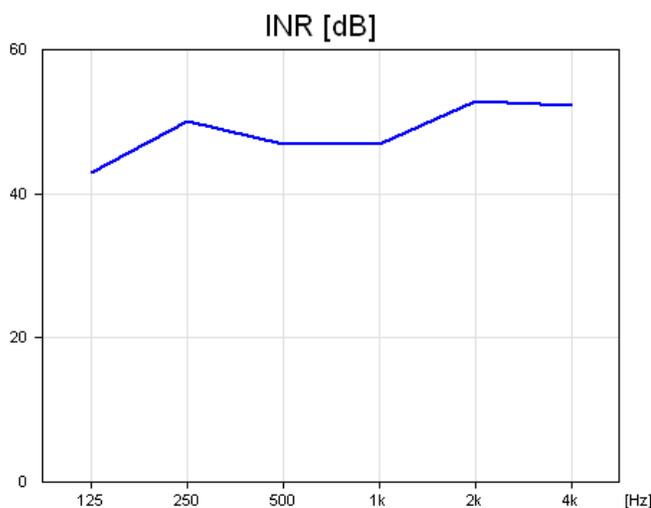


Figura A7 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

O gráfico da figura A8 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto, na posição 3 do microfone.

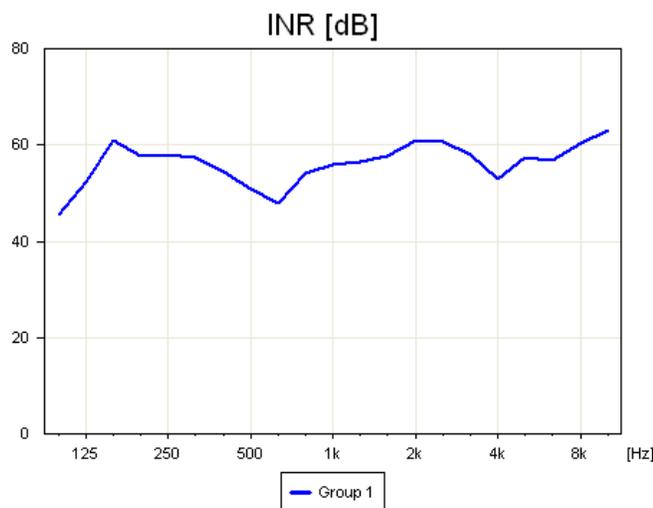


Figura A8 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

O gráfico da figura A9 apresenta a relação impulso ruído (INR) para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei, na posição 3 do microfone.

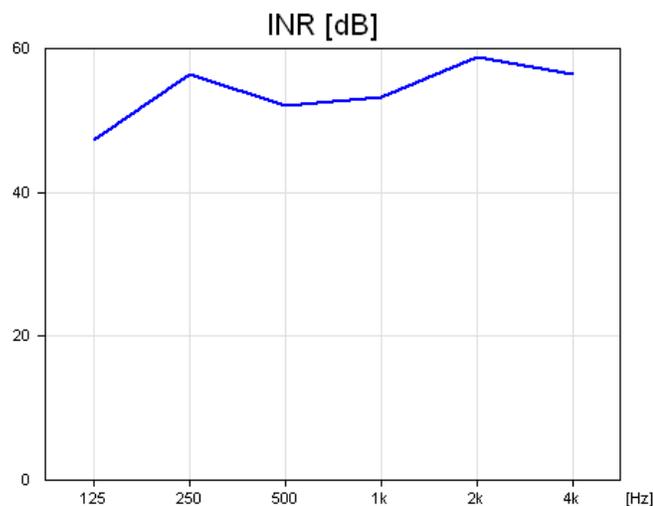


Figura A9 – Gráfico da Relação Impulso Ruído (INR) da Posição 3 da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

## Apêndice – B: Resultados numéricos dos parâmetros acústicos obtidos das medições nas igrejas setecentistas de Minas Gerais.

O quadro B1 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Sé de Mariana.

Quadro B1 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Sé de Mariana.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80 (dB)</b>	P1	7,54	5,2	1,83	3,07	2,64	1,49
	P2	6,72	1,99	2,77	1,12	0,98	1,93
	P3	-2,88	-2,41	-2,68	-1,79	-2,5	-1,87
	P4	0,53	-5,47	-2,8	-3,43	-3,32	-2,49
	P5	-1,78	0,61	-4,44	-4,28	-4,35	-3,32
	P6	-0,4	-0,2	-3,07	-3,78	-2,68	-2,27
	P7	0,2	-2,04	-3,58	-3,98	-4,35	-1,88
<b>EDT (s)</b>	P1	0,9	1,38	1,52	1,49	1,49	1,19
	P2	0,59	1,1	1,48	1,38	1,41	1,24
	P3	1,4	1,54	1,86	2,11	2,08	1,92
	P4	1,65	1,76	2,11	2,14	2,03	1,95
	P5	1,22	1,69	2	2,26	2,25	2,01
	P6	1,25	1,62	2,03	2,04	2,12	1,98
	P7	1,13	1,36	1,9	2,06	2,14	1,94
<b>TR (s)</b>	P1	0,98	1,06	1,59	1,42	1,64	1,43
	P2	1,14	1,27	1,45	1,72	1,67	1,51
	P3	1,28	1,41	1,83	2,02	1,94	1,72
	P4	1,23	1,47	1,76	1,90	1,92	1,73
	P5	1,28	1,47	1,74	1,89	1,88	1,70
	P6	1,36	1,47	1,75	1,92	1,86	1,70
	P7	1,35	1,42	1,81	1,98	1,92	1,74
<b>D50</b>	P1	0,55	0,47	0,56	0,47	0,41	0,48
	P2	0,62	0,44	0,5	0,38	0,35	0,4
	P3	0,27	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25
	P4	0,39	0,17	0,23	0,21	0,25	0,24
	P5	0,36	0,24	0,17	0,19	0,17	0,18
	P6	0,4	0,3	0,18	0,18	0,24	0,27
	P7	0,43	0,25	0,16	0,17	0,17	0,28

O quadro B2 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da igreja de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.

Quadro B2 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	<b>P1</b>	1,03	-3,03	-6,28	-6,29	-5,21	-2,2
	<b>P2</b>	-0,34	-3,21	-2,51	-4	-2,92	1,05
	<b>P3</b>	2,17	-3,54	-1,55	-3,29	-2,1	0,26
	<b>P4</b>	-1,09	-1,05	-3,6	-3,05	-2,61	-1,25
	<b>P5</b>	4,62	1,03	-1,35	-1,78	-0,68	0,64
	<b>P6</b>	1,22	-2,11	-3,34	-5,61	-4,96	-2,66
<b>EDT</b> (s)	<b>P1</b>	0,9	1,41	1,24	1,09	1,02	0,7
	<b>P2</b>	1,74	2,09	2,19	1,96	1,72	1,29
	<b>P3</b>	1,58	2,1	1,9	2,21	1,97	1,4
	<b>P4</b>	1,36	1,96	2,38	2,6	2,12	1,43
	<b>P5</b>	1,34	1,87	2,3	2,42	2,36	1,59
	<b>P6</b>	1,56	1,7	2,11	2,55	2,19	1,56
<b>TR</b> (s)	<b>P1</b>	0,94	1,58	1,67	1,64	1,42	0,92
	<b>P2</b>	1,49	1,78	2,08	2,24	2,02	1,45
	<b>P3</b>	1,63	1,66	2,19	2,32	2,09	1,52
	<b>P4</b>	1,49	1,86	2,11	2,29	1,99	1,59
	<b>P5</b>	1,54	1,93	2,30	2,48	2,09	1,64
	<b>P6</b>	1,49	2,14	2,19	2,29	1,96	1,57
<b>D50</b>	<b>P1</b>	0,63	0,67	0,49	0,54	0,56	0,69
	<b>P2</b>	0,46	0,3	0,21	0,23	0,41	0,54
	<b>P3</b>	0,5	0,34	0,26	0,24	0,28	0,39
	<b>P4</b>	0,3	0,16	0,11	0,17	0,21	0,41
	<b>P5</b>	0,24	0,31	0,12	0,15	0,2	0,33
	<b>P6</b>	0,26	0,39	0,19	0,22	0,26	0,37

O quadro B3 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da igreja de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.

Quadro B3 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	P1	5,7	4,71	3,49	3,54	4,38	4,69
	P2	3,95	0,84	2,18	3,12	3,77	5,32
	P3	7,85	1,99	1,3	1,71	3,05	4,55
	P4	-2,62	0,35	0,24	-1,43	0,28	1,94
	P5	2,92	-1,17	-2,93	-4,62	-1,11	0,2
	P6	0,28	-2	-3,98	-4,8	-2,14	-0,51
	P7	-3,77	-2,34	-3,45	-3,73	-3,08	-0,44
	P8	1,31	-0,25	-4,98	-4,72	-2,2	-0,07
<b>EDT</b> (s)	P1	0,70	1,00	1,15	1,14	1,27	0,95
	P2	0,96	1,27	1,14	1,30	1,22	0,90
	P3	0,63	1,70	2,01	1,91	1,60	1,22
	P4	1,53	1,57	2,17	2,26	1,98	1,71
	P5	1,37	1,91	2,17	2,37	2,21	1,80
	P6	1,62	1,81	2,24	2,49	2,15	1,83
	P7	1,23	1,78	2,20	2,53	2,23	1,96
	P8	1,38	1,45	2,04	2,46	2,14	1,76
<b>TR</b> (s)	P1	1,15	1,46	1,83	1,91	1,75	1,47
	P2	1,19	1,40	1,91	2,05	1,85	1,56
	P3	1,42	1,65	2,12	2,17	2,11	1,72
	P4	1,16	1,54	1,91	2,15	2,03	1,79
	P5	1,59	1,65	2,17	2,25	2,09	1,80
	P6	1,35	1,80	2,07	2,24	2,13	1,78
	P7	1,42	1,89	1,98	2,24	2,10	1,80
	P8	1,41	1,61	2,02	2,15	2,06	1,76
<b>D50</b>	P1	0,41	0,55	0,47	0,53	0,59	0,61
	P2	0,49	0,25	0,44	0,56	0,47	0,63
	P3	0,71	0,42	0,47	0,41	0,49	0,63
	P4	0,3	0,34	0,37	0,32	0,43	0,53
	P5	0,47	0,23	0,21	0,16	0,31	0,4
	P6	0,33	0,28	0,17	0,16	0,23	0,32
	P7	0,22	0,25	0,2	0,15	0,19	0,36
	P8	0,42	0,34	0,13	0,16	0,25	0,36

O quadro B4 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da igreja de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

Quadro B4 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	<b>P1</b>	2,6	-3,45	-3,3	-3,67	-2,03	0,3
	<b>P2</b>	-0,65	0,35	-3,21	-3,44	-2,85	-1,29
	<b>P3</b>	-1,88	-1,87	-3,84	-3,36	-3,11	-1,5
	<b>P4</b>	4,68	-2,97	-4,24	-4,16	-3,73	-2,89
	<b>P5</b>	-0,38	-2,84	-4,13	-3,65	-4,75	-3,82
	<b>P6</b>	-1,61	-6,06	-5,11	-2,63	-3,2	-0,51
<b>EDT</b> (s)	<b>P1</b>	1,52	1,76	2,16	2,13	2,16	1,69
	<b>P2</b>	1,09	1,95	2,03	2,21	2,09	1,64
	<b>P3</b>	1,47	2,18	2,16	2,17	2,14	1,67
	<b>P4</b>	1,04	1,87	2,35	2,35	2,17	1,67
	<b>P5</b>	1,49	1,99	2,12	2,08	2,15	1,55
	<b>P6</b>	1,24	2,06	2,06	2,29	2,29	1,70
<b>TR</b> (s)	<b>P1</b>	1,45	1,51	1,84	1,98	1,73	1,53
	<b>P2</b>	1,75	1,60	1,95	1,90	1,82	1,44
	<b>P3</b>	1,62	1,62	1,71	1,97	1,83	1,52
	<b>P4</b>	1,76	1,57	1,85	1,86	1,73	1,45
	<b>P5</b>	1,72	1,65	1,91	1,99	1,81	1,40
	<b>P6</b>	1,51	1,64	1,88	1,95	1,78	1,47
<b>D50</b>	<b>P1</b>	0,41	0,18	0,23	0,19	0,25	0,38
	<b>P2</b>	0,22	0,26	0,23	0,19	0,25	0,3
	<b>P3</b>	0,37	0,29	0,21	0,21	0,2	0,27
	<b>P4</b>	0,59	0,26	0,22	0,14	0,14	0,22
	<b>P5</b>	0,24	0,25	0,17	0,15	0,14	0,14
	<b>P6</b>	0,3	0,13	0,15	0,28	0,23	0,38

O quadro B5 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

Quadro B5 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	P1	-1,67	-0,85	-3,49	-3,66	-2,2	-0,38
	P2	0,4	-2,36	-2,8	-3,03	-1,39	-0,15
	P3	-2,83	-1,01	-2,76	-2	-0,53	0,38
	P4	-3,62	1,58	-2,16	-1,69	-1,62	0,6
	P5	3,07	2,93	-0,84	-1,07	-0,04	1,81
	P6	4,57	-0,75	-3,8	-3,33	-3,09	-1,65
<b>EDT</b> (s)	P1	0,44	0,58	0,96	0,9	0,83	0,79
	P2	1,01	1,65	1,75	1,78	1,76	1,37
	P3	1,24	2,01	1,93	1,71	1,81	1,48
	P4	1,38	1,6	2,06	1,84	1,84	1,57
	P5	0,97	1,8	1,89	1,99	1,8	1,59
	P6	1,15	1,83	1,59	1,84	1,74	1,52
<b>TR</b> (s)	P1	1,17	1,60	1,55	1,63	1,49	1,18
	P2	1,59	1,57	1,79	1,90	1,67	1,48
	P3	1,34	1,59	1,76	1,88	1,71	1,51
	P4	1,40	1,65	1,77	1,81	1,71	1,48
	P5	1,40	1,66	1,75	1,90	1,76	1,51
	P6	1,25	1,47	1,93	1,74	1,72	1,50
<b>D50</b>	P1	0,7	0,78	0,73	0,62	0,69	0,73
	P2	0,59	0,39	0,38	0,41	0,39	0,51
	P3	0,49	0,49	0,25	0,27	0,19	0,33
	P4	0,34	0,39	0,29	0,26	0,29	0,35
	P5	0,36	0,52	0,14	0,2	0,26	0,33
	P6	0,3	0,34	0,16	0,23	0,27	0,3

O quadro B6 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Capela de Nossa Senhora do Carmo de Ouro Preto.

Quadro B6 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de Nossa Senhora do Carmo de Ouro Preto.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	P1	-3,04	-3,06	-5,97	-6,84	-5,53	-3,24
	P2	-0,72	-3,1	-4,61	-4,6	-3,17	-1,62
	P3	0,32	-2,42	-3,69	-3,69	-3,02	-1,05
	P4	-0,25	-3,72	-3,84	-4,88	-4,36	-2,79
	P5	-1,69	-2,9	-4,63	-3,21	-5,27	-4,04
	P6	-0,53	-5,33	-8,88	-5,26	-4,58	-3,45
<b>EDT</b> (s)	P1	1,63	2,20	2,22	1,89	1,43	1,08
	P2	1,80	2,63	2,67	2,83	2,34	1,60
	P3	2,31	2,79	2,93	3,15	2,70	2,15
	P4	1,99	2,73	3,44	3,53	3,11	2,23
	P5	2,20	2,86	3,40	3,38	3,11	2,34
	P6	2,03	2,95	3,34	3,38	2,96	2,27
<b>TR</b> (s)	P1	2,26	2,78	2,86	2,81	2,39	1,68
	P2	2,24	2,58	2,99	2,99	2,63	2,06
	P3	2,47	2,87	3,18	2,99	2,72	2,16
	P4	2,59	2,89	2,95	3,09	2,73	2,16
	P5	2,26	2,79	3,13	3,14	2,83	2,20
	P6	2,47	2,84	3,16	3,15	2,80	2,28
<b>D50</b>	P1	0,56	0,61	0,39	0,47	0,51	0,58
	P2	0,4	0,36	0,39	0,42	0,46	0,49
	P3	0,34	0,3	0,19	0,19	0,27	0,32
	P4	0,13	0,2	0,09	0,16	0,16	0,33
	P5	0,2	0,17	0,09	0,1	0,13	0,28
	P6	0,24	0,22	0,12	0,1	0,13	0,25

O quadro B7 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

Quadro B7 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80 (dB)</b>	<b>P1</b>	-2,08	-3,96	-5,21	-2,95	-3,31	-1,1
	<b>P2</b>	-5,42	-4,17	-4,72	-5,31	-4,72	-2,37
	<b>P3</b>	-5,9	-4,03	-5,13	-8,88	-7,74	-4,79
	<b>P4</b>	-2,43	-4,13	-6,9	-9,37	-8,67	-5,71
	<b>P5</b>	-6,24	-7,81	-9,76	-11,12	-11,45	-8,27
	<b>P6</b>	-5,28	-9,71	-12,26	-12,45	-13,6	-11,11
<b>EDT (s)</b>	<b>P1</b>	1,18	2,70	2,95	2,50	2,24	1,53
	<b>P2</b>	3,24	3,56	3,92	4,02	3,40	2,17
	<b>P3</b>	3,62	3,75	4,07	4,31	3,74	2,61
	<b>P4</b>	3,12	4,06	4,03	4,20	3,44	2,48
	<b>P5</b>	3,24	3,96	4,19	4,40	3,60	2,49
	<b>P6</b>	2,90	3,59	4,26	4,58	3,80	2,56
<b>TR (s)</b>	<b>P1</b>	2,83	3,12	3,59	3,62	2,92	1,87
	<b>P2</b>	2,76	3,25	3,89	3,75	3,33	2,46
	<b>P3</b>	2,69	3,12	3,80	3,99	3,35	2,50
	<b>P4</b>	2,76	3,22	3,90	3,86	3,26	2,41
	<b>P5</b>	2,91	3,29	3,77	3,75	3,13	2,27
	<b>P6</b>	3,00	3,64	3,81	3,78	3,25	2,47
<b>D50</b>	<b>P1</b>	0,54	0,37	0,37	0,45	0,45	0,59
	<b>P2</b>	0,24	0,22	0,28	0,3	0,37	0,5
	<b>P3</b>	0,28	0,15	0,15	0,1	0,16	0,28
	<b>P4</b>	0,16	0,16	0,12	0,1	0,21	0,36
	<b>P5</b>	0,18	0,15	0,12	0,07	0,16	0,27
	<b>P6</b>	0,26	0,17	0,08	0,08	0,21	0,37

O quadro B8 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de frequência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Quadro B8 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80</b> (dB)	P1	2,18	4,71	1,6	0,34	2,53	4,47
	P2	0,94	-1,37	1,58	-0,08	1,33	2,35
	P3	0,96	-1,23	-1,32	-1,06	-0,81	1,02
	P4	-1,88	-2,25	-7,09	-6,2	-4,19	-2,58
	P5	-1,15	-2,59	-7,05	-8,54	-6,3	-4,59
	P6	-1,57	-4,12	-6,17	-6,7	-5,47	-3,57
<b>EDT</b> (s)	P1	1,88	1,23	1,78	2,03	1,66	1,52
	P2	1,46	1,91	1,86	1,88	1,74	1,50
	P3	1,75	2,61	2,75	2,61	2,61	2,11
	P4	2,30	2,69	3,13	3,29	3,12	2,59
	P5	2,52	2,37	3,40	3,37	3,02	2,59
	P6	2,24	2,86	3,15	3,13	3,07	2,48
<b>TR</b> (s)	P1	2,27	2,42	2,74	2,69	2,44	1,95
	P2	2,29	2,36	2,82	2,75	2,63	2,09
	P3	2,23	2,41	2,96	3,03	2,80	2,27
	P4	2,51	2,65	2,88	2,93	2,72	2,31
	P5	2,22	2,68	2,63	2,91	2,81	2,35
	P6	2,02	2,29	3,09	3,08	2,77	2,37
<b>D50</b>	P1	0,52	0,64	0,50	0,43	0,56	0,67
	P2	0,12	0,22	0,46	0,34	0,44	0,51
	P3	0,37	0,23	0,25	0,33	0,33	0,44
	P4	0,34	0,30	0,11	0,14	0,19	0,26
	P5	0,19	0,16	0,10	0,05	0,10	0,16
	P6	0,19	0,16	0,09	0,06	0,13	0,17

O quadro B9 apresenta os resultados dos parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 para as bandas de freqüência central de 125 Hz a 4000 Hz, da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

Quadro B9 - Parâmetros acústicos C80, EDT, TR e D50 da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei.

	Posições	Frequências (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>C80 (dB)</b>	<b>P1</b>	-1,4	-4,76	-6,97	-7,5	-6,29	-4,35
	<b>P2</b>	-6,7	-4,61	-5,04	-6,84	-6,56	-3,94
	<b>P3</b>	-6,19	-7,44	-8,74	-8,9	-7,73	-6,19
	<b>P4</b>	-5,55	-5,66	-8,75	-7,4	-8,18	-6,74
	<b>P5</b>	-3,3	-7,1	-8,96	-9,6	-7,4	-5,26
	<b>P6</b>	-4,3	-7,56	-10,92	-13,51	-13,58	-11,49
<b>EDT (s)</b>	<b>P1</b>	1,39	1,20	1,48	1,65	1,51	1,26
	<b>P2</b>	2,42	2,86	3,46	3,33	2,96	2,00
	<b>P3</b>	2,23	3,16	3,60	3,80	3,37	2,44
	<b>P4</b>	2,55	3,38	3,67	3,75	3,57	2,60
	<b>P5</b>	2,03	3,28	3,30	3,69	3,32	2,62
	<b>P6</b>	2,79	2,93	3,25	3,61	3,32	2,53
<b>TR (s)</b>	<b>P1</b>	2,17	2,56	3,04	2,83	2,53	1,85
	<b>P2</b>	2,49	2,95	3,25	3,32	3,02	2,36
	<b>P3</b>	2,88	3,10	3,36	3,39	3,12	2,57
	<b>P4</b>	2,72	2,94	3,27	3,46	3,14	2,54
	<b>P5</b>	2,47	3,08	3,37	3,29	3,17	2,55
	<b>P6</b>	2,39	2,82	3,36	3,41	3,17	2,59
<b>D50</b>	<b>P1</b>	0,34	0,52	0,47	0,5	0,5	0,54
	<b>P2</b>	0,18	0,23	0,17	0,3	0,38	0,54
	<b>P3</b>	0,47	0,25	0,12	0,23	0,25	0,37
	<b>P4</b>	0,26	0,16	0,1	0,14	0,21	0,38
	<b>P5</b>	0,23	0,18	0,08	0,08	0,11	0,21
	<b>P6</b>	0,2	0,16	0,09	0,08	0,13	0,27

## Anexo – A: Planta Baixa e Corte Longitudinal das Igrejas Setecentistas de Minas Gerais.

O desenho da figura A.1 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Sé de Mariana, com detalhes a cerca da posição da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

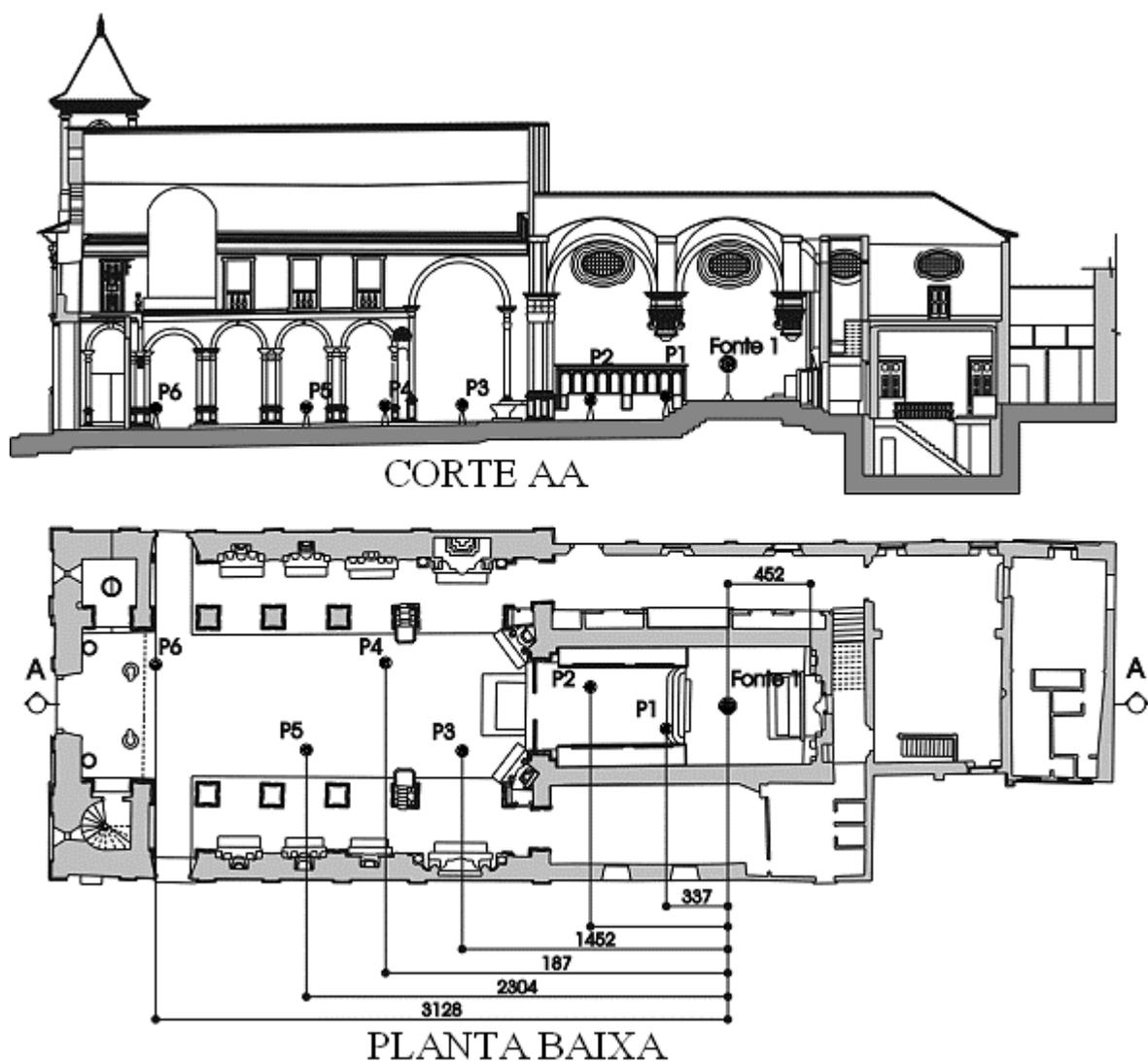


Figura A1 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Sé de Mariana. Fonte: Adaptado de Santos (1951).

O desenho da figura A.2 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

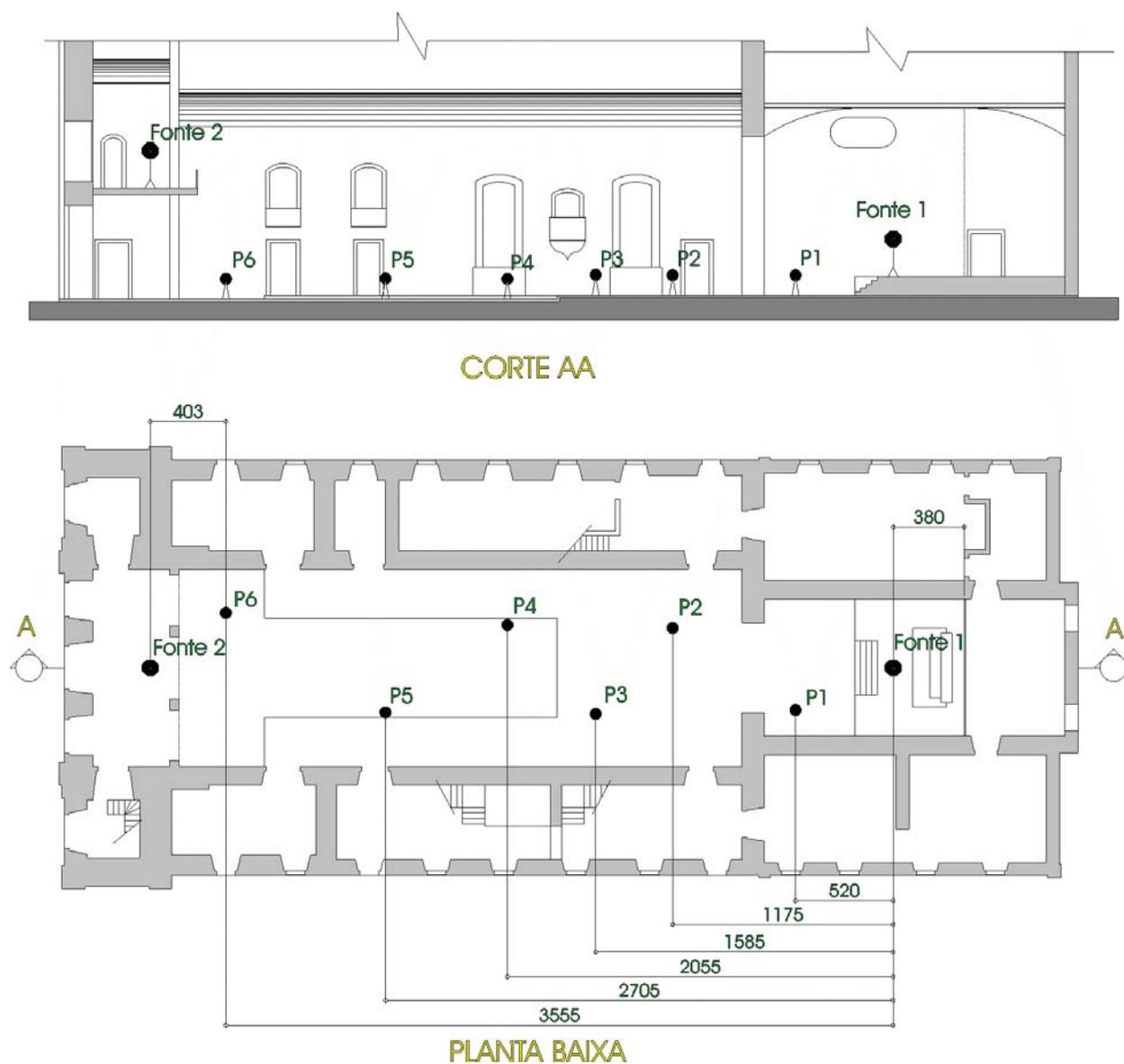


Figura A2 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio (1952).

O desenho da figura A.3 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto, com detalhes a cerca da posição da fonte sonora e as oito posições das medições acústicas realizadas.



Figura A3 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Antônio Dias de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Sampaio (1948).

O desenho da figura A.4 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

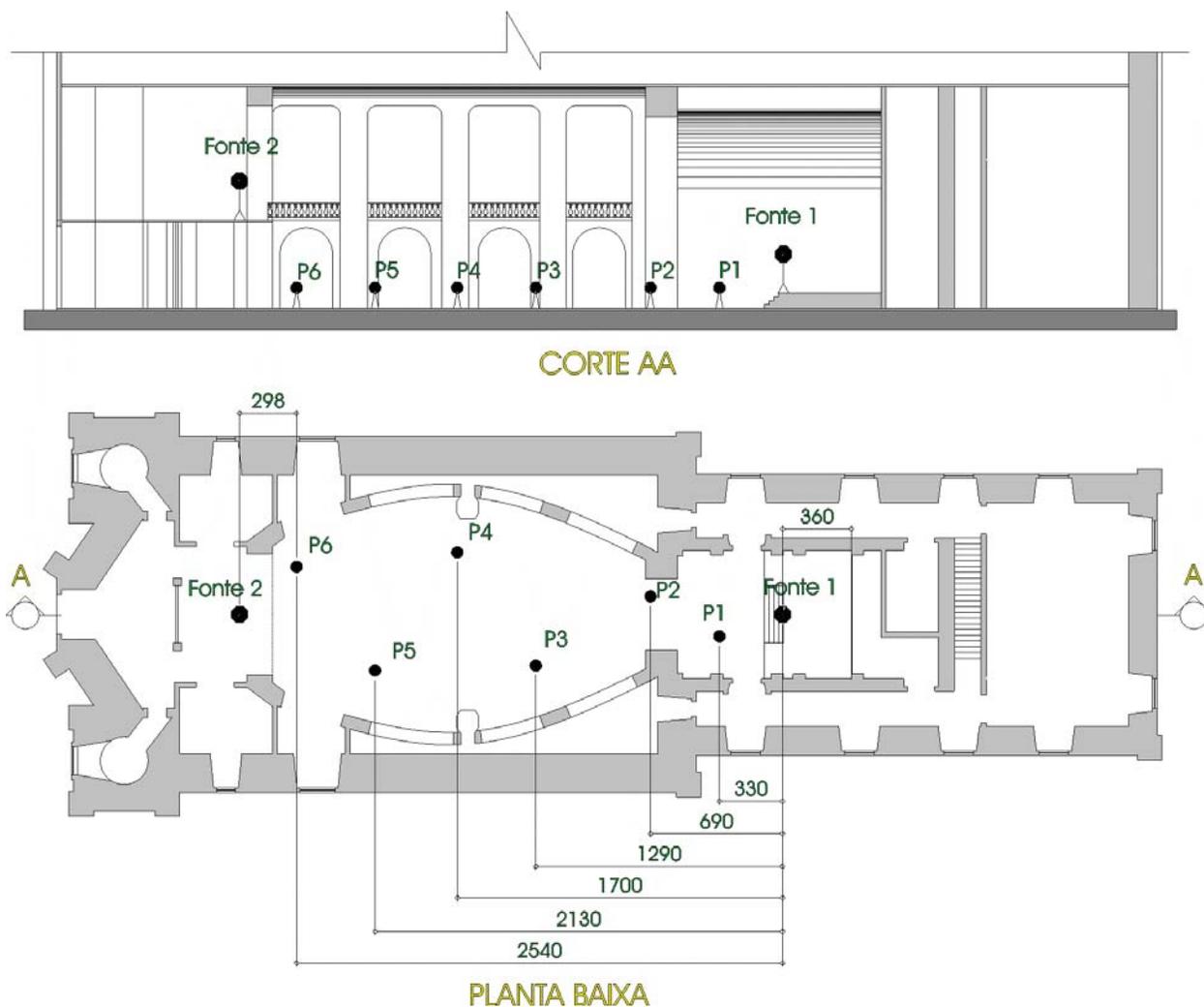


Figura A4 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).

O desenho da figura A.5 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

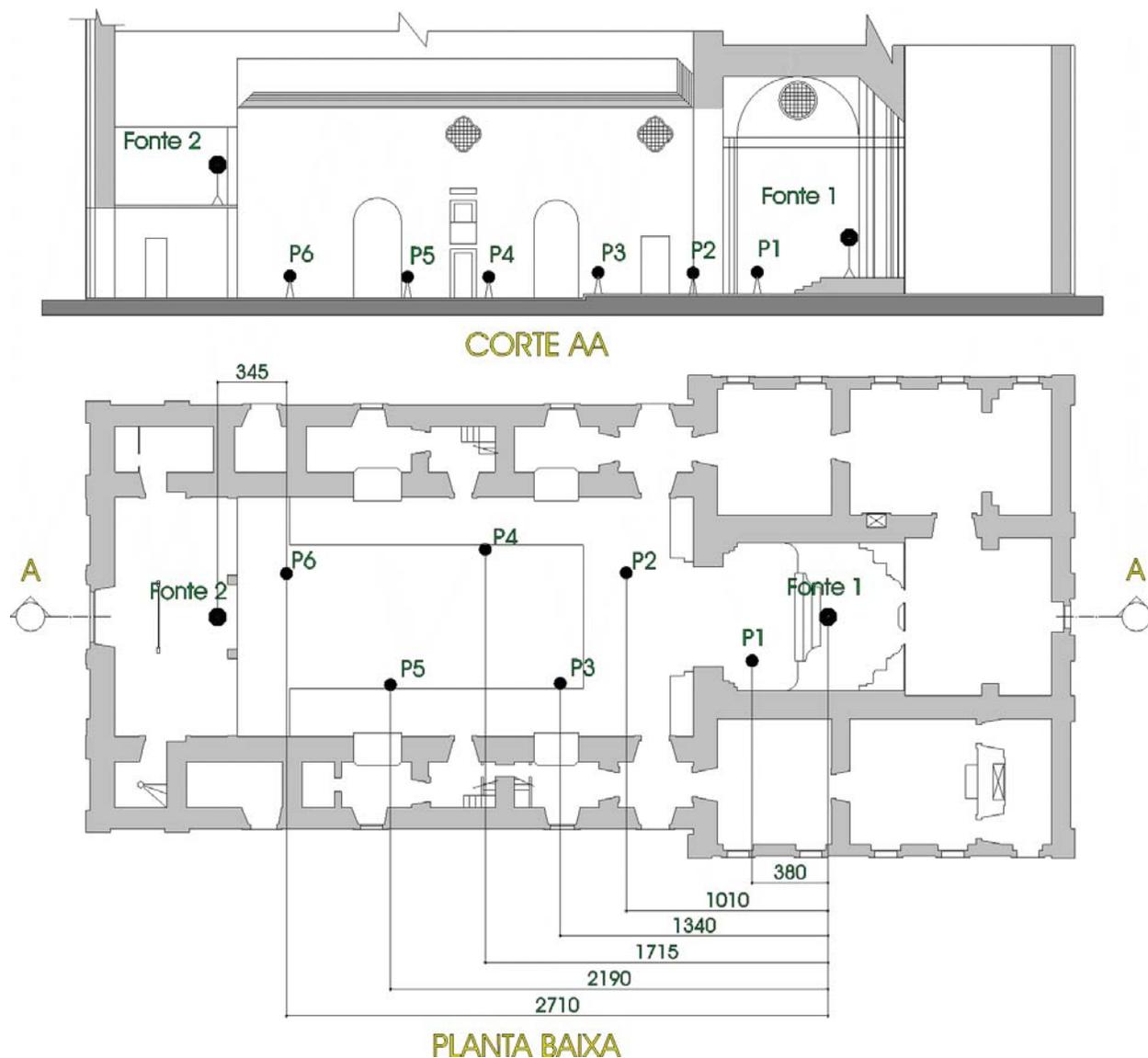


Figura A5 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Matriz de Santo Antônio de Tiradentes. Fonte: Adaptado de Sampaio (1995).

O desenho da figura A.6 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

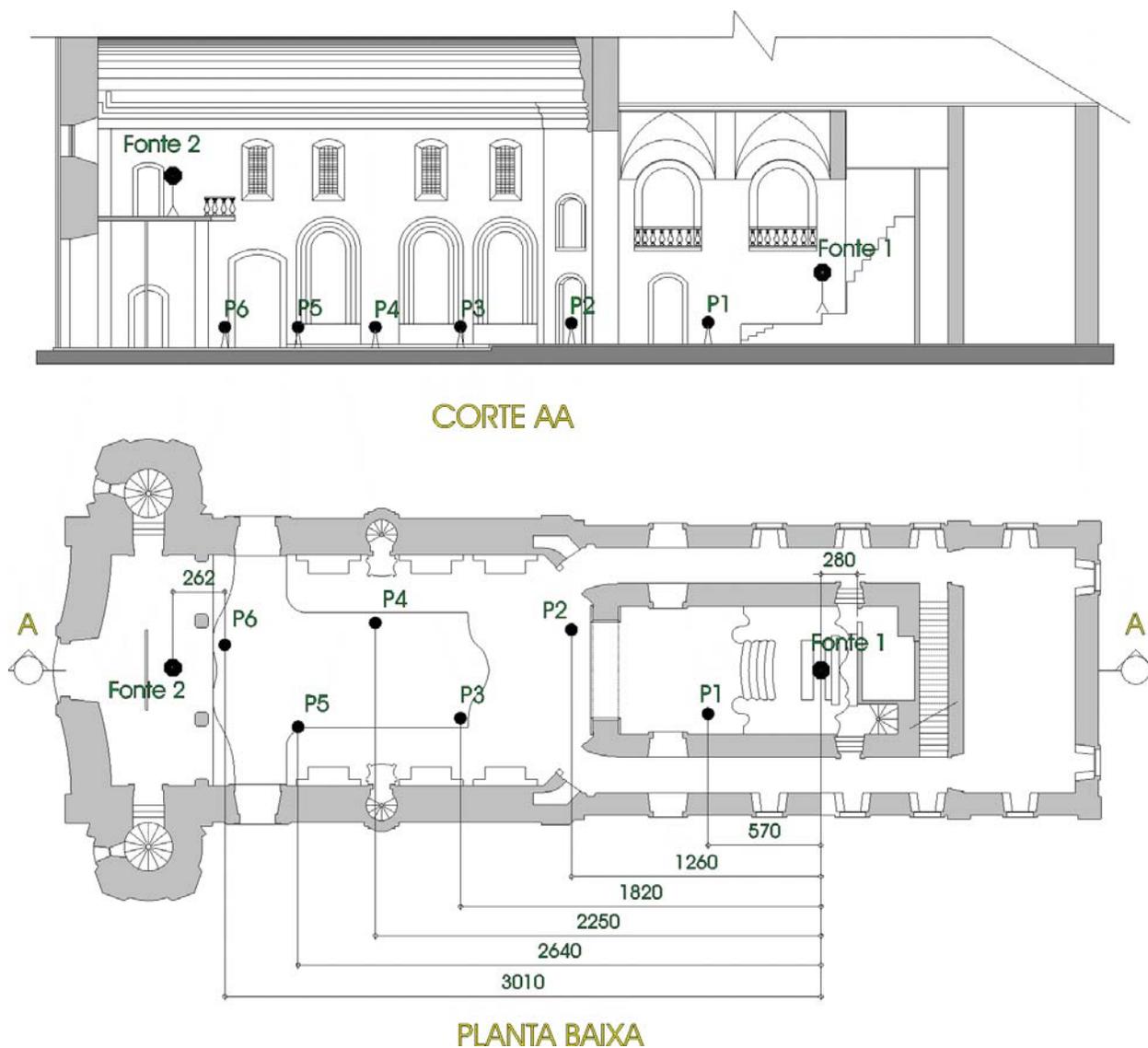


Figura A6 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Monte do Carmo de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).

O desenho da figura A.7 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

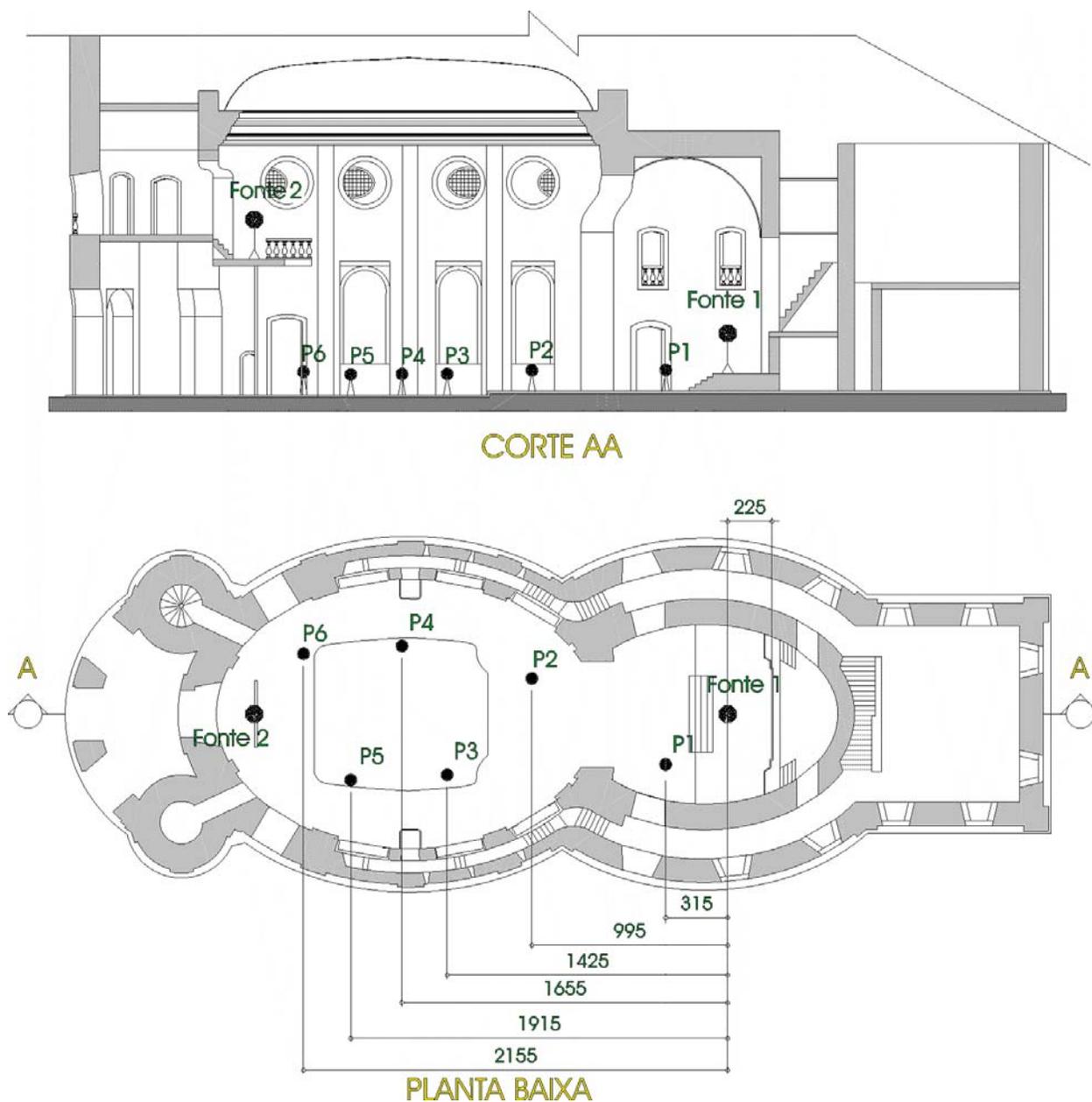


Figura A7 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de Nossa Senhora do Rosário de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).

O desenho da figura A.8 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto, com detalhes a cerca da posição da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

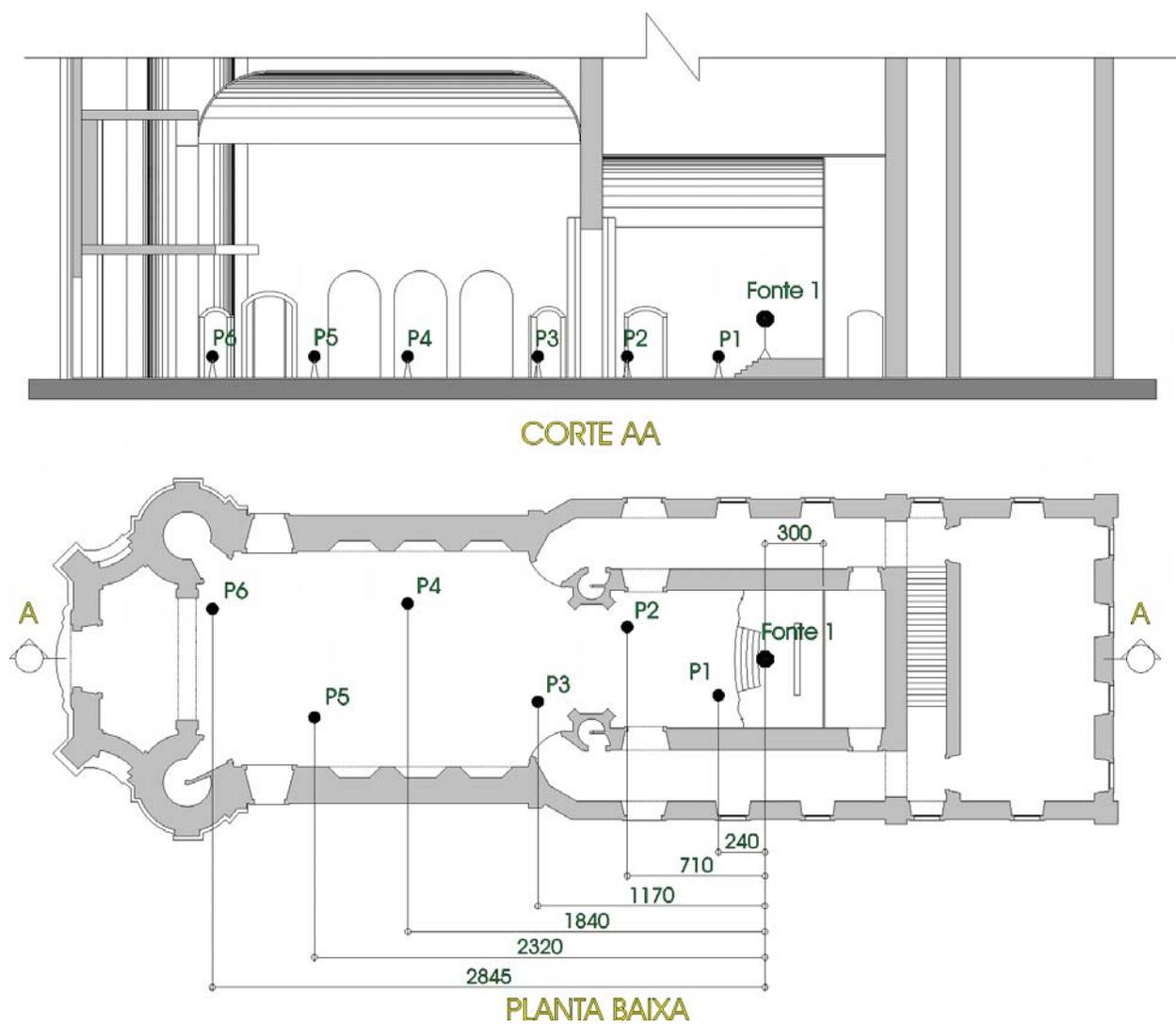


Figura A8– Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de São Francisco de Assis de Ouro Preto. Fonte: Adaptado de Santos (1951).

O desenho da figura A.9 apresenta uma planta baixa e um corte longitudinal da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei, com detalhes a cerca das posições da fonte sonora e as seis posições das medições acústicas realizadas.

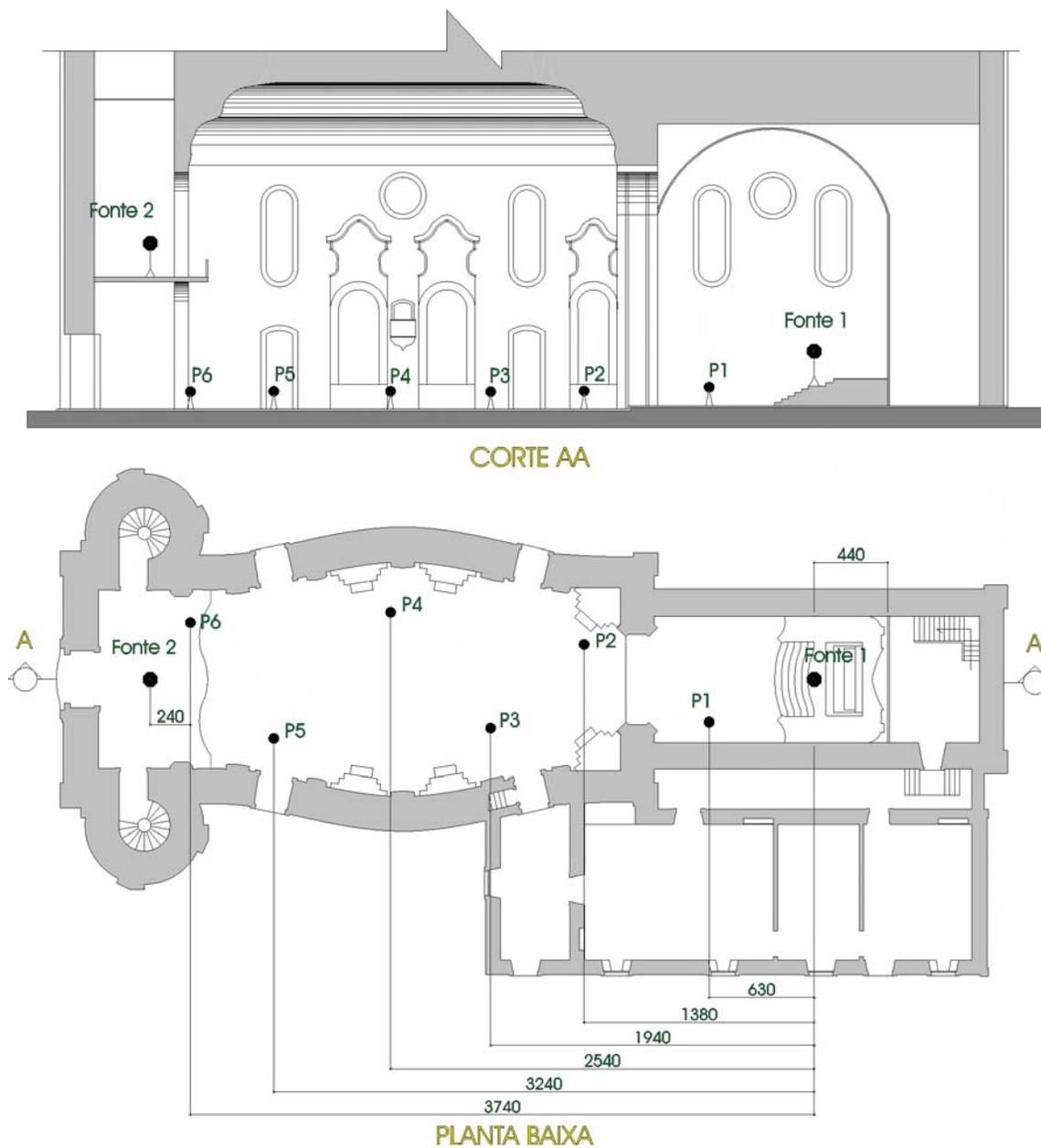


Figura A9 – Planta Baixa e Corte Longitudinal da Capela de São Francisco de Assis de São João Del Rei. Fonte: Adaptado de Sampaio (1950).

## Anexo – B: Especificações técnicas da placa de digitalização de som.

A tabela B1 apresenta as especificações técnicas da placa externa digitalizadora de som para microcomputadores da marca VXpocket V2 Digigram.

Tabela B1 – Especificações técnicas da placa VXpocket V2. Fonte: (DIGIGRAM, 2005).

<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	
<b>VXpocket v2</b>	
<b>CONFIGURAÇÃO</b>	
Bus/Formato	PC Card
Dimensões	PC Card tipo II
Consumo de energia em funcionamento (5 V)	400 mA
Consumo de energia, standby (5 V)	< 100 mA
Em funcionamento: temp./umidade (sem condensação)	0°C a 50°C / 5% a 90%
Armazenamento: temp./umidade (sem condensação)	- 5°C a +70°C / 0% a 95%
<b>ENTRADAS / SAÍDAS</b>	
Entradas analógicas (estéreo)	1 balanceada line/mic
Nível máximo da entrada line / Impedância	+ 10 dBu / > 10 kΩ
Nível programável da entrada mic	+30dB a +51 dB (interv. 3dB)
Nível programável da entrada line	Somente digital
Entradas digitais (estéreo)	1 SPDIF
Outras entradas	LTC (SMPTE)
Saídas analógicas (estéreo)	1 balanceada
Nível máximo da saída / Impedância	+10 dBu / baixa impedância
Saídas digitais (estéreo)	1 SPDIF
Nível programável da saída	digital e analógico
Acesso aos principais status bits da sequência digital	Sm
Sincronização AES II	Sm
Nível da entrada Time Code (SMPTE LTC)	-20 dBu a +6 dBu
Tolerância da velocidade de captura do Time Code	± 15 %
Conectores	XLR, para áudio analógico; RCA para SPDIF e LTC, mini jack para saída de fones de ouvido
Modo operacional	2-E/2-S full duplex Variável segundo a aplicação 4-E/4-S full duplex no suportado com 24 bits
<b>ESPECIFICAÇÕES DE ÁUDIO</b>	
Taxas de amostragem disponíveis	Frequências fixas: 8 ; 11,025 ; 16, 22,05 ; 24 ; 32 ; 44,1 ; 48 kHz Variável de 8 a 50 kHz em intervalos programáveis
Resolução dos conversores A/D y D/A	24 bits
Resposta em frequência a 48 kHz (gravação e reprod.)	20 Hz a 20 kHz ± 0,15 dB
Relação sinal ruído (unweighted)	> 94 dB
Distorsão + ruído a 1 kHz (gravação e reprod., sinal ref. +8 dBu a 1 kHz)	< -89 dB (0,0035 %)
Diferença de fase entre canais: 20 Hz a 20 kHz	< 0,2° a 2°
Crosstalk entre canais analógicos (E/S em uso)	< -90 dB
<b>AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO</b>	
Drivers	WAVE, Sound Manager, ASIO 2. - Direct Sound (XP e Windows 2000); somente reprodução com Windows 2000
Sistemas operacionais suportados	Windows 98 SE, Millennium, NT 4.0, 2000, XP MacOS 9.x

## Anexo – C: Eficiência Lateral LE (Lateral Efficiency)

Este parâmetro é definido como a razão entre a energia atrasada chegada de direções laterais (medida com um microfone “figura de oito” alinhados com os ouvidos do ouvinte) e a total energia omnidirecional. O diagrama polar de sensibilidade direcional do microfone tem a forma de um oito deitado, donde surge o nome “figura de oito” para o microfone com esta característica (FARINA, 2000b). A definição matemática deste parâmetro é:

$$LE = \frac{\int_{25ms}^{80ms} p_L^2(t).dt}{\int_0^{80ms} p^2(t).dt} \quad (C.1)$$

Onde:

$p_L(t)$  indica a energia da resposta impulsiva medida com o microfone tipo “figura de oito”;

$p(t)$  é a energia da resposta impulsiva normal medida com um microfone omnidirecional.

## Anexo – D: Fração Lateral LF (Lateral Fraction)

Segundo Gerges (2000), a Fração Lateral  $LF$  é a medida do “envolvimento” que o ambiente proporciona, pois está relacionado à impressão espacial que o ouvinte sente. Esse parâmetro compara a energia sonora que atinge a cabeça do ouvinte lateralmente com a energia sonora global. A energia lateral é medida com o mesmo microfone “figura de oito”, pois ele é insensível aos sons frontais e aos sons que atingem o ouvido por trás.

A definição de  $LF$ , tomada da ISO 3382 Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993) é muito semelhante ao  $LE$ , mas a razão agora inclui também a “early lateral reflection” a qual foi explicitamente excluída em  $LE$  por abaixar o limite de integração de 25 ms depois do som direto.

A definição de  $LF$  é obtida pela equação:

$$LF = \frac{\int_0^{80ms} p_L^2(t).dt}{\int_0^{80ms} p^2(t).dt} \quad (D.1)$$

Onde:

$p_L(t)$  indica a energia da resposta impulsiva medida com o microfone tipo “figura de oito”;

$p(t)$  é a energia da resposta impulsiva normal medida com um microfone omnidirecional.

O valor de  $LF$  é maior que  $LE$  (embora sempre menor que 1), particularmente em ambientes com medidas limitadas, onde as primeiras reflexões nas paredes laterais, ocorrem antes do limite de 25 ms, não contribui com o  $LE$  mas é incluído em  $LF$ .

## Anexo – E: Tempo Central TS (Center Time)

O tempo central é o centro de gravidade ao longo do eixo tempo da resposta impulsiva ao quadrado. Na prática ele está intimamente ligado com o “early decay time”, medindo o grau de interferência da sala no sinal (BARRON, 1998).

É calculado a partir da resposta impulsiva por meio da seguinte equação:

$$TS = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) \cdot dt} \quad (E.1)$$

Onde:

$t$  é o intervalo de tempo;

$p^2(t)$  é a energia total da resposta impulsiva.

## Anexo – F: Suporte G (Strenght)

De acordo com Farina (2000b), Suporte é a diferença entre a medida do nível de pressão sonora total, expresso em decibels, e que é produzido por uma mesma fonte omnidirecional em um ambiente anecoico, ou seja, em um campo livre, a 10 metros de distância de seu centro, em outras palavras, o som total é medido relativo ao nível do som direto a 10 metros. Este parâmetro foi definido pela ISO 3382 Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993), e calculado pela seguinte equação:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t).dt}{\int_0^{\infty} p_{10m}^2(t).dt} \quad (F.1)$$

Onde:

o termo numerador é a energia total da resposta impulsiva  $p(t)$  medida;

o termo no denominador é a energia total da resposta da mesma fonte sonora em campo livre a 10 m de distância.

Este parâmetro mostra a capacidade que um ambiente possui de “reforçar” os sinais originados da fonte, de onde se extrai o nome de Suporte (BISTAFA, 2003).

## Anexo – G: Correlação Cruzada Inter-Aural IACC (Inter-aural Cross Correlation)

Correlação Cruzada Inter-Aural (IACC) é um dos mais significativos parâmetros utilizados, e está relacionado com o fenômeno espacial proporcionando uma medida da qualidade acústica do campo sonoro em um ambiente próprio para audição.

É definida como a medida da impressão espacial criada pelas reflexões laterais em um auditório e envolve a distribuição espacial e direcionalidade do som chegando em um dado local. É a medida estatística da diferença instantânea do som chegando aos ouvidos, esquerdo e direito. O valor de IACC em um ambiente varia de 0,3 (boa impressão espacial) a 0,7 (pobre impressão espacial) (NANNARIELLO; FRICKE, 2001).

Inúmeras pesquisas têm sido realizadas com base na impressão espacial, inclusive fazendo comparações entre outros parâmetros como apresentado por (BERANEK; HIDAKA; OKANO, 1998) e (ANDO et al., 2000). Foram analisados IACC para diversas situações, como early interaural cross-correlation coefficiente (IACC<sub>E3</sub>) que é obtido calculando a média dos valores do IACC<sub>E</sub> em três bandas de oitava para frequências médias de 500 Hz, 1000 Hz e 2000Hz (BERANEK, 1996).

A correlação cruzada inter-aural IACC<sub>E</sub> ou IACC<sub>E80</sub> para uma fonte impulsiva com uma integração de tempo entre 0<t<80 milisegundos é definida como:

$$IACC_E = \frac{\int_0^{80} p_L^2(t)p_R(t + \tau)dt}{\left[ \int_0^{80} p_L^2(t)dt \int_0^{80} p_R^2(t)dt \right]^{1/2}} \quad (G.1)$$

Onde  $p_L(t)$  e  $p_R(t)$  designam as respostas impulsivas medidas próximos aos ouvidos esquerdo e direito, com o ouvinte de frente para a fonte. Para a variável Tempo de atraso  $\tau$ , são tomados valores entre -1 a +1 milisegundos, os quais são

aproximadamente a máxima diferença de tempo entre a chegada de uma onda entre os ouvidos direito e esquerdo (BISTAFA, 2003).