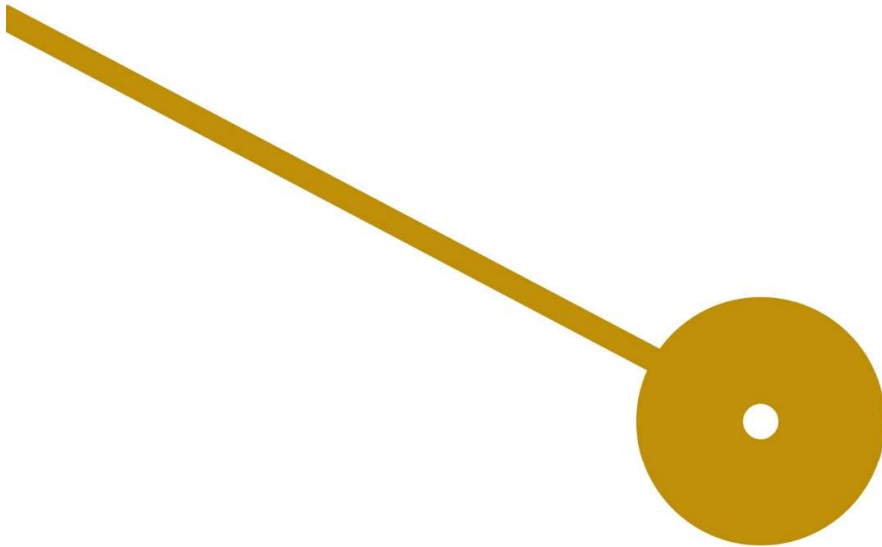


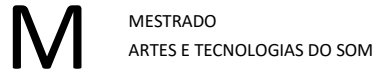


# Avaliação das Condições Acústicas em *Home Studios* e Estúdios Profissionais – Estudo Comparativo

Diogo Filipe Fernandes Freitas

10/2022





# Avaliação das Condições Acústicas em *Home Studios* e Estúdios Profissionais – Estudo Comparativo

Diogo Filipe Fernandes Freitas

Dissertação apresentada à Escola Superior de Música e Artes do  
Espetáculo como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre  
em Artes e Tecnologias do Som

Professor(es) Orientador(es)  
Prof. Gustavo Afonso Nina de Almeida  
Prof. Rui Miguel de Sousa Lima E Sá Ribeiro

*À Leonor, por me ter apoiado em todos os momentos.  
Aos meus pais, por serem exemplos de trabalho e coragem face às dificuldades.*

## **Agradecimentos**

À Leonor pelo apoio em todos os momentos, pela paciência e pelo carinho.

Obrigado aos meus pais pelos por serem exemplos de que o esforço compensa.

Uma palavra de agradecimento aos professores orientadores deste projeto pela paciência e esforço no sentido de trazer clareza aos meus pensamentos e ajudarem a levar este trabalho a bom porto.

## Resumo

O presente trabalho visa o estudo de sete espaços destinados à produção sonora e musical, com diferentes níveis de especialização, destinados à produção sonora e musical. O objetivo é traçar um perfil objetivo de cada espaço, baseada em parâmetros quantitativos, obtidos através de uma metodologia repetível, para posterior análise individual e comparativa dos espaços. O estudo identifica diferenças quantitativas, que justificam as diferenças na performance acústica de um espaço de tipologia *Home Studio* de um espaço de utilização profissional. São identificados vários parâmetros que justificam essas diferenças, tais como valores de *Bass Ratio*, iguais abaixo de 1,38, diferença de energia entre o som direto e primeiras reflexões igual ou superior a -14 dB, valores médios de C50, quando medidos entre as bandas de oitava de 500 Hz e 4000 Hz iguais ou superiores a 19,98 dB, entre outros. Por fim, é avaliada a viabilidade de converter um espaço doméstico, como um quarto ou uma sala, para as funções de estúdio de produção áudio, com performance similar a um espaço profissional. Tendo os espaços profissionais estudados como referência, conclui-se que é possível a referida conversão ser bem-sucedida, mas apenas em espaços cuja volumetria permita acomodar os recursos de acondicionamento acústicos necessários. No exemplo apresentado, a área útil do espaço diminuiria de 18,05m<sup>2</sup> para 13,20 m<sup>2</sup> e com o teto a baixar de uma altura de 2,64 m<sup>3</sup> para 2,20 m<sup>3</sup>.

**Palavras-chave:** Acústica; Home Studio; Estúdio Profissional; Estudo Comparativo; Parâmetros Quantitativos

## **Abstract**

This work aims to study seven different music and audio production spaces, which have different specialization levels between them. The objective is to develop a profile for each space, based on quantitative parameters, obtained through a repeatable methodology, for later analysis and comparison. The study identifies quantitative differences, that justify the differences in acoustic performance between a home studio type space and a professional studio. There are several parameters that justify said differences, such as Bass Ratio values equal or below 1,38, energy differences between the direct sound and first reflections equal or superior to -14 dB, average mean C50 values, measured between the octave bands and 500 Hz and 4000 Hz equal or above 19,98 dB, among others. Lastly, it's studied the feasibility of converting a domestic space to an audio and music production room, with similar performance to a professional studio. After analysis of the available professional spaces, it is concluded that such task is viable, but only if the space as enough volume, as to accommodate the necessary acoustic treatment. In the given example de useful area of the room would diminish from 18,05m<sup>2</sup> to 13,20 m<sup>2</sup> and the ceiling height would diminish from 2,64 m<sup>3</sup> to 2,20 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Acoustics; Home Studio; Professional Studio; Comparative Study; Quantitative Parameters

# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Estado da Arte .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Espaços em Estudo e Metodologia .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Definição de Home Studio / Project Studio.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Regiões de Comportamento Acústico em Espaços Pequenos.....</b>	<b>10</b>
<b>5.1 Introdução .....</b>	<b>10</b>
<b>5.2 Região de Não-Suporte .....</b>	<b>11</b>
<b>5.3 Região modal .....</b>	<b>12</b>
<b>5.4 Região de Difração e Difusão .....</b>	<b>20</b>
<b>5.5 Região especular .....</b>	<b>23</b>
<b>6. Parâmetros Acústicos – Definição e Influência nos Espaços Acústicos.....</b>	<b>25</b>
<b>6.1 Contextualização.....</b>	<b>25</b>
<b>6.2 Tempo de reverberação [Reverberation Time (RT60)] .....</b>	<b>25</b>
<b>6.3 Tempo de Decaimento Inicial [Early Decay Time (EDT)] .....</b>	<b>29</b>
<b>6.4 Intervalo de tempo de chegada inicial [Initial Time Delay Gap (ITDG)] .....</b>	<b>29</b>
<b>6.5 Fator de Clareza [Clarity (C50)].....</b>	<b>31</b>
<b>6.6 Bass Ratio (BR) .....</b>	<b>32</b>
<b>6.7 Outros Fatores .....</b>	<b>34</b>
6.7.1 Resposta em Frequência.....	34
6.7.2 Distância aos Altifalantes.....	35
<b>7. Princípios Técnicos de Acondicionamento Acústico .....</b>	<b>37</b>
<b>7.1 Absorção.....</b>	<b>37</b>
7.1.1 Materiais porosos .....	37
7.1.2 Membranas de massa flexível .....	38
7.1.3 Ressonadores .....	40
7.1.3.1 Ressonadores de Helmholtz .....	40
7.1.3.2 Ressonadores de membrana .....	43
<b>7.2 Difusão.....</b>	<b>44</b>
7.2.1 Difusores geométricos .....	44
7.2.2 Difusores de Schroeder 2D .....	48
7.2.3 Difusores de Schroeder 3D .....	50

<b>8. Importância das Reflexões.....</b>	<b>51</b>
<b>9. Filosofias de desenhos de salas.....</b>	<b>54</b>
9.1 <i>Non-Environment</i> .....	54
9.2 <i>Reflection Free Zone (RFZ)</i> .....	55
9.3 <i>Live End – Dead End</i> .....	56
<b>10. Ruído de Fundo.....</b>	<b>59</b>
10.1 Isolamento .....	59
10.2 Ruído Residual .....	60
10.3 Ruído Dinâmico.....	60
<b>11. Procedimentos para a Realização das Medições .....</b>	<b>61</b>
11.1 Método de obtenção da Função de Transferência .....	61
11.2 Fonte Sonora Padrão .....	64
11.3 Microfone de Medição .....	65
11.4 Interface de Áudio .....	65
11.5 Cadeia de Medição Complementar .....	66
11.6 Sinal de Excitação.....	67
11.7 Posições de Microfone e Fontes Sonoras .....	68
11.8 Janelas de Análise.....	69
11.9 <i>Smoothing</i> .....	70
<b>12. Apresentação e Análise dos Resultados .....</b>	<b>71</b>
<b>12.1 Espaço Doméstico .....</b>	<b>71</b>
12.1.1 Espaço .....	71
12.1.2 Áreas e Volumes .....	75
12.1.3 Caracterização do Sistema de Escuta .....	76
12.1.4 Matriz de Fontes Sonoras / Posições de medição.....	77
12.1.5 Função de Resposta ao Impulso .....	78
12.1.6 Análise das Reflexões Especulares .....	80
12.1.7 <i>Initial Time Delay Gap (ITDG)</i> .....	83
12.1.8 Análise Modal .....	84
12.1.9 Análise da Reflexão do Chão .....	91
12.1.10 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time (EDT)</i> ].....	93
12.1.11 <i>Bass Ratio</i> .....	98

12.1.12 Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	99
12.1.13 Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	101
12.1.14 Resposta em Frequência.....	102
<b>12.2 ESMAE – Estúdio B.....</b>	<b>105</b>
12.2.1 Caracterização do Espaço .....	105
12.1.2 Áreas e Volumes.....	111
12.2.3 Caracterização do Sistema de Escuta.....	112
12.2.4 Função de Resposta ao Impulso.....	113
12.2.5 Análise das Reflexões Especulares .....	114
12.2.6 <i>Initial Time Delay Gap</i> (ITDG).....	117
12.2.7 Análise Modal.....	118
12.2.8 Análise da Reflexão do Chão.....	124
12.2.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)].....	125
12.2.10 <i>Bass Ratio</i> .....	129
12.2.11 Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	131
12.2.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	133
12.3.13 Resposta em Frequência.....	134
<b>12.3 ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica.....</b>	<b>137</b>
12.3.1 Caracterização do Espaço .....	137
12.3.2 Áreas e Volumes.....	142
12.3.3 Caracterização do Sistema de Escuta.....	143
12.3.4 Função de Resposta ao Impulso.....	144
12.3.5 Análise das Reflexões Especulares .....	145
12.3.6 <i>Initial Time Delay Gap</i> (ITDG).....	149
12.3.7 Análise Modal.....	150
12.3.8 Análise da Reflexão do Chão.....	156
12.3.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)].....	157
12.3.10 <i>Bass Ratio</i> .....	161
12.3.11 Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	162
12.3.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	164
12.3.13 Resposta em Frequência.....	165
<b>12.4 ESMAE – Régie A.....</b>	<b>168</b>
12.4.1 Caracterização do Espaço .....	168
12.4.2 Áreas e Volumes.....	175
12.4.3 Caracterização do Sistema de Escuta.....	176

12.4.4	Função de Resposta ao Impulso .....	177
12.4.5	Análise das Reflexões Especulares .....	178
12.4.6	<i>Initial Tima Delay Gap</i> (ITDG) .....	181
12.4.7	Análise Modal .....	183
12.4.8	Análise da Reflexão do Chão .....	189
12.4.9	Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)] .....	190
12.4.10	<i>Bass Ratio</i> .....	195
12.4.11	Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)] .....	196
12.4.12	Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)] .....	198
12.4.13	Resposta em Frequência .....	199
<b>12.5</b>	<b>ARDA – Studio C .....</b>	<b>203</b>
12.5.1	Caracterização do Espaço.....	203
12.5.2	Áreas e Volumes .....	207
12.5.3	Caracterização do Sistema de Escuta .....	208
12.5.4	Função de Resposta ao Impulso .....	209
12.5.5	Análise das Reflexões Especulares .....	210
12.5.6	<i>Initial Tima Delay Gap</i> (ITDG) .....	214
12.5.7	Análise Modal .....	215
12.5.8	Análise da Reflexão do Chão .....	220
12.5.9	Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)] .....	221
12.5.10	<i>Bass Ratio</i> .....	226
12.5.11	Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)] .....	227
12.5.12	Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)] .....	229
12.5.13	Resposta em Frequência .....	230
<b>12.6</b>	<b>ARDA – Mastering Studio .....</b>	<b>233</b>
12.6.1	Caracterização do Espaço.....	233
12.6.2	Áreas e Volumes .....	238
12.6.3	Caracterização do Sistema de Escuta .....	238
12.6.4	Função de Resposta ao Impulso .....	239
12.6.5	Análise das Reflexões Especulares .....	240
12.6.6	<i>Initial Tima Delay Gap</i> (ITDG) .....	243
12.6.7	Análise Modal .....	244
12.6.8	Análise da Reflexão do Chão .....	250
12.6.9	Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)] .....	251

12.6.10 <i>Bass Ratio</i> .....	255
12.6.11 Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	256
12.6.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	258
12.6.13 Resposta em Frequência.....	259
<b>12.7 Estúdio Miramar .....</b>	<b>262</b>
12.7.1 Caracterização do Espaço .....	262
12.7.2 Áreas e Volumes.....	267
12.7.3 Caracterização do Sistema de Escuta.....	267
12.7.4 Função de Resposta ao Impulso.....	268
12.7.5 Análise das Reflexões Especulares .....	270
12.7.6 <i>Initial Time Delay Gap</i> (ITDG).....	273
12.7.7 Análise Modal.....	274
12.7.8 Análise da Reflexão do Chão.....	279
12.7.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [ <i>Early Decay Time</i> (EDT)].....	281
12.7.10 <i>Bass Ratio</i> .....	285
12.7.11 Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	286
12.7.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	288
12.7.13 Resposta em Frequência.....	289
<b>13. Análise Comparativa Entre Espaços .....</b>	<b>293</b>
<b>13.1 Comparação de Características Geométricas e Dimensionais .....</b>	<b>293</b>
13.1.1 Áreas Brutas e Úteis.....	293
13.1.2 Distância entre o ponto SS e MON L/MON R.....	295
13.1.3 Volumetrias.....	297
13.1.4 Rácios Dimensionais.....	299
<b>13.2 Intervalo de tempo de chegada inicial [<i>Initial Time Delay Gap</i> (ITGD)].....</b>	<b>302</b>
<b>13.3 Comparação e Análise da Atividade Modal .....</b>	<b>303</b>
13.3.1 Frequência de Não Suporte .....	303
13.3.2 Frequência de Schroeder.....	304
13.3.3 Número de Modos Estimados .....	305
13.3.4 Atividade Modal Medida (Número de Pontos de Pressão Detetados) .....	306
<b>13.4 Comparação e Análise da Reflexão do Chão .....</b>	<b>307</b>
<b>13.5 Comparação e Análise de Tempos de Reverberação .....</b>	<b>308</b>
13.5.1 Comparação de Valores Médios de T30 no par DODEC - SS.....	308
13.5.2 Comparação e Análise de Valores de T30 (200 – 4000Hz) .....	310
13.5.3 Comparação dos Valores Médios de T30 e EDT.....	311

<b>13.6 Comparação e Análise de Valores de <i>Bass Ratio</i> .....</b>	<b>313</b>
13.6.1 Comparação e Análise dos valores de <i>Bass Ratio</i> no par DODEC - SS.....	313
13.6.2 Comparação e Análise do Aumento dos valores de T30 (125Hz VS 1000Hz / 63Hz VS 1000Hz)	316
<b>13.7 Limite da Região de Difusão e Difração (Calculado) (Hz).....</b>	<b>318</b>
<b>13.8 Comparação e Análise de Valores de Fator de Clareza [<i>Clarity</i> (C50)] .....</b>	<b>319</b>
13.8.1 Comparação e Análise de Valores de Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)] (500 Hz – 4000 Hz).....	319
13.8.2 Comparação e Análise de Valores de <i>Bass Ratio</i> aplicados a Fator de Clareza [ <i>Clarity</i> (C50)].....	320
<b>13.9 Comparação e Análise da Resposta em Frequência .....</b>	<b>321</b>
13.9.1 Comparação e Análise dos Desvios Médios na Resposta em Frequência .....	321
<b>14. Conclusões .....</b>	<b>323</b>
<b>15. Trabalho Futuro .....</b>	<b>332</b>
<b><i>Bibliografia</i>.....</b>	<b>333</b>
<b><i>Anexos</i>.....</b>	<b>336</b>
Anexo 1 .....	336
Anexo 2 .....	351
Anexo 3 .....	355
Anexo 4 .....	357
Anexo 5 .....	359
Anexo 6 .....	360
Anexo 7 .....	362
Anexo 8 .....	365
Anexo 9 .....	375
Anexo 10 .....	387
<b><i>Apêndices</i> .....</b>	<b>391</b>
Apêndice 1 .....	391
Apêndice 2 .....	393
Apêndice 3 .....	395
Apêndice 4 .....	397

## Índice de Figuras

Figura 1 – Diagrama exemplificativo do comportamento da energia acústica associada ao primeiro modo de um eixo; a pressão sonora é superior nas fronteiras, com um cancelamento

ao centro. O segundo modo exibiria dois cancelamentos a 1/3 e 2/3 da dimensão do eixo, e assim sucessivamente (Ballou, 2008, p. 127).....	13
Figura 2 – Rácios ideais de dimensões para uma sala de 50 m <sup>3</sup> . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649).....	16
Figura 3 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 100 m <sup>3</sup> . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649).....	17
Figura 4 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 200 m <sup>3</sup> . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649).....	18
Figura 5 - Gráfico exemplificativo do comportamento de uma reflexão (Ballou, 2008, p. 224) .....	21
Figura 6 – Painel de membrana (massa flexível) (Newell, 2008, p. 107) .....	39
Figura 7 – Exemplo de composição de um ressoador de Helmholtz (Foley, 2014).....	41
Figura 8 – Esquema exemplificativo do funcionamento de um difusor 2D (Newell, 2008, p. 111) [adaptado].....	48
Figura 9 - Exemplo de estrutura de difusor de Schroeder 3D (Schuhmacher, 2007).....	51
Figura 10 - Esquema de uma sala da tipologia <i>Reflectio Free Zone</i> (RFZ™) (Everest, 2001, p. 440).....	56
Figura 11 - Esquema de sala de tipologia LEDE. (Newell, 2008, p. 354) Tradução 1: “A metade frontal (aproximadamente) da sala é relativamente seca em todos as frequências, excetuando a mais graves”. Tradução 2: “Secção traseira da sala altamente difusa. Para criar alguma vida na acústica geral, sem reflexões especulares confusas”. .....	58
Figura 12 - Fonte Sonora Padrão - semi-dodecaédrica (fotografia pelo autor) .....	64
Figura 13 - Equalizador estéreo Yamaha YDG2030 (fotografia pelo autor) .....	65
Figura 14 - Microfone Behringer ECM8000 (Behringer GmbH, 2022). .....	65

Figura 15 -Interface áudio USB Focusrite Scarlett 18i20 de 2ª geração (Focusrite PLC, 2022)	66
Figura 16 - Resposta em magnitude (verde) e fase (azul) do conjunto saída de áudio - pré-amplificador da interface Focusrite 18i20 de 2ª geração	66
Figura 17 - Sonómetro NTI XL2 equipado com microfone calibrado (fotografia pelo autor)	67
Figura 18- Visão em planta da sala "Espaço Doméstico"	71
Figura 19 - Visão em corte da sala "Espaço Doméstico"	72
Figura 20 - Fotografia 1 da sala "Espaço Doméstico". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço	73
Figura 21 - Fotografia 2 da sala "Espaço Doméstico"	73
Figura 22 - Fotografia 3 da sala "Espaço Doméstico"	74
Figura 23 - Fotografia 4 da sala "Espaço Doméstico"	74
Figura 24 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “Espaço Doméstico”	78
Figura 25 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Espaço Doméstico”	78
Figura 26 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS na sala “Espaço Doméstico”	79
Figura 27 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “Espaço Doméstico”	80
Figura 28 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	80
Figura 29 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	81
Figura 30 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	81
Figura 31 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “Espaço Doméstico”	82
Figura 32 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	82
Figura 33 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	83
Figura 34 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”	83

Figura 35 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “Espaço Doméstico” .....	84
Figura 36 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “Espaço Doméstico” .....	84
Figura 37 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “Espaço Doméstico” .....	86
Figura 38 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “Espaço Doméstico” .....	87
Figura 39 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “Espaço Doméstico” .....	88
Figura 40 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “Espaço Doméstico” ...	88
Figura 41 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “Espaço Doméstico” .....	89
Figura 42 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Espaço Doméstico” .....	90
Figura 43 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1 .....	90
Figura 44 - Esquema de reflexão e conseqüente atraso da energia refletida pelo chão, em relação ao som direto. ....	92
Figura 45 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “Espaço Doméstico” .....	93
Figura 46 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "Espaço Doméstico" .....	93
Figura 47 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “Espaço Doméstico” .....	94
Figura 48 - Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico” .....	95
Figura 49 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico” .....	95
Figura 50 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico” .....	96
Figura 51 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “Espaço Doméstico” .....	96

Figura 52 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	97
Figura 53 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “Espaço Doméstico”	98
Figura 54 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “Espaço Doméstico”.....	99
Figura 55 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “Espaço Doméstico”.....	100
Figura 56 – Distribuição dos valores de C50, destacando os valores abaixo de 10 dB e acima de 10 dB, para a sala “Espaço Doméstico”.....	100
Figura 57 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	101
Figura 58 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	101
Figura 59 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “Espaço Doméstico”.....	102
Figura 60 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “Espaço Doméstico”.....	103
Figura 61 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	103
Figura 62 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	104
Figura 63- Visão planta da sala "ESMAE – Estúdio B".....	105
Figura 64 - Visão em corte da sala " ESMAE – Estúdio B ".....	106
Figura 65 - Fotografia 1 da sala " ESMAE – Estúdio B ". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço.....	107
Figura 66 - Fotografia 2 da sala " ESMAE – Estúdio B ".....	107
Figura 67 - Fotografia 3 da sala " ESMAE – Estúdio B ".....	108
Figura 68 - Fotografia 4 da sala " ESMAE – Estúdio B ".....	108
Figura 69- Fotografia 5 da sala "ESMAE – Estúdio B".....	109
Figura 70 - Fotografia 6 da sala "ESMAE – Estúdio B".....	109
Figura 71 - Fotografia 7 da sala "ESMAE – Estúdio B".....	110
Figura 72 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Estúdio B”.....	113

Figura 73- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala ESMAE – Estúdio B” .....	113
Figura 74 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	114
Figura 75 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	114
Figura 76 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	115
Figura 77 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	115
Figura 78 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	116
Figura 79 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B”.....	116
Figura 80 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Estúdio B”.....	117
Figura 81 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	117
Figura 82 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	118
Figura 83 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Estúdio B”. .....	118
Figura 84 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	119
Figura 85 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Estúdio B”, considerando o comprimento de 6,42 m.....	120
Figura 86 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Estúdio B”, considerando as dimensões de 6,42 m x 3,67 m x 3,09 m.....	121
Figura 87 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	121
Figura 88 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	122

Figura 89 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B”.....	123
Figura 90 - Comparação entre pontos de pressão a resposta em frequência no ponto SS da fonte MON L e MON L+R, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	123
Figura 91 - Comparação entre pontos de pressão a resposta em frequência, com <i>smoothing</i> de 1/3 de oitava no ponto SS da fonte MON L e MON L+R, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	124
Figura 92 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Estúdio B”	125
Figura 93 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala " ESMAE – Estúdio B " .....	125
Figura 94 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	126
Figura 95 - Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	127
Figura 96 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	127
Figura 97 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	128
Figura 98 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	128
Figura 99 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.....	129
Figura 100 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	129
Figura 101 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	131
Figura 102 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	131
Figura 103 –Gráfico de C50 com as regiões acima e abaixo de 10dB destacadas, para os pares MON L – SS e MON L – BACK, para a sala “ESMAE – Estúdio B” .....	132
Figura 104 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	133

Figura 105 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	133
Figura 106 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	134
Figura 107 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	134
Figura 108 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	135
Figura 109 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B” .....	136
Figura 110- Visão planta da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	137
Figura 111 - Visão em corte da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	138
Figura 112 - Fotografia 1 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço.....	139
Figura 113 - Fotografia 2 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	139
Figura 114 - Fotografia 3 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	140
Figura 115 - Fotografia 4 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	140
Figura 116- Fotografia 5 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	141
Figura 117 - Fotografia 6 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica" .....	141
Figura 118 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	144
Figura 119- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	144
Figura 120 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	145
Figura 121 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	145
Figura 122 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	146
Figura 123 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	146
Figura 124 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	147

Figura 125 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .	147
Figura 126 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	148
Figura 127 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	149
Figura 128 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	149
Figura 129 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	150
Figura 130 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	150
Figura 131 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	151
Figura 132 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”, considerando as dimensões de 5,99 m x 3,63 m x 4,75 m.....	152
Figura 133 – Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	153
Figura 134 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	153
Figura 135 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “Espaço Doméstico” .....	154
Figura 136 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	155
Figura 137 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1 .....	155
Figura 138 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R – SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	156
Figura 139 – Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	157

Figura 140 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	158
Figura 141 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	158
Figura 142 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	159
Figura 143 – T30 em bandas de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	159
Figura 144 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	160
Figura 145 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	160
Figura 146 – T30 em bandas de oitava para o par DODEC – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	161
Figura 147 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	162
Figura 148 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	163
Figura 149 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	163
Figura 150 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	164
Figura 151 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	164
Figura 152 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	165
Figura 153 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”.....	166
Figura 154 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	166
Figura 155 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” .....	167
Figura 156-Visão em planta da sala “ESMAE – Régia A” .....	169
Figura 157 – Visão em corte da sala “ESMAE – Régia A” .....	170

Figura 158 – Fotografia 1 da sala “ESMAE – Régia A”. Visão frontal do sistema de reprodução do espaço.....	171
Figura 159 – Fotografia 2 da sala “ESMAE – Régia A” .....	171
Figura 160 – Fotografia 3 da sala “ESMAE – Régia A” .....	172
Figura 161 – Fotografia 4 da sala “ESMAE – Régia A” .....	172
Figura 162- Fotografia 5 da sala “ESMAE – Régia A”.....	173
Figura 163 – Fotografia 6 da sala “ESMAE – Régia A” .....	173
Figura 164 – Fotografia 7 da sala “ESMAE – Régia A” .....	174
Figura 165 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Régia A”.....	177
Figura 166- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Régia A” .....	177
Figura 167 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Régia A”.....	178
Figura 168 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A” .....	178
Figura 169 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”.....	179
Figura 170 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A” .....	179
Figura 171 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”.....	180
Figura 172 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A” .....	180
Figura 173 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”.....	181
Figura 174 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”.....	181
Figura 175 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Régia A” .....	182
Figura 176 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Régia A” .....	183
Figura 177 – Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Régia A”.....	183

Figura 178 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Régia A”, considerando a dimensão de comprimento de 6,19 m .....	184
Figura 179 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Régia A”, considerando as dimensões de 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m .....	185
Figura 180 – Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	185
Figura 181 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	186
Figura 182 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	187
Figura 183 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	188
Figura 184 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1 .....	188
Figura 185 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, MON L – SS e MON R – SS, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	189
Figura 186 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R – SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Régia A”. .....	190
Figura 187 – Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala “ESMAE – Régia A” .....	190
Figura 188 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Régie A” .....	191
Figura 189 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régie A” .....	192
Figura 190 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	192
Figura 191 – T30 em bandas de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	193
Figura 192 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L – SS, na sala “ESMAE – Régia A” .....	193
Figura 193 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	194

Figura 194 – T30 em bandas de oitava para o par DODEC – SS, na sala “ESMAE – Régia A” .....	195
Figura 195 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	196
Figura 196 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Régia A” .....	197
Figura 197 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	197
Figura 198 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	198
Figura 199 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	198
Figura 200 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Régia A” .....	199
Figura 201 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Régia A” .....	200
Figura 202 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	201
Figura 203 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Régia A” .....	201
Figura 204 – Visão em planta da sala “ARDA – Studio C” .....	203
Figura 205 – Visão em corte da sala “ARDA – Studio C” .....	204
Figura 206 – Fotografia 1 da sala “ARDA – Studio C” .....	205
Figura 207 – Fotografia 2 da sala “ARDA – Studio C” .....	205
Figura 208 – Fotografia 3 da sala “ARDA – Studio C” .....	206
Figura 209 – Fotografia 4 da sala “ARDA – Studio C” .....	206
Figura 210 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ARDA – Studio C” .....	209
Figura 211- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Studio C” .....	209
Figura 212 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Studio C” .....	210
Figura 213 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C” .....	210

Figura 214 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C” .....	211
Figura 215 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C” .....	211
Figura 216 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C” .....	212
Figura 217 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C” .....	213
Figura 218 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C” .....	213
Figura 219 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C” .....	214
Figura 220 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ARDA – Studio C” .....	214
Figura 221 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ARDA – Studio C” .....	215
Figura 222 – Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ARDA – Studio C” .....	215
Figura 223 - – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ARDA – Studio C”, considerando a dimensão de comprimento de 6,19 m .....	216
Figura 224 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ARDA – Studio C”, considerando as dimensões de 3,78 m x 6,52 m x 3,61 m .....	217
Figura 225 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ARDA – Studio C” .....	217
Figura 226 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ARDA – Studio C” ..	218
Figura 227 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ARDA – Studio C” .....	219
Figura 228 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Studio C” .....	219
Figura 229 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1 .....	220

Figura 230 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ARDA – Studio C” ...	221
Figura 231 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "ARDA – Studio C" .....	221
Figura 232 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “ARDA – Studio C” .....	222
Figura 233 - Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	223
Figura 234 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	223
Figura 235 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	224
Figura 236 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	224
Figura 237 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ARDA – Studio C” .....	225
Figura 238 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ARDA – Studio C” .....	226
Figura 239 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ARDA – Studio C” .....	227
Figura 240 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ARDA – Studio C” .....	228
Figura 241 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	228
Figura 242 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	229
Figura 243 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	229
Figura 244 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ARDA – Studio C” .....	230
Figura 245 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ARDA – Studio C” .....	231
Figura 246 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	231

Figura 247 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ARDA – Studio C” .....	232
Figura 248 – Visão em planta da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	233
Figura 249 - Visão em corte da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	234
Figura 250 - Fotografia 1 da sala "ARDA – Mastering Studio". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço .....	235
Figura 251 - Fotografia 2 da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	235
Figura 252 - Fotografia 3 da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	236
Figura 253 - Fotografia 4 da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	236
Figura 254 - Fotografia 4 da sala "ARDA – Mastering Studio" .....	237
Figura 255 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	239
Figura 256- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	239
Figura 257 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	240
Figura 258 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	240
Figura 259 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	241
Figura 260 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	241
Figura 261 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	242
Figura 262 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	242
Figura 263 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	243
Figura 264 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	243
Figura 265 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	244
Figura 266 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	244

Figura 267 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	245
Figura 268 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ARDA – Mastering Studio”, considerando as dimensões estruturais .....	246
Figura 269 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ARDA – Mastering Studio”, considerando as dimensões de 6,30 m x 5,22 m x 3,61 m .....	246
Figura 270 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	247
Figura 271 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	248
Figura 272 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio.....	248
Figura 273 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	249
Figura 274 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1 .....	249
Figura 275 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ARDA – Mastering Studio” .....	250
Figura 276 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala " ARDA – Mastering Studio" .....	251
Figura 277 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	252
Figura 278 - Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	252
Figura 279 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	253
Figura 280 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	253
Figura 281 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	254

Figura 282 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”.....	254
Figura 283 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	255
Figura 284 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”.....	256
Figura 285 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ARDA – Mastering Studio”.....	257
Figura 286 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	257
Figura 287 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	258
Figura 288 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”.....	258
Figura 289 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	259
Figura 290 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	260
Figura 291 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio” .....	260
Figura 292 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”.....	261
Figura 293 – Visão em planta da sala "Estúdio Miramar" .....	262
Figura 294 - Visão em corte da sala "Estúdio Miramar" .....	263
Figura 295 - Fotografia 1 da sala "Estúdio Miramar" .....	264
Figura 296 - Fotografia 2 da sala "Estúdio Miramar" .....	264
Figura 297 - Fotografia 3 da sala "Estúdio Miramar" .....	265
Figura 298 - Fotografia 5 da sala "Estúdio Miramar" .....	265
Figura 299 - Fotografia 6 da sala "Estúdio Miramar" .....	266
Figura 300 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “Estúdio Miramar” .....	268
Figura 301- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Estúdio Miramar” .....	269

Figura 302 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Estúdio Miramar” .....	269
Figura 303 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar” .....	270
Figura 304 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar” .....	270
Figura 305 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar” .....	271
Figura 306 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar” .....	271
Figura 307 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar” .....	272
Figura 308 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar” .....	272
Figura 309 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar” .....	273
Figura 310 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “Estúdio Miramar” .....	273
Figura 311 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “Estúdio Miramar” .....	274
Figura 312 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “Estúdio Miramar” .....	274
Figura 313 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “Estúdio Miramar” .....	275
Figura 314 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “Estúdio Miramar”, considerando as dimensões de 5,80 m x 4,73 m x 2,63 m.....	276
Figura 315 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “Estúdio Miramar” .....	276
Figura 316 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “Estúdio Miramar” ...	277
Figura 317 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “Estúdio Miramar” .....	278

Figura 318 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Estúdio Miramar” .....	278
Figura 319 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com <i>smoothing</i> de 1.....	279
Figura 320 – Cancelamento detetado nas medições MON L – SS e MON L+R - SS, que, contrariamente ao expectável, não está localizado na região coincidente com as frequências calculadas para o cancelamento provocado pela reflexão do chão, na posição de escuta e trabalho preferencial .....	280
Figura 321 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência dos pares MON L – BACK e MON R - BACK, para a sala “Estúdio Miramar” .....	280
Figura 322 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "Estúdio Miramar" .....	281
Figura 323 – Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – SS, na sala “Estúdio Miramar” .....	282
Figura 324 - Gráfico <i>Waterfall</i> do decaimento no par MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	282
Figura 325 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	283
Figura 326 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	283
Figura 327 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “Estúdio Miramar” .....	284
Figura 328 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	284
Figura 329 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “Estúdio Miramar”	285
Figura 330 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L- SS e MON R SS, na sala “Estúdio Miramar” .....	285
Figura 331 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “Estúdio Miramar” .....	286
Figura 332 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “Estúdio Miramar” .....	287
Figura 333 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	288

Figura 334 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”.....	288
Figura 335 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	289
Figura 336 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “Estúdio Miramar”.....	289
Figura 337 – Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “Estúdio Miramar” .....	290
Figura 338 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	291
Figura 339 - Resposta em frequência, com <i>smoothing</i> em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “Estúdio Miramar” .....	291
Figura 340 – Gráfico comparativo de áreas brutas das salas estudadas.....	293
Figura 341 – Gráfico comparativo da percentagem de área perdida com materiais de acondicionamento acústico, para as salas analisadas no presente estudo .....	294
Figura 342 – Gráfico comparativa da distância entre o <i>sweet spot</i> (SS) e os altifalantes MON L e MON R, para as salas analisadas .....	295
Figura 343 – Grafico comparativo do rácio resultante da aplicação da Equação 15 a cada uma das salas estudadas .....	296
Figura 344 – Gráfico comparativo dos volumes brutos das salas estudadas; a linha preta apresenta a referência de 42 m <sup>3</sup> .....	297
Figura 345 – Percentagem de volume perdido para a aplicação de elementos de acondicionamento acústico .....	298
Figura 346 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 50 m <sup>3</sup> . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649). O ponto dourado refere-se ao espaço “Estúdio Miramar” e o ponto amarelo ao “Espaço Doméstico”.....	300
Figura 347 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 100 m <sup>3</sup> . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649). O ponto vermelho claro refere-se ao espaço “ARDA – Mastering Studio”, vermelho	

escuro a “ARDA - Studio C”, verde claro a “ESMAE – Estúdio B”, verde escuro a “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”, azul claro “ESMAE – Régie A” considerando a parede da antecâmara e azul escuro “ESMAE – Régie A” desconsiderando a parede da antecâmara...	301
Figura 348 – Comparação entre todas as salas da intensidade da reflexão mais forte, contida nos primeiros 20 ms do decaimento (a claro MON L – SS, a escuro MON R - SS) .....	302
Figura 349 – Gráfico comparativo da frequência de não-suporte de cada uma das salas estudadas; a linha preta representa a referência de 20 Hz .....	303
Figura 350 – Gráfico comparativo da Frequência de Schroeder calculada para cada uma das salas estudadas .....	304
Figura 351 – Número de modos estimados, segundo o software REW e a aplicação da Equação 3, até à frequência de Schroeder calculada, para cada uma das salas estudadas (para a sala “Espaço Doméstico” apenas se incluem modos estimados até aos 135 Hz) .....	305
Figura 352 – Número de modos detetados, segundo análise do respetivo par DODEC – CORNER, para cada uma das salas estudadas .....	306
Figura 353 – Gráfico comparativo da frequência calculada, para o primeiro cancelamento associado à reflexão do chão, para cada uma das salas estudadas .....	307
Figura 354 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, medido para o par DODEC – SS, para cada um dos espaços estudados.....	308
Figura 355 - Comparação	
Figura 356 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, medido para o par DODEC – SS e dividido pelo respetivo volume, para cada um dos espaços estudados .....	309
Figura 357 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, entre os 200 HZ e os 4000 Hz, medido no par MON L – SS, para cada uma das salas estudadas; os pontos representam valores referência, obtidos segundo a aplicação da Equação 11 .....	310
Figura 358 – Comparação dos valores médios de T30 (barra esquerda) e EDT (barra direita), medidos em cada uma das salas estudadas, no par DODEC – SS .....	311
Figura 359 – Comparação dos valores de <i>Bass Ratio</i> , obtidos segundo os valores medidos no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas; linha preta representa o valor de referência de 1,2 .....	313
Figura 360 - Comparação dos valores de <i>Bass Ratio</i> , obtidos segundo os valores medidos no par DODEC – SS (à esquerda), e valores medidos no par MON L – BACK (a sombreado à direita )para cada uma das salas estudadas; linha preta representa o valor de referência de 1,2 .....	315

Figura 361 – Comparação do aumento em porcentagem do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz, em comparação à banda de oitava de 1000 Hz, no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas.....	316
Figura 362 - Comparação do aumento em porcentagem do tempo de reverberação da banda de oitava de 63 Hz, em comparação à banda de oitava de 1000 Hz, no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas .....	316
Figura 363 - Frequências calculadas para o limite da Região Difusão e Difração, para todas as salas.....	318
Figura 364 – Gráfico comparativo do valor médio de C50, entre as bandas de oitava de 500 Hz e 4000 Hz, segundo os valores medidos no par MON L - SS, para cada uma das salas estudadas; as linhas pretas representam os valores de referência de 9,63 dB (linha inferior) e 25,33 dB (linha superior).....	319
Figura 365 – Gráfico comparativo dos valores obtidos com a aplicação da equação do <i>Bass Ratio</i> aos resultados de C50, no par MON L – SS, para cada uma das salas estudadas.....	320
Figura 366 - Gráfico comparativo do valor de desvio médio absoluto na resposta em frequência, segundo método apresentado no capítulo 14.1.14, para a média das fontes MON L e MON R, nos pontos SS (à esquerda) e BACK (à direita) .....	322
Figura 367 – Resposta modal da sala “ESMAE – Estúdio B”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcas a violeta correspondem a frequências ressonantes, detectadas pelo <i>software</i> REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculadas pelo <i>software</i> , para as dimensões de 6,42 m x 3,67 m x 5,09 m .....	391
Figura 368 – Resposta modal da sala “ESMAE – Estúdio B”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcas a violeta correspondem a frequências ressonantes, detectadas pelo <i>software</i> REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculadas pelo <i>software</i> , para as dimensões de 8,19 m x 3,67 m x 5,09 m .....	392
Figura 369 – Resposta modal da sala “ESMAE – Régie A”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcas a violeta correspondem a frequências ressonantes, detectadas pelo <i>software</i> REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculadas pelo <i>software</i> , para as dimensões de 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m .....	393
Figura 370 - Resposta modal da sala “ESMAE – Régie A”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcas a violeta correspondem a frequências ressonantes, detectadas pelo <i>software</i> REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculadas pelo <i>software</i> , para as dimensões de 7,46 m x 3,67 m x 5,09 m .....	394

Figura 371 - Reposta modal da sala “ARDA – Studio C”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 3,23 m x 3,74 m x 2,72 m.....395

Figura 372 - Reposta modal da sala “ARDA – Studio C”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 3,78 m x 6,52 m x 3,61 m.....395



## 1. Introdução

Este estudo tem o objetivo de apresentar uma comparação, baseada em parâmetros quantitativos, entre vários espaços destinados à utilização enquanto régie para produção e pós-produção áudio.

A principal questão passa por identificar e quantificar as diferenças entre espaços com diferentes níveis de especialização e/ou profundidade da intervenção no seu acondicionamento acústico; no fundo, quais são, quantitativamente, os parâmetros acústicos que distinguem espaços de utilização profissional dos restantes. A segunda questão, pretende avaliar a viabilidade da adaptação de espaços de habitação para régies de produção áudio.

Como método de trabalho, proponho, em primeiro lugar, uma apresentação e explanação das diferentes regiões de comportamento acústico em espaços fechados, seguido dos parâmetros selecionados para o estudo e considerados relevantes para os espaços em análise, assim como uma descrição das várias filosofias de acondicionamento acústico (*Live End Dead End, Reflection Free Zone, Neutral Rooms*) e por fim uma análise dos diferentes recursos técnicos de acondicionamento acústico aplicáveis nos espaços.

Após a apresentação teórica inicial que contextualiza os conceitos a abordar, é apresentado o processo sistematizado para as medições acústicas. A análise dos dados recolhidos é feita, numa primeira fase, de forma individual para cada espaço. Os dados são posteriormente comparados, de forma a identificar, sob a forma a análise quantitativa quais os fatores que distinguem a performance dos vários espaços e as categorias dos espaços (que parâmetros diferenciam um espaço adaptado de um espaço construído de raiz). O método preferencial é a apresentação gráfica dos resultados, de forma a simplificar a comparação entre espaços.

O procedimento de medição, foi sistematizado e repetido em todos os espaços, sendo utilizada uma fonte semi-dodecaédrica e os monitores do espaço como fontes sonoras. As três posições de medição foram estabelecidas previamente e repetidas em todos os espaços. As características do sinal de excitação foram mantidas em todas as medições.

A primeira fase da análise trata-se de uma análise individual dos espaços, para descrever as respetivas características físicas, e apresentar e analisar, de forma individualizada os resultados das várias medições, com o objetivo de criar um perfil para cada sala analisada.

A segunda fase da análise apresenta dados selecionados num formato comparativo, entre todos os espaços, recorrendo, em grande parte, a gráficos que permitam comparar os resultados de todos os espaços de forma célere.

Por fim, são apresentadas conclusões, fruto da análise e cruzamento dos dados individuais relativos a cada espaço e respectivas comparações, de forma a definir quais os parâmetros chave na distinção de espaços de tipologia *Home Studio/Project Studio*.

## 2. Estado da Arte

Após a consulta de vários recursos bibliográficos sobre o tratamento de espaços com o objetivo de vocacionar os mesmos para a produção sonora e musical, constata-se a tendência de cada autor apresentar soluções, inseridas numa filosofia/método de pensamento, reforçando sempre os motivos pelos quais a metodologia apresentada é a mais eficaz. Em estudos que apresentam comparações de resultados, não é evidente a descrição e caracterização dos espaços e quais os fatores que conduzem a diferentes resultados. Em todos os recursos consultados é notória a falta de estudos comparativos, de forma a aferir com rigor os resultados obtidos e acima de tudo colocar em perspectiva as várias soluções existentes, nas suas vantagens e desvantagens. Existe escassez de estudos que visem a comparação entre espaços com intervenções profundas, ou construídos com a finalidade da produção sonora e musical, com espaços adaptados para o efeito.

Referenciando alguns autores e livros importantes na área da acústica para estúdios, posso nomear o livro *Recording Studio Design* (Newell, 2008), de Philip Newell, onde o autor apresenta várias soluções construtivas para vários tipos de volumetrias e objetivos diferentes, no entanto, a larga maioria das propostas estão incluídas numa tipologia de *Neutral Room/Non-Environment*, não existindo grande espaço para comparar as soluções propostas com outro tipo de respostas, inseridas noutras tipologias, tais como o *Live End Dead End* e a *Reflection Free Zone*. Posto isto, o livro *Recording Studio Design* apresenta soluções para espaços pequenos, com volumetria similar à divisão de uma casa, alertando que os resultados obtidos nunca serão similares àqueles que são possíveis quando a volumetria é maior. No entanto, não são apresentadas medições detalhadas sobre os resultados obtidos, apenas apreciações subjetivas sobre os resultados possíveis.

O livro *Sound Reproduction: Loudspeakers and Rooms* (Toole, 2008), de Floyd Toole, que apesar de não se aplicar diretamente a estúdios, dedicando-se sobretudo a salas de escuta, em contexto de lazer, apresenta vários argumentos convincentes que chamam a atenção sobre a importância das reflexões num espaço de escuta. O livro apresenta várias comparações, no entanto estas tendem a ser feitas entre soluções apresentadas e resultados obtidos em câmara anecoica, ou seja, é quase um exercício de comparação entre situações limite (abundância de reflexões VS inexistência de reflexões), não se tratando de comparações entre vários métodos de acondicionamento acústico geralmente aplicados.

O livro *Master Handbook of Acoustics* (Everest, 2001), de F. Alton Everest faz referência a *control rooms* construídas segundo a filosofia de *Reflection Free Zone*, no

entanto não existem referências a outras filosofias, ou vantagens e desvantagens da tipologia apresentada. O livro dedica também algum tempo à descrição de acondicionamentos acústicos tipo, para salas de gravação de pequenas dimensões, o que poderia ser útil para o tema a tratar nesta dissertação, no entanto, não são apresentadas medições, ou intervalos de valores espectáveis.

Existem ainda trabalhos como o Springer Handbook of Acoustics (Rossing, 2007), de Thomas Rossing e o Acoustic Absorbers and Diffusers (Cox & D'Antonio, Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition, 2009), de Trevor J. Cox e Peter D'Antonio, que exploram com grande detalhe as várias componentes físicas do som e a sua interação com o meio e com os materiais. São apresentados os fenómenos físicos responsáveis pelo funcionamento de várias soluções de acondicionamento acústico, bem como medições geralmente aplicadas a comparações feitas com um único painel. Os autores não apresentam neste trabalho estudos sobre soluções aplicadas a espaços de escuta e produção sonora, quando considerados na sua totalidade e com soluções aplicadas no mundo real.

Além de livros, existem vários estudos com avaliações objetivas e subjetivas de espaços de escuta e criação musical. Estes tendem a apresentar estudos de avaliação subjetiva de espaços acústicos, tentando encontrar padrões/tendências, de forma a definir quais os parâmetros e intervalos de valores mensuráveis que melhor definem espaços cuja avaliação subjetiva tende a ser positiva.

O estudo Perception and preference of reverberation in small listening rooms for multi-loudspeaker reproduction (Kaplanis, Bech, Lokki, Waterschoot, & Jensen, 2019), que estuda as tendências para tempos e características de reverberação em salas de pequena dimensão, concluindo, entre outras coisas, que tempos de reverberação médios abaixo do 0,4 segundos tendem a ser favorecidos.

O estudo Internal Acoustic Design for a Multi-channel Control Room – Measurement and Perception (B.M.Fazenda & Angus, 2002), realizado na School of Acoustics and Electronic Engineering, da Universidade de Salford, Reino Unido, descreve o processo de acondicionamento acústico de um espaço polivalente, com um sistema que deverá servir aplicações estereofónicas e *surround*. O estudo descreve a aplicação de uma filosofia de *Reflection Free Zone*, descrevendo valores ideais a obter, obstáculos encontrados e soluções. O estudo descreve a o cálculo de um tempo de reverberação ideal, entre os 200 Hz e os 4000 Hz de 0,2 segundos, justifica a colocação dos altifalantes junto à parede frontal ao ponto de escuta como uma forma de minimizar fenómenos acústicos relacionados com reflexões e

apresenta algumas soluções, sob a forma de painéis acústicos especializados, para lidar com problemas nas baixas frequências.

Realizado na mesma instituição, o estudo *The Views of Recording Studio Control Room Users* (Fazenda & Davies, 2001), que apresenta uma série de avaliações e descrições subjetivas/qualitativas, feitas por profissionais da indústria musical, que descrevem quais as características de definem um bom ambiente de escuta crítica. Analisando as preferências de vários profissionais, definem-se como comuns a necessidade de uma resposta em frequência neutra e uma imagem estereofónica precisa. Em relação à consistência da resposta em vários pontos do espaço, foi atribuída máxima importância, de forma unânime, ao ponto de escuta preferencial (*sweet spot*), com o grau de importância do restante espaço a variar segundo o entrevistado. A descrição de uma régie ideal varia segundo os entrevistados e a respetiva descrição é qualitativa e/ou subjetiva.

O artigo *Preferences of Critical Listening Environments Among Sound Engineers* (Tervo, Laukkanen, Pätynen, & Lokki, 2014), cujo estudo se baseia na reprodução de vários espaços de escuta, recorrendo a reconstruções multicanal em câmara anecoica das mesmas, que foram avaliadas subjetivamente por profissionais das áreas da mistura e masterização, que procederam a avaliar cada um dos espaços. Com base nestas apreciações foi realizada uma análise da relação entre os parâmetros acústicos mensuráveis de cada espaço e as preferências verificadas, de modo a determinar valores médios ideias para as componentes de reverberação, tempos de decaimento inicial, entre outros. O estudo apresenta salas com valores área compreendidos entre os 15,3 m<sup>2</sup> e 29m<sup>2</sup> e volumetrias entre os 38,7 m<sup>3</sup> e 96 m<sup>3</sup>. As distâncias entre o ponto de escuta e monitores encontram-se compreendidas entre os 1,60 m e 3,22 m.

Em relação a valores relativos a parâmetros acústicos, identificam-se valores de Tempo de Decaimento Inicial compreendidos entre os 0,13 segundos e 0,35 segundos e valores de Fator de Clareza entre os 9,63 dB e 25,33 dB.

O estudo *Perception and preference of reverberation in small listening rooms for multi-loudspeaker reproduction* (Kaplanis, Bech, Lokki, Waterschoot, & Jensen, 2019), consiste na comparação de vários espaços de escuta domésticos, com a quantificação de vários parâmetros. Dos espaços analisados, o mais relevante ao presente estudo é o intitulado “Room C”, que é descrito como uma sala de escuta crítica, destinada à avaliação de conteúdos multicanal. Os parâmetros quantitativos apresentados e relevantes ao presente trabalho são: volume de 172 m<sup>3</sup>, tempo de reverberação (T30) de 0,17 segundos, Tempo de Decaimento Inicial de 0,11 segundos e Fator de Clareza de 21,90 dB. Também são

apresentados os valores de energia provenientes das superfícies laterais, teto e chão, em comparação com o impulso inicial. Os valores são de -25 dB para as reflexões provenientes das superfícies laterais, -7 dB para as reflexões provenientes do chão e -14 dB para as reflexões provenientes do teto.

O facto de nenhuma das referências apresentadas relacionar as diferenças de performance entre espaços profissionais e espaços adaptados, da tipologia *Home Studio/Project Studio*, nem quais as soluções que tendem a alcançar maior taxa de sucesso/aceitação, por processo de comparação, suporta a pertinência deste estudo.

### 3. Espaços em Estudo e Metodologia

A metodologia do estudo considera a avaliação e caracterização acústica, através da determinação de várias características e quantificação de parâmetros em diferentes espaços. A amostra de espaços selecionados considera régies com diferentes dimensões, níveis de intervenção de controlo acústico (e por consequência diferentes investimentos iniciais) e inclui espaços que se pretendem enquadrar enquanto espaços de utilização doméstica, *Home Studios/Project Studios* e espaços de utilização profissional.

A amostra consiste em sete espaços; um espaço doméstico, três espaços que podem ser considerados *Home Studios/Project Studios* e três espaços profissionais localizados no Grande Porto:

- “Espaço Doméstico”: espaço doméstico de tipologia sala-de-estar, sem qualquer intervenção de acondicionamento acústico. Serve como exemplo de “pior cenário” e como referência de um espaço doméstico antes de sofrer uma intervenção no sentido de capacitar o mesmo para as tarefas de escuta crítica e produção áudio.
- “ESMAE – Estúdio B”: espaço que pretende servir como exemplo de um espaço adaptado, trata-se de uma sala contida no *campus* da ESMAE – Escola Superior de Artes e Espetáculo.
- “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”: similar ao espaço anterior, com um maior foco em elementos de difusão acústica.
- “ESMAE – Régie A”: espaço presente nas instalações da ESMAE, com um maior grau de intervenção acústica que os anteriores, sendo o que mais se aproxima de um espaço profissional, tendo em conta a profundidade da intervenção acústica sobre o mesmo.
- “ARDA – Studio C”: espaço profissional, parte das instalações ARDA Core, um complexo que contém vários estúdios e espaços de gravação. Trata-se de um espaço, cuja área dedicada ao trabalho de escuta crítica e produção áudio é de dimensões reduzidas (comparado com os restantes), com uma distância entre os altifalantes e ponto de escuta curta e uma superfície refletora (vidro), localizada lateralmente ao ponto de escuta.
- “ARDA – Mastering Studio”: espaço profissional, parte das instalações ARDA Core. Trata-se do espaço com maiores dimensões, entre os espaços profissionais.

- “Estúdio Miramar”: espaço de utilização profissional que, no entanto, foi construído a partir de um espaço residencial.

O procedimento seguido foi baseado em medições acústicas nos espaços desocupados, mas totalmente funcionais; baseado na norma ISO 3382-2 (ISO, 2008, p. 4), considerando os limites mínimos para um levantamento de dados, num contexto de engenharia, com mínimos de duas posições de fonte, um número igual ou superior a duas posições de microfone e um total mínimo de combinações de fonte-microfone igual ou superior a seis.

Serão utilizadas três fontes sonoras: uma fonte semi-dodecaédrica e os monitores principais do espaço, direito e esquerdo.

As posições da fonte semi-dodecaédrica serão: numa esquina, junto ao chão, que será medida em duas posições, na esquina geometricamente oposta junto ao teto e no *sweet spot* de escuta previamente definido pelo utilizador/es do espaço.

Os altifalantes disponíveis no espaço, servirão a função de segunda e terceira fonte, medidos a partir do *sweet spot* e um ponto atrás do *sweet spot*.

A medição com o posicionamento da fonte e microfone em esquinas opostas, é uma técnica que, segundo Glen Ballou, referenciando Peter D’Antonio, “calcula a resposta modal de uma sala” (Ballou, 2008, p. 132)<sup>1</sup>. Na verdade, com este método é possível medir os as frequências modais do espaço, que se manifestam como pontos de pressão, ou seja, desvios de valor positivo na resposta em frequência, com fator Q alto, no gráfico de magnitude da Função de Resposta ao Impulso. Os modos próprios de um espaço são abordados com mais detalhe no capítulo 5.3.

Pretende-se caracterizar os espaços, segundo as suas características geométricas (áreas e volumes), e distância entre o ponto de escuta e os monitores, assim como quantificar os valores de Tempo de Reverberação (T30), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Fator de Clareza (C50), *Bass Ratio*, resposta em frequência e atividade modal.

---

<sup>1</sup> No original: “D’Antonio et al, have suggested a technique which calculates the modal response of a room, simulating placing a measurement microphone in one corner of a room then energizing the room with a flat power response loudspeaker in the opposite corner”.

## 4. Definição de *Home Studio* / *Project Studio*

O estudo apresentado neste trabalho analisa a performance de espaços de criação sonora e musical intitulados de *Home Studios* / *Project Studios* (HS/PS), comparados com estúdios de utilização profissional. Para uma maior clareza sobre a linguagem utilizada, convém definir de forma clara *Home Studio* e/ou *Project Studio*.

Por HS/PS considero um espaço com uma única área de trabalho, na qual podem ser realizados trabalhos de edição de áudio, mistura e masterização. Os espaços podem então ser polivalentes ou focados numa função apenas. Geralmente um HS/PS será criado a partir da adaptação de um espaço de habitação ou outro para a realização das tarefas referidas anteriormente.

Os estúdios profissionais, construídos desde a sua origem com o propósito da audição crítica e produção áudio, são considerados, neste estudo, como espaços referência, servindo como ponto de comparação para responder à principal pergunta apresentada neste projeto:

*Quais os fatores quantitativos que justificam as diferenças na performance acústica entre um espaço de utilização profissional e um espaço da tipologia Home Studio/Project Studio?*

O *Home Studio* ideal a considerar neste trabalho seria um espaço de habitação reconvertido a produção sonora e musical e pós-produção áudio, atingindo uma performance acústica ao nível de um espaço profissional, tanto na resposta acústica do espaço, como nos níveis de ruído de fundo residuais e dinâmicos, garantindo ainda boas condições de habitabilidade. Esta é então a segunda pergunta que justifica o presente estudo:

*É viável a adaptação de espaços de habitação para a utilização de enquanto estúdios de produção áudio, expectando uma performance similar a um espaço profissional?*

## 5. Regiões de Comportamento Acústico em Espaços Pequenos

### 5.1 Introdução

O comportamento da energia acústica e a sua distribuição e interação com um espaço fechado é bastante afetado pelas dimensões do mesmo. Assim, muitos dos princípios utilizados na análise de espaços como salas de espetáculo não são aplicáveis no tipo de espaços em análise no presente estudo. Em espaços de baixa volumetria a análise de determinados parâmetros tais como o tempo de reverberação são menos importantes. Este tipo de espaço é dominado pela resposta modal e reflexões especulares. O decaimento lento de determinadas frequências num espaço de baixa volumetria está, geralmente ligado a ressonâncias associadas à interação da energia acústica com as fronteiras do meio. Estas ressonâncias, estão associadas a um fenómeno acústico chamado de resposta modal, que “[...] representa um grave problema quando se tenta comunicar sons musicais de baixa frequência, com informação importante tanto no domínio temporal, como frequencial” (Toole, 2008, p. 63)<sup>2</sup>.

No entanto, apesar de as equações que calculam o tempo de reverberação não serem precisas em espaços de baixa volumetria, o tempo de reverberação pode ser determinado/medido, utilizando meios como a determinação da função de resposta ao impulso, com *software* e *hardware* de fácil aquisição atualmente.

A resposta de um espaço pode ser definida em quatro regiões diferentes:

- Região de Não-Suporte;
- Região Modal;
- Região de Difusão e Difração;
- Região Especular.

Estas regiões e respetivas fronteiras são mais evidentes quanto mais pequenas as dimensões do espaço acústico. Este fenómeno deve-se à importância dos modos próprios da sala, cujo impacto no desempenho acústico é mais marcado quanto mais reduzidas as dimensões da sala. Por exemplo, se a Região de Não-Suporte estiver contida em frequências fora da gama audível, a sua relevância para a experiência auditiva é nula. Uma sala de grandes dimensões terá também

---

<sup>2</sup> No original: “[...] the dominating presence at low frequencies of room modes. They are a major problem when attempting to communicate low-frequency musical sounds with important information in both the time and frequency domains”

modos distribuídos de forma mais uniforme, o que resulta numa menor evidência de ressonâncias ou cancelamentos particulares. Também as zonas de difusão/difração e zona especular são difíceis de separar, uma vez que, como referido anteriormente, a distribuição da energia refletida no espaço é altamente aleatória, com a aleatoriedade da distribuição da energia a aumentar consoante o aumento das dimensões do espaço; “[...] para que exista real reverberação, é necessária a existência de um campo sonoro homogéneo e isotrópico. Geralmente tais condições são aproximadas em salas de grandes dimensões, que não contêm muita absorção” (Ballou, 2008, p. 135)<sup>3</sup>.

## 5.2 Região de Não-Suporte

A Região de Não-Suporte “[...] é a região desde 0 Hz até ao primeiro modo associado à dimensão mais longa do espaço. Nesta região não existe qualquer suporte da sala, o que significa que não existem muitas alternativas para tratar a mesma” (Ballou, 2008, p. 136)<sup>4</sup>.

A frequência do primeiro modo, que será o limite da Região de Não-Suporte encontra-se entre os 0 Hz e a frequência obtida pela seguinte equação:

$$f = \frac{331 + (0.6 * T)}{2 * L}$$

Equação 1: Equação da frequência de não suporte, segundo as variáveis da velocidade do som adaptada à temperatura e comprimento de onda (Everest, 2001, p. 10) [adaptado].

$f$  = Frequência correspondente ao primeiro modo da sala (Hz)

$T$  = Temperatura (°C)

$L$  = Maior dimensão da sala (m)

A Frequência de Não-Suporte coincide com a frequência cujo comprimento de onda é igual ao dobro da maior dimensão da sala, ou seja, o limite da zona de não suporte é simultaneamente o primeiro modo próprio da sala.

<sup>3</sup> No original: “[...] for true reverberation to exist, there needs to be a homogenous and isotropic sound field. Usually, such conditions are approached in physically large rooms that do not contain much absorption”.

<sup>4</sup> No original: “Region 1 is the region from 0 Hz up to the first mode associated with the longest dimension. In this region there is no support from the room at all, and there is not much one can do to treat the room”.

### 5.3 Região modal

A Região Modal está compreendida entre a frequência que limita região de não suporte, definida pela Equação 1 e, de forma aproximada, pela frequência de Schroeder. A frequência de Schroeder é definida pela seguinte equação:

$$f = K\sqrt{RT60/V}$$

Equação 2 - Equação da frequência de Schroeder. (Toole, 2008, p. 57)

$f$  = Frequência de Schroeder (Hz)

$K$  = 2000 (Constante de Sala)

$RT60$  = Tempo de reverberação (seg.)

$V$  = Volume da sala ( $m^3$ )

A frequência de Schroeder não deve ser entendida como uma fronteira absoluta, mas sim como a região de transição entre a região modal e a região especular/difusão.

Os modos próprios da sala, que caracterizam a região modal são definidos pelas dimensões da sala.

Tomando como exemplo uma onda sinusoidal cujo comprimento de onda seja o dobro das dimensões de um dos eixos do espaço acústico e considerando a origem da mesma numa das duas fronteiras desse mesmo eixo, “a energia cinética das partículas tem de ser zero na superfície da parede, no entanto, sempre que a velocidade é zero, a pressão é máxima. A onda é refletida sobre si mesma, com a polaridade inversa [...]. Isto resulta num cancelamento que irá ocorrer à meia distância entre as duas superfícies refletoras” (Ballou, 2008, p. 127)<sup>5</sup>. Este comportamento irá repetir-se em todas as frequências que sejam um múltiplo inteiro da primeira frequência problemática, para o referido eixo do espaço; sendo que este comportamento perde relevância acima da frequência de Schroeder (Equação 2).

---

<sup>5</sup> No original: “. Particle velocity must be zero at the wall surface but wherever particle velocity is zero, pressure is at maximum level. The wave is reflected back out of polarity with itself, that is to say that the reflection is delayed by  $\frac{1}{2}$  of the period. This results in a cancellation that will occur exactly midpoint between the reflecting surfaces.”

Portanto a segunda frequência terá dois pontos de cancelamento e três pontos de pressão, e assim sucessivamente.

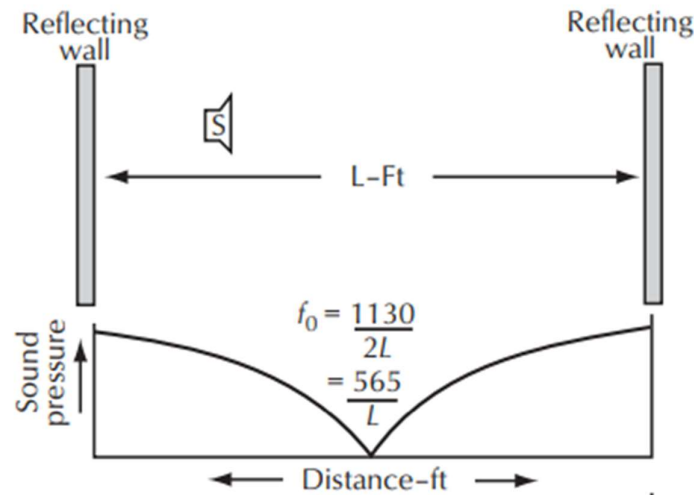


Figura 1 – Diagrama exemplificativo do comportamento da energia acústica associada ao primeiro modo de um eixo; a pressão sonora é superior nas fronteiras, com um cancelamento ao centro. O segundo modo exibiria dois cancelamentos a 1/3 e 2/3 da dimensão do eixo, e assim sucessivamente (Ballou, 2008, p. 127)

A região modal tende a apresentar menos potenciais problemas, quanto maiores as dimensões do espaço, “[...] à medida que as dimensões da sala diminuem, são produzidas frequências modais com menor espaçamento entre si, o que resulta numa maior concentração de energia, em bandas mais definidas, o que conduz a uma característica sónica mais “colorada” ou ressonante” (Newell, 2008, p. 193)<sup>6</sup>.

Os modos próprios de um espaço acústico podem ser calculados utilizando a seguinte equação:

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{y}{W}\right)^2 + \left(\frac{z}{H}\right)^2}$$

Equação 3 - Equação dos modos próprios para um espaço retangular. (Newell, 2008, p. 85)

$f$  = Frequência (Hz)

$c$  = Velocidade do som no ar (m/seg)

<sup>6</sup> No original: “[...] but as the room size reduces, it tends to produce a greater spacing of modal frequencies, hence the energy is concentrated in more clearly defined frequency bands, which leads to a more ‘coloured’ or resonant sound characteristic”.

$x$  = Número  $n$  de meios comprimentos de onda até ao número de interesse

$y$  = Número  $n$  de meios comprimentos de onda até ao número de interesse

$z$  = Número  $n$  de meios comprimentos de onda até ao número de interesse

$L$  = Comprimento do espaço (m)

$W$  = Largura do espaço (m)

$H$  = Altura do espaço (m)

A equação apresentada (Equação 3), funciona apenas para espaços retangulares e as suas variáveis deixam antever alguns factos importantes sobre o funcionamento dos modos próprios.

Os modos próprios estão associados às três dimensões do espaço acústico (comprimento, altura e largura), pelo que podem formar-se apenas pelas interações entre a energia acústica e duas superfícies paralelas, quatro superfícies, ou as seis superfícies de um espaço retangular. Estes serão denominados, respetivamente, como: Modos Axiais, Modos Tangenciais e Modos Oblíquos (Newell, 2008, p. 85).

Tendo em conta a Equação 3, para medir o primeiro modo axial, associado ao comprimento de uma sala, poder-se-ia simplificar a equação para o seguinte:

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{L}\right)^2}$$

Equação 4 - Cálculo do primeiro modo axial de comprimento.

$f$  = Frequência do primeiro modo axial (Hz)

$c$  = Velocidade do som no ar (m/seg)

$L$  = Dimensão do eixo mais longo da sala (m)

Os modos axiais calculam-se de forma simples e rápida, no entanto o número de modos tangenciais e oblíquos existentes numa sala é de tal forma superior, pela variedade de combinações possíveis, que a aferição dos mesmos é muito facilitada com recurso a ferramentas de *software*, por exemplo, folhas de cálculo.

“Apesar de os trajetos possíveis para modos tangenciais e oblíquos serem mais longos, as suas frequências mais baixas são sempre mais altas do que o modo axial mais baixo,

porque é a menor medida do percurso que determina a frequência suportada em qualquer modo ressoador” (Newell, 2008, p. 85)<sup>7</sup>.

Os modos axiais são geralmente aqueles que causam dificuldades mais vincadas.

Uma vez que as frequências modais resultam da interação da energia com acústica com as fronteiras do espaço, estas mesmas dimensões e os seus rácios podem antever melhores ou piores condições de escuta. Por exemplo: “Numa sala com 15m x 10m x 5m, [...] o meio comprimento de onda correspondente aos 5m seria múltipla das restantes dimensões e, portanto, iria ressoar de forma acentuada” (Newell, 2008, p. 92)<sup>8</sup>.

Espaços acústicos cujas dimensões não se relacionam como múltiplos, ou valores próximos de múltiplos terão menos modos em frequências coincidentes, ou seja, estes serão distribuídos de forma mais uniforme.

Existem algumas possibilidades para abordar e prever o quão adequadas são as dimensões de um espaço, objetivando uma distribuição modal uniforme. “Provavelmente o critério aceite de forma mais alargada foi sugerido por [Oscar] Bonello” (Ballou, 2008, p. 132)<sup>9</sup>.

*“O primeiro critério de Bonello passa por distribuir o número de modos (todos os modos, axiais, tangenciais e oblíquos), em bandas de 1/3 oitava e examinar graficamente os resultados para perceber se a curva aumenta de forma consecutiva (cada 1/3 oitava tem mais modos que a anterior, ou, pelo menos, um número igual). O segundo critério é examinar as frequências modais coincidentes, ou, pelo menos, existindo modos coincidentes, devem existir 5 ou mais modos na mesma banda de 1/3 oitava”* (Ballou, 2008, p. 133)<sup>10</sup>.

---

<sup>7</sup> No original: “Despite the longer total pathways for the tangential and oblique modes, their lowest frequencies will always be higher than the lowest axial mode, because it is the shorter side of the pathway which determines the lowest frequency to be supported in any resonant mode”.

<sup>8</sup> No original: “In a room 15m× 10m× 5m, for example, the 5 m half-wavelength could fit into each dimension, and so would resonate strongly”.

<sup>9</sup> No original: “Possibly the most widely used criteria is that suggested by Bonello”.

<sup>10</sup> No original: “Bonello’s number one criterion is to plot the number of modes (all the modes, axial, tangential, and oblique) in 1/3 octave bands against frequency and to examine the resulting plot to see if the curve increases monotonically (i.e., if 1/3 each octave has more modes than the preceding one or, at least, an equal number). His number two criterion is to examine the modal frequencies to make sure there are no coincident modes, or, at least, if there are coincident modes, there should be five or more modes in that 1/3 octave band”.

As distribuições de Bonello não incluem qualquer tipo de ponderação segundo os tipos de modos, ou seja, um modo oblíquo é tratado com o mesmo peso que um modo axial, no entanto, os seus impactos na performance do espaço não são similares.

Além das distribuições de Bonello, existem ainda outros critérios para determinar rácios entre as dimensões do espaço, que causem uma maior distribuição dos mesmos e o menor número de coincidências possível. Existem vários estudos que tentam encontrar rácios ideais para as dimensões do espaço, tais como as plantas Bolt, ou as plantas de Louden. Um estudo realizado por Trevor J. Cox, Peter D'Antonio e Mark R. Davis, denominado de *Room Sizing and Optimization at Low Frequencies*, apresenta um conjunto de rácios, obtidos através de simulações realizadas por *software* (Cox, D'Antonio, & Avis, *Room Sizing and Optimization at*, 2004).

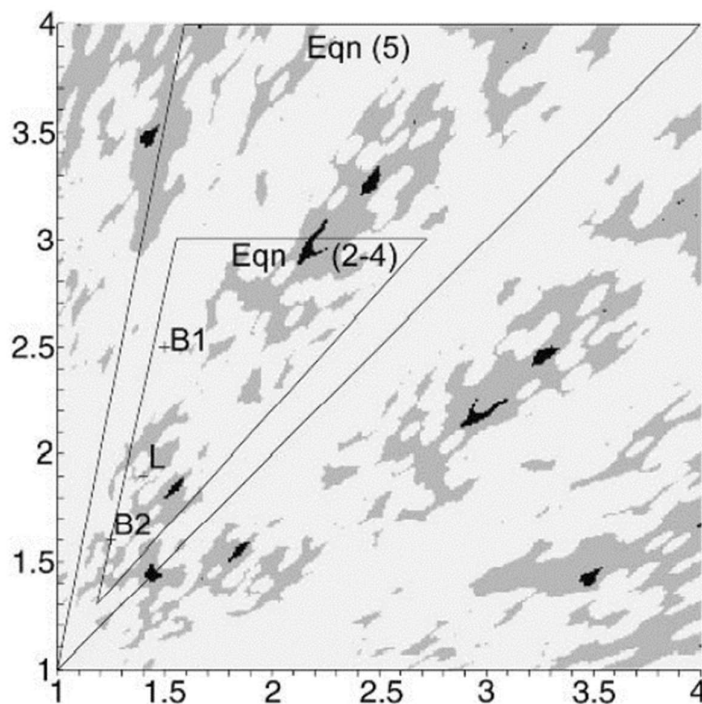


Figura 2 – Rácios ideais de dimensões para uma sala de 50 m<sup>3</sup>. A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo *Room Sizing and Optimization at Low Frequencies*. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, *Room Sizing and Optimization at*, 2004, p. 649)

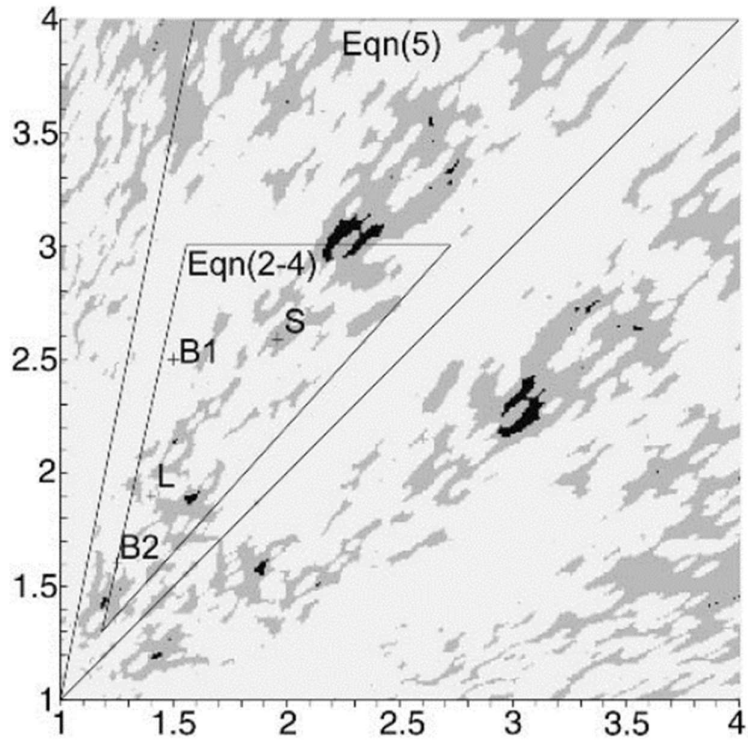


Figura 3 - Rátios ideais de dimensões para uma sala de 100 m<sup>3</sup>. A negro estão sinalizados os rátios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rátios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649)

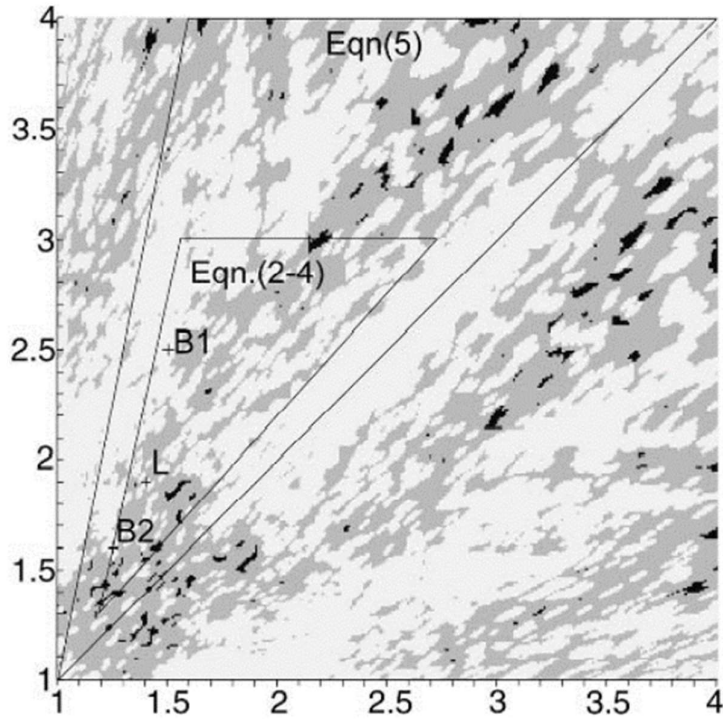


Figura 4 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 200 m<sup>3</sup>. A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649)

Como é possível verificar na Figura 2, Figura 3 e Figura 4, e segundo o próprio estudo “[...] existem poucos rácios (cerca de 20 reunidos em torno de 1:2,19:3), que possam ser aplicados às três volumetrias de sala apresentadas” (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 648)<sup>11</sup>. Quanto menor a volumetria do espaço, menor o número de rácios favoráveis.

Os autores sugerem um processo otimização para cada sala a tratar, utilizando processos de computação, uma vez que trabalhar apenas com rácios sugeridos nas figuras acima pode ser demasiado limitador.

Todo o material teórico referente aos modos próprios de um espaço, até aqui apresentado, refere-se a salas retangulares, sendo que a teoria é muito mais facilmente aplicável em espaços cuja construção seja feita com materiais rígidos e pesados, com um comportamento similar (refletivo) em toda a gama de frequências. Existem materiais, que,

<sup>11</sup> No original: “[...] there are very few room ratios (about 20 clustered around 1:2.19:3) that can be applied to all three room volumes”.

pelas suas características físicas podem causar problemas, por exemplo, aos 160 Hz, mas, nos 80 Hz, uma oitava abaixo, o mesmo material pode ter características que não permitam a manutenção de toda a energia dentro da sala, o que acaba por aliviar potenciais problemas nessa mesma frequência.

A presença de assimetrias na sala, portas e janelas com índices de isolamento baixos comparados com os das restantes fronteiras do espaço também podem causar desvios no real comportamento acústico da sala quando comparado com os resultados dos cálculos.

O minoramento de problemas na região modal começa na escolha das dimensões da sala, ou, em alguns casos, é benéfico reduzir uma das dimensões da sala, de forma a conseguir rácios entre as três dimensões do espaço mais favoráveis.

Come referido, todos os princípios até agora explanados aplicam-se a salas retangulares. Como referido, a gravidade dos problemas causados está ligada às dimensões do espaço e a relação entre as mesmas. Assim sendo, é necessário considerar a hipótese de salas assimétricas, de forma a evitar a sobreposição de frequências modais.

As salas não retangulares apresentam um “[...] número de modos bastante aproximado a uma sala retangular, uma vez que os modos são determinados principalmente pelo volume do espaço, e não pela forma” (Ballou, 2008, p. 134)<sup>12</sup>.

A utilização de salas com superfícies assimétricas tem como racional “[...] reduzir o impacto dos modos axiais, o que pode vantajoso em algumas circunstâncias” (Newell, 2008, p. 92)<sup>13</sup>. Desta forma, numa sala não-retangular, “[...] os modos têm todos uma característica 3D, (comportamento similar a modos oblíquos) (Ballou, 2008, p. 134)”<sup>14</sup>.

Este tipo de construção tende a ser utilizado em salas concebidas “[...] para a performance ou reprodução musical” (Newell, 2008, p. 92)<sup>15</sup>.

A implementação de soluções baseadas em superfícies não paralelas “[...] tende a incorrer custos mais elevados [...]” (Ballou, 2008, p. 133)<sup>16</sup>, além de que a interação da energia acústica em espaços com estas características torna o cálculo das frequências modais

---

<sup>12</sup> No original: “The number of modes per frequency band in the irregular room is about the same as the regular room because it is determined principally by the volume of the room rather than its shape”.

<sup>13</sup> No original: “[...] the overall number of coincident modes, but they do tend to have the ability to reduce the more energetic axial modes, and this can be an advantage in some circumstances”.

<sup>14</sup> No original: “Instead of axial, tangential, and oblique modes characteristic of the rectangular room, the resonances of the nonrectangular room all have the character of 3D (oblique like) modes”.

<sup>15</sup> No original: “[...] many rooms intended for musical performance or reproduction”.

<sup>16</sup> No original: “This approach is usually more expensive [...]”.

e a consequente atuação sobre os problemas mais difícil. Ao invés dos modos existentes em salas retangulares, cujas frequências podem ser facilmente calculadas, utilizando a Equação 3, ou com *software* de fácil desenvolvimento e utilização (por exemplo, uma folha de cálculo), “para determinar os padrões modais de uma sala não retangular [...] é necessário um dos métodos mais complexos; a utilização de análise de elementos finitos” (Ballou, 2008, p. 133)<sup>17</sup>. Este tipo de ferramentas requer conhecimento técnico específico sobre as mesmas, uma vez que a sua utilização é bastante complexa, além de acarretarem custos elevados.

O tratamento de problemas acústicos na região modal pode ser facilitado dependendo das dimensões do espaço. Um espaço de maiores dimensões tem, por consequência das mesmas, os problemas relacionados com frequências modais minorados, quando comparado com um espaço de dimensões inferiores.

Segundo estudos da BBC “[...] problemas encontrados em estúdios com menos de 42 m<sup>3</sup> são severos o suficiente como para tornar estas salas pequenas pouco utilizáveis” (Everest, 2001, p. 421)<sup>18</sup>.

As dimensões iniciais do espaço, quanto maiores, também tendem a ser um elemento facilitador para a instalação de elementos de acondicionamento acústico, uma vez que estes elementos requerem um espaço físico onde possam ser instalados e, para frequências mais baixas, estes elementos tendem a ter dimensões superiores a elementos de controlo de frequências médias e/ou agudas.

## 5.4 Região de Difração e Difusão

Sabendo que o decaimento prolongado de determinadas frequências é causado sobretudo por ressonâncias causadas pela interação da energia acústica com as fronteiras da sala, é importante compreender que a análise e correção do comportamento acústico de uma sala pequena se centra no controlo de reflexões fortes, que têm impacto na perceção do timbre e posicionamento das fontes sonoras.

A região que se segue à região modal, denominada de região de difusão e difração e tem os seus limites entre a frequência de Schroeder e a frequência indicada pela seguinte equação:

---

<sup>17</sup> No original: “To determine modal patterns of nonrectangular rooms, however, requires one of the more complex methods, such as the use of finite elements”.

<sup>18</sup> No original: “[...] coloration problems encountered in studios having volumes less than 1,500 cubic feet are severe enough to make small rooms impractical”.

$$f = 4 \times \left( \frac{3 \times C}{RSD} \right)$$

Equação 5 - Limite da região de difusão e difração. (Toole, 2008, p. 138)

$f$  – Frequência que define a região limite (Hz)

$C$  – Velocidade do som no ar (m/seg.)

$RSD$  – *Room's Smallest Dimension* (Dimensão mais pequena da sala) (m)

A região de difusão e difração tem um comportamento diferente da região modal, na medida em que o decaimento tende a deixar de ser dominado por ressonâncias ditadas pelas fronteiras da sala. A energia acústica tem um comportamento que varia entre fenómenos de difração e difusão (correspondentes a mudanças de direção na propagação da energia) e reflexões especulares, com um comportamento geométrico fácil de prever, em que o ângulo de incidência da energia numa superfície é igual ao ângulo de reflexão.

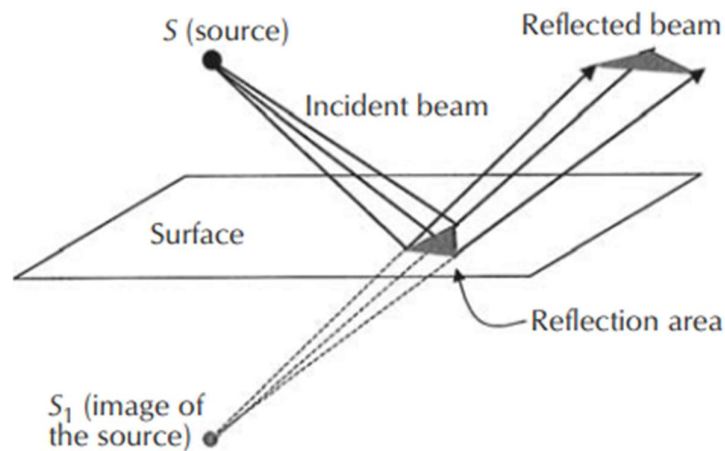


Figura 5 - Gráfico exemplificativo do comportamento de uma reflexão (Ballou, 2008, p. 224)

Esta região tem a particularidade de os comprimentos de onda serem grandes o suficiente como para que a energia em algumas frequências possa sofrer de fenómenos de difração e difusão em elementos como o mobiliário do espaço. Estas características podem tornar uma abordagem puramente geométrica ao comportamento das reflexões nesta região pouco viável.

Podem, ainda assim, existir reflexões especulares fortes na região do espectro associada à difusão e difração e, sendo esta região coincidente com a zona média do espectro sonoro, é necessário ter em conta a existência de fenómenos de *comb filtering*.

“Quando o som direto e a reflexão se combinam num dado ponto de observação, uma perturbação do espectro, geralmente denominada de *comb filter*, é produzida” (Ballou, 2008, p. 139)<sup>19</sup>.

Este fenómeno exprime-se por uma sucessão de vales e picos na resposta frequencial. O primeiro vale é definido pela seguinte equação:

$$f = \frac{1}{2t}$$

Equação 6 - Equação que determina o primeiro corte de um comb filter (Ballou, 2008, p. 139).

$f$  – Frequência do primeiro corte (Hz)

$t$  – Atraso da reflexão em relação ao som direto (seg.)

O primeiro pico pode ser calculado segundo a seguinte equação:

$$f = \frac{1}{t}$$

Equação 7 - Equação que determina o primeiro pico de um comb filter.

$f$  – Frequência do primeiro corte (Hz)

$t$  – Atraso da reflexão em relação ao som direto (seg.)

A sucessão de picos e vales pode ser facilmente determinada, bastando somar  $\left(\frac{1}{t}\right) * n$  aos valores do primeiro pico e primeiro vale.

As maiores dificuldades em tratar esta região prendem-se com alguma imprevisibilidade no comportamento da energia acústica, uma vez que é possível encontrar fenómenos de difração, reflexão e difusão, dependendo da frequência, da direccionalidade da fonte e dos elementos presentes no espaço.

---

<sup>19</sup> No original: “When the direct sound and a reflection combine at some observation point, a spectral perturbation often called a comb filter is produced”.

## 5.5 Região especular

A região especular tem o seu início após o término da região de difração e difusão, cujo limite se define pela Equação 5.

Na região especular a energia acústica é composta por frequências altas, caracterizadas por comprimentos de onda curtos.

“Nesta região, é possível considerar a energia acústica como raios, uma vez que estamos a lidar com reflexões especulares” (Ballou, 2008, p. 137)<sup>20</sup>.

Em superfícies planas, a energia acústica concentrada na região especular pode causar reflexões discretas muito fortes, que podem causar efeitos adversos na precisão da escuta proporcionada pela combinação entre o sistema de escuta e o espaço.

“Reflexões especulares isoladas e intensas causam coloração, mudanças na imagem do palco sonoro e aumento da largura e profundidade dessa mesma imagem” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 42)<sup>21</sup>; “[...] reflexões muito próximas, na ordem dos 0 a 5 ms, podem causar alterações na imagem do palco sonoro, ainda que a sua amplitude seja baixa em relação ao som direto” (Ballou, 2008, p. 139)<sup>22</sup>.

O aumento da largura e profundidade do palco sonoro é um fenómeno cuja apreciação tem algum grau de subjetividade. Segundo Floyd Toole: “Como seria de esperar, paredes laterais refletoras resultam em “alargamento do palco sonoro”” (Toole, 2008, p. 116)<sup>23</sup>; no entanto, por exemplo, Philip Newell afirma que são necessárias “[...] salas relativamente secas, com poucas reflexões laterais, de forma a suportar imagens fantasma fortes, com imagens definidas segundo panorâmicas de amplitude” (Newell, 2008, p. 405)<sup>24</sup>.

Uma vez que as reflexões na região em análise têm um comportamento previsível e os comprimentos de onda são curtos, o tratamento desta região é tendencialmente mais simples que as anteriores. Existe algum grau de subjetividade e várias abordagens para o acondicionamento das reflexões especulares. “Tanto absorção como difusão podem ser utilizadas para prevenir distorção acústica. Por exemplo, ambas podem ser eficazes para

---

<sup>20</sup> No original: “In this region, one can use a ray acoustics approach as we are dealing with specular reflections”.

<sup>21</sup> No original: “Isolated and intense early specular reflections cause coloration, image shifting and broadening of the image width and depth”.

<sup>22</sup> No original: “[...] very early reflections, on the order of 0 to 5 ms, can cause image shifts even when very low in amplitude relative to the direct sound”.

<sup>23</sup> No original: “As might be expected, reflective side walls resulted in a “broadening of the sound image”.

<sup>24</sup> No original: “Require relatively dead rooms with minimal lateral reflexions in order to support strong phantom, amplitude panned images”.

controlar ecos, coloração e alteração no palco sonoro, que seriam causadas por reflexões fortes”  
(Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers* 2nd Edition, 2009, p. 4)<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> No original: “Both absorbers and diffusers can be used to prevent acoustic distortion. For example, both can be effective in controlling echoes, coloration and image shift, which would otherwise be caused by strong reflections”.

## 6. Parâmetros Acústicos – Definição e Influência nos Espaços Acústicos

### 6.1 Contextualização

Existem vários parâmetros que permitem quantificar, de forma clara e com alto grau de repetibilidade o comportamento de um espaço acústico. Existem parâmetros que definem o tempo de decaimento da energia na sala, tal como o Tempo de Reverberação, rácios de distribuição de energia reverberante pelo espectro sonoro, como por exemplo, o *Bass Ratio*, parâmetros que quantificam a distribuição da energia pelo espaço, entre outros, tais como o Coeficiente de Correlação Cruzada Interaural [Inter Aural Correlation Coefficient (IACC)] e a Fração Lateral [Lateral Fraction (LF)].

Muito destes parâmetros tiveram a sua conceção direcionada à análise de salas de concerto, ligados à performance de música erudita, sobretudo aqueles ligados à análise da distribuição da energia no espaço.

Além da adequação dos parâmetros ao tipo de estudo desenvolvido neste trabalho, é também preciso considerar a disponibilidade de recursos tecnológicos para medir determinados fenómenos. Por exemplo, existem ferramentas que permitem determinar a direção das reflexões em relação ao ponto de medição, no entanto, esse tipo de ferramentas não foi utilizada neste estudo. Assim sendo, este estudo foca-se nos parâmetros apresentados nos subcapítulos seguintes, com a escolha dos mesmos a estar ligada às possibilidades deixadas em aberto pelos meios técnicos disponíveis, assim como o seu grau de objetividade e fácil relação com espaços de escuta crítica e possíveis problemas ou virtudes.

### 6.2 Tempo de reverberação [Reverberation Time (RT60)]

“O tempo de reverberação (RT60) é não só o mais antigo, mas também o mais conhecido parâmetro acústico” (Ballou, 2008, p. 148)<sup>26</sup>.

O RT60 pode ser calculado segundo a seguinte formula:

$$RT60 = \frac{0.161 * V}{S * \alpha}$$

Equação 8 - Equação de Sabine (RT60) (Newell, 2008, p. 97).

---

<sup>26</sup> No original: “The reverberation time RT60 is not only the oldest, but also the most best-known room-acoustical quantity”.

$RT60$  = Tempo de reverberação (seg.)

$V$  = Volume do espaço ( $m^3$ )

$S$  = Área de superfície de cada elemento ( $m^2$ )

$\alpha$  = Coeficiente de absorção de cada superfície

O  $RT60$  admite que o tempo de reverberação é igual ao tempo que a energia acústica demora a baixar em 60 dB, após um impulso inicial.

Como avançado no capítulo 5.1, a utilização de equações para prever o tempo de reverberação num espaço de pequenas dimensões, não é o procedimento mais adequado. “Um conceito tão elementar como a reverberação encontra a sua representação quantitativa clássica [...] baseada na noção de que o campo sonoro é difuso e, a menos que esta condição seja encontrada na realidade, serão encontrados erros substanciais na previsão do tempo de reverberação” (Ballou, 2008, p. 225)<sup>27</sup>. Espaços de pequenas dimensões não apresentam um campo sonoro difuso o suficiente, sendo o espaço dominado por reflexões discretas fortes e ressonâncias ligadas às distâncias entre fronteiras. Philip Newell afirma ainda que: “Esta fórmula [fórmula de Sabine] é apenas válida em salas com relativamente pouca absorção, com um  $\alpha$  inferior a cerca de 0.3 [...], porque se torna cada vez mais imprecisa à medida que a absorção aumenta” (Newell, 2008, p. 97)<sup>28</sup>.

“Para casos de grande absorção como certas pequenas salas secas utiliza-se por vezes a Equação de Eyring-Norris” (Henrique, 2002, p. 774).

$$RT60 = \frac{0,16 * V}{-S * \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

Equação 9 – Equação de Eyring-Norris (Henrique, 2002, p. 774)

$RT60$  = Tempo de Reverberação (seg)

$S$  = Área de superfície de cada elemento ( $m^2$ )

---

<sup>27</sup> No original: “A concept as elementary as reverberation finds its classical quantitative representation (the Sabine/Eyring equation and associated variants) rooted into the notion that the sound field is assumed to be diffuse, and unless this condition is met in reality, one will encounter substantial errors in predicting the reverberation time”.

<sup>28</sup> No original: “This formula is really only valid for rooms of relatively low absorption,  $\alpha$  less than about 0.3 [...] because it becomes increasingly inaccurate as the absorption increases”.

$\bar{\alpha}$  = Coeficiente de absorção de cada superfície

Existem outras formulas para calcular o tempo de reverberação, mas os problemas de imprecisão do cálculo em espaços pequenos persistem. Um exemplo disso mesmo é a fórmula de Fitzroy:

$$RT60 = 0,16 * \frac{V}{S^2} \left[ \frac{-x}{\ln(1 - \alpha_x)} + \frac{-y}{\ln(1 - \alpha_y)} + \frac{-z}{\ln(1 - \alpha_z)} \right]$$

Equação 10 – Fórmula de Fitzroy para determinação do tempo de reverberação (Neubauer, 2000)

RT60 = Tempo de Reverberação (seg.)

$x; y; z$  = Área total de duas superfícies opostas e paralelas (m<sup>2</sup>)

$\alpha_x; \alpha_y; \alpha_z$  = média do coeficiente de absorção de um conjunto de paredes paralelas

$S$  = Área de superfície total do espaço (m<sup>2</sup>)

$V$  = Volume da sala (m<sup>3</sup>)

O tempo de decaimento, após um impulso inicial, é um fator muito importante na caracterização de qualquer espaço acústico. Apesar de o cálculo do tempo de reverberação, quando aplicado a espaços de pequenas dimensões, não ser um processo preciso, é possível, recorrendo a combinações de *hardware* e *software* que permitam calcular funções de resposta ao impulso, determinar com um elevado grau de exatidão os tempos de decaimento da energia acústica num determinado espaço acústico.

Uma vez que o RT60 se define pelo intervalo de tempo cuja energia acústica demora a decair 60 dB, após um impulso inicial, a medição do RT60 pode ser dificultada pelo facto de poder não ser possível criar condições que permitam uma diferença de 60 dB entre o impulso inicial e o ruído de fundo, de forma a permitir medir a totalidade do decaimento. Este problema é ultrapassado recorrendo a medições de T30, ou T20. No caso do T30, o processo é em tudo similar à medição do RT60, mas apenas se mede o decaimento dos primeiros 30 dB e multiplica-se o resultado por 2, de forma a determinar o RT60. O T20 é similar, medindo-se o decaimento dos primeiros 20 dB e multiplica-se o resultado por 3, para determinar a duração total do decaimento.

“O melhor tempo de reverberação para um espaço [...] depende do tamanho do espaço e do tipo de música” (Everest, 2001, p. 150)<sup>29</sup>.

Uma vez que um estúdio tem como objetivo a audição crítica, os tempos de reverberação são tendencialmente curtos, uma vez que o decaimento da reverberação não deve mascarar pormenores dos conteúdos áudio a serem reproduzidos.

Existem métodos que permitem estimar tempos de reverberação ideais, como por exemplo: “As medições são feitas com os altifalantes utilizados e com filtragem de bandas em terços de oitava.  $T_m$  é a média aritmética de tempos de reverberação medidos nas bandas de terço de oitava desde 200 Hz até 4 KHz. A literatura sugere valores entre 0,2 e 0,4 segundos, dependendo da dimensão da sala [...]” (Rumsey, et al., 2001)<sup>30</sup>.

$$RT = 0.25(V/V_0)^{1/3}$$

Equação 11 - Equação para cálculo do valor ideal de reverberação para uma sala de escuta crítica (Rumsey, et al., 2001).

$RT$  = Tempo de reverberação ideal

$V$  = Volume da sala ( $m^3$ )

$V_0$  = Volume de sala de referência ( $100 m^3$ )

A curva do decaimento  $RT60$  reflete a linearidade do decaimento e pode ser um indicativo da presença de potenciais problemas.

---

<sup>29</sup> No original: “The best reverberation time for a space in which music is played depends on the size of the space and the type of music”.

<sup>30</sup> No original: “The measurements are made with the loudspeakers used and with one-third-octave-band filtering.  $T_m$  is the arithmetic average of the measured reverberation time  $T$  in the one-third-octave bands from 200 Hz to 4 kHz. The literature suggests between 0.2 and 0.4 s, depending on the room size [...]”.

### 6.3 Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

O Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*] é uma outra forma de calcular o decaimento da energia acústica num espaço reverberante.

O EDT pode ser calculado: “[...] através do tempo de decaimento entre os níveis de 0 dB e -10dB e multiplicando por 6” (Newell, 2008, p. 271)<sup>31</sup>.

Heinrich Kuttruff afirma que o EDT é: “[...] um indicador mais fiável para a impressão subjetiva de reverberância, do que o tempo de reverberação de Sabine” (Kuttruff, 2000, p. 259)<sup>32</sup>. “Testes de escuta recentes, baseados na resposta biaural de impulsos gravados em diferentes salas de concerto confirmam que a reverberação percebida está fortemente ligada ao EDT” (Kuttruff, 2000, p. 221)<sup>33</sup>. Valores superiores ao valor de RT60 podem indicar uma sensação subjetiva de tempo de reverberação extenso, ainda que o tempo de reverberação efetivo seja curto.

“De muitas formas, é o início do decaimento (o tempo que som demora a decair 10 dB), que nos diz mais sobre a sala que o seu T60” (Newell, 2008, p. 270)<sup>34</sup>. “Numa sala [...] com um decaimento inicial rápido, existirá menor tendência para a reverberação mascarar detalhes de nível intermédio em sons que ocorram imediatamente a seguir à ocorrência de um som forte” (Newell, 2008, p. 270)<sup>35</sup>.

### 6.4 Intervalo de tempo de chegada inicial [*Initial Time Delay Gap (ITDG)*]

O intervalo de tempo de chegada inicial refere-se ao intervalo de tempo entre a chegada do som direto e as primeiras reflexões.

*“É normalmente considerado que controlar reflexões até 10dB ou mais abaixo do som direto irá prevenir efeitos adversos significativos. Numa sala de controlo típica, a distância viajada pelas reflexões de segunda e terceira ordem já oferece este grau de*

---

<sup>31</sup> No original: “The early decay time (EDT) [...] it can be calculated by taking the time from the 0 to -10 dB levels and multiplying the figure by six”.

<sup>32</sup> No original: “[...] which is anyway a more reliable indicator of the subjective impression of reverberance than Sabine’s reverberation time”.

<sup>33</sup> No original: “Recent listening tests based on binaural impulse responses recorded in different concert halls confirmed that the perceived reverberance is closely related to EDT.”

<sup>34</sup> No original: “In many ways, it is the onset of the decay (the time taken for the sound to decay to 10 dB below its initial level), which tells us much more about a room than its T60”.

<sup>35</sup> No original: “In a room showing this type of characteristic response [...], there will be less of a tendency for the reverberation to mask the mid-level detail in any sounds occurring almost immediately after the occurrence of a loud sound”.

*atenuação – mesmo antes de alguma perda adicional causada pelo tratamento de superfícies. Assim sendo a principal preocupação prende-se com as reflexões de primeira ordem (dentro de aproximadamente 20 ms)”* (Dunn & Protheroe, 2014, p. 2)<sup>36</sup>.

O ITDG em espaços de produção musical é muito importante que esteja contido num intervalo temporal que seja favorável. Um intervalo de chegada das primeiras reflexões demasiado pequeno, em conjunto com um nível de pressão sonora alto em relação ao som direto, pode causar colorações (*comb filters*) que afetam negativamente a linearidade/neutralidade da resposta em frequência no ponto do espaço em análise, assim como distorções na distribuição do palco sonoro produzido por sistemas estereofónicos, como explicado no capítulo 5.5.

Segundo Glenn Ballou: “Primeiras reflexões que chegam ao ouvinte menos de 20 ms depois do som direto causam *comb filtering*, o que degrada a resposta em frequência do sistema” (Ballou, 2008, p. 1245)<sup>37</sup>. Philip Newell afirma também que: “Se for criada uma zona livre de reflexões, [...] num período desejado de 6-30 ms (numa sala de tamanho mais praticável, isto será cerca de 20ms) é possível eliminar a típica coloração da acústica da sala e ouvir, em vez disso, o que chega dos altifalantes [...]” (Newell, 2008, p. 438)<sup>38</sup>.

“Reflexões entre os 20 ms e os 50 ms, no entanto, podem adicionar energia que é benéfica para a inteligibilidade e qualidade sonora” (Ballou, 2008, p. 1245)<sup>39</sup>.

Reflexões discretas com muita energia, com um atraso superior a 50 ms são, geralmente, interpretadas pelo sistema auditivo humano como “ecos”; repetições discretas da fonte original. No caso de salas de concerto “Beranek já não é favorável a esta ideia, mas menciona a observação de que se o ITGD exceder 45ms a sala não tem intimidade [...]” (Rossing,

---

<sup>36</sup> No original: “It is commonly considered that controlling reflections to 10 dB or more below the direct sound will prevent significant adverse effects. In a typical control room, the additional distance traveled by 2nd and 3rd order reflections often provides this degree of attenuation – even prior to the additional loss caused by surface treatment. The primary concern therefore has been first order reflections (within approximately 20 ms)”.

<sup>37</sup> No original: “Mid- to high-level early reflections, which arrive at the listener’s ear less than 20 ms after the direct sound, cause comb filtering which degrades the system frequency response”.

<sup>38</sup> No original: “If a reflexion-free zone is produced so there are no reflexions in the desired 6–30 ms period (in a practical sized room, this is around 20 ms) it is possible to eliminate the usual colouration of a room acoustic and listen instead to that coming from the loudspeakers [...]”.

<sup>39</sup> No original: “Reflections between 20 ms and 50 ms, however, can add to the level in a way that is beneficial to intelligibility and pleasing to the sound quality”.

2007, p. 310)<sup>40</sup>. Ou seja, o ITGD não deverá ser tão grande quanto possível, mas sim contido num intervalo de valores desejável, em função do tamanho do espaço e do programa musical.

Assim, segundo vários autores, um ITDG de cerca de 20 ms entre o som direto e as primeiras reflexões fortes é muito importante, para assegurar a neutralidade do sistema, no ponto de escuta.

O espaço entre os 20 ms e 50 ms e a quantidade de energia que chega neste intervalo pode-se considerar que se trata de uma característica cuja avaliação pode esta sujeita a algum juízo subjetivo.

Após os 50 ms, reflexões discretas, acima da energia associada ao decaimento da energia reverberante, são indesejáveis.

O intervalo associado ao ITDG, assim como reflexões fortes que se destaquem em relação à restante energia associada ao decaimento da energia reverberante, num espaço, podem ser visualizados em *softwares* que permitam uma representação visual da função de resposta ao impulso, representado o decaimento da energia ao longo do tempo.

## 6.5 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

*“O parâmetro C50 descreve a inteligibilidade do discurso e a também da voz cantada. É geralmente calculada numa largura de banda de quatro oitavas entre 500 Hz e 4000Hz [...]”*. (Ballou, 2008, p. 154)<sup>41</sup>.

$$C50 = 10 \log \left( \frac{E_{50}}{E_{\infty} - E_{50}} \right) \text{ dB}$$

Equação 12 - Equação para determinar o C50 (Ballou, 2008, p. 154).

C50 = Fator de clareza, calculado segundo a energia presente nos primeiros 50ms, comparada com a energia restante

$E_{50}$  = Total de energia presente para o decaimento inicial, nos primeiros 50 ms

$E_{\infty}$  = Total de energia desde o impulso inicial até ao final do decaimento

<sup>40</sup> No original: “Beranek no longer advocates this idea but mentions the observation that, if the ITDG exceeds 45 ms, the hall has no intimacy [...]”.

<sup>41</sup> No original: “The definition measure C50 describes the intelligibility of speech and also of singing. It is generally calculated in a bandwidth of four octaves between 500 Hz and 4000 Hz [...]”

“Uma boa inteligibilidade do discurso é conseguida quando o C50 é  $\geq 0$  dB” (Ballou, 2008, p. 154)<sup>42</sup>.

A “[...] forma como o C50 se relaciona com a “clareza” numa sala de controlo requer mais investigação” (Dunn & Protheroe, 2014, p. 9)<sup>43</sup>, no entanto o estudo Preferences of Critical Listening Environments Among Sound Engineers (Tervo, Laukkanen, Pätynen, & Lokki, 2014) estabelece o C50 como um critério importante na comparação entre diferentes salas de controlo, destinadas às finalidades de mistura e masterização áudio. Os intervalos de valores para os espaços analisados no artigo encontram-se entre os 9,63 dB e os 25,33 dB. Estes números indicam que é espectável valores de C50 superiores a 0 dB em espaços de audição crítica, com valores superiores a cerca de 10 dB a serem a norma.

## 6.6 Bass Ratio (BR)

*“Além do tempo de reverberação RT60 às médias frequências, a resposta em frequência do tempo de reverberação é de grande importância, especialmente às baixas frequências, quando comparadas com as médias”* (Ballou, 2008, p. 151)<sup>44</sup>.

O *Bass Ratio* (BR) quantifica a relação do tempo de decaimento das baixas frequências em relação às médias frequências.

$$BR = \frac{T_{125\text{ Hz}} + T_{250\text{ Hz}}}{T_{500\text{ Hz}} + T_{1000\text{ Hz}}}$$

Equação 13 - Equação do *Bass Ratio* (Rossing, 2007, p. 310).

*BR = Bass Ratio*

$T_{125\text{ Hz}}$  = Tempo de reverberação (RT60) aos 125 Hz

$T_{250\text{ Hz}}$  = Tempo de reverberação (RT60) aos 250 Hz

$T_{500\text{ Hz}}$  = Tempo de reverberação (RT60) aos 500 Hz

$T_{1000\text{ Hz}}$  = Tempo de reverberação (RT60) aos 1000 Hz

<sup>42</sup> No original: “A good intelligibility of speech is generally given when  $C50 \geq 0$  dB”.

<sup>43</sup> No original: “[...] how C50 relates to ‘clarity’ in a control room setting requires further investigation”.

<sup>44</sup> No original: “Besides the reverberation time RT60 at medium frequencies, the frequency response of the reverberation time is of great importance, especially at low frequencies, as compared to the medium ones”.

Segundo Glenn Ballou: “Para música o *Bass Ratio* mais desejável será  $\approx 1 - 1.3$ ” (Ballou, 2008, p. 151)<sup>45</sup>.

No entanto a definição e fórmula que caracterizam o *Bass Ratio*, acima apresentada, foi concebida considerando uma performance desejável para salas de concerto, considerando música acústica.

No caso de considerarmos um sistema eletroacústico, cuja resposta em frequência abranja todo o espectro audível, e tendo também em conta as características tímbricas da música comercial contemporânea, a extensão da utilização de baixas frequências é muito superior e de grande importância em vários géneros musicais.

Segundo um estudo realizado na Universidade Técnica da Dinamarca, uma adaptação da Equação 13 foi sugerida, propondo a inclusão das bandas de terço de oitava de 63 Hz e 2000 Hz, como uma forma mais eficaz de caracterizar salas de espetáculo destinadas a concertos Pop/Rock (Larsen, Olmos, & Gade, 2004), conforme apresentada na Equação 14.

$$BR = \frac{T_{63 \text{ Hz}} + T_{125 \text{ Hz}} + T_{250 \text{ Hz}}}{T_{500 \text{ Hz}} + T_{1000 \text{ Hz}} + T_{2000 \text{ Hz}}}$$

Equação 14 - Equação de *Bass Ratio* adaptada a espaços de concerto dedicados à música Pop/Rock (Larsen, Olmos, & Gade, 2004, pp. BNAM2004-4).

$BR = \text{Bass Ratio}$

$T_{63 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 63 Hz

$T_{125 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 125 Hz

$T_{250 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 250 Hz

$T_{500 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 500 Hz

$T_{1000 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 1000 Hz

$T_{2000 \text{ Hz}} =$  Tempo de reverberação (RT60) aos 2000 Hz

Segundo o estudo apresentado por Larsen, Olmes e Gade: “[...] o valor de *Bass Ratio* para a fórmula modificada não deve exceder 1.2, ou seja, a sala deve ter o seu espectro frequencial equilibrado, no que diz respeito ao T30. Uma vez que sistemas de reprodução modernos são capazes de produzir muita energia nas frequências graves, um *Bass Ratio*

---

<sup>45</sup> No original: “For music, the desirable bass ratio is  $BR \approx 1.0-1.3$ .”

inferior a 1 não seria uma desvantagem – mas este resultado seria muito difícil de obter na prática” (Larsen, Olmos, & Gade, 2004, pp. BNAM2004-4)<sup>46</sup>.

“Investigadores da British Broadcasting Corporation observaram que avaliações subjetivas sugerem tolerância a um certo aumento de tempo de reverberação na região grave. [...] Tendo como referência o valor de 1KHz, aumentos de 80% aos 63 Hz e 20% aos 125 Hz foram considerados aceitáveis. Este estudo foi realizado num estúdio [...] com um tempo de reverberação médio de 0,4 segundos” (Everest, 2001, p. 153)<sup>47</sup>.

Resumindo, para obter uma resposta do espaço acústico que aproxime a neutralidade, é necessário que os tempos de reverberação sejam consistentes ao longo de todo o espectro, no entanto, é espectável que os mesmos sejam superiores nas frequências mais baixas, uma vez que estas perdem, tendencialmente, menos energia, via absorção. Um ligeiro aumento da energia na região grave é, segundo testes subjetivos, considerado uma característica positiva.

## 6.7 Outros Fatores

### 6.7.1 Resposta em Frequência

A resposta em frequência, não sendo um parâmetro acústico por si só, mas sim o resultado da interação de todas as propriedades acústicas da fonte sonora e do espaço, medido num ponto, é um elemento de máxima importância para a utilização de sistemas eletroacústicos dedicados à audição crítica. Desta forma, a medição da resposta do sistema de reprodução, no espaço acústico em estudo é de máxima importância.

A medição da resposta em frequência permite perceber a extensão da resposta em frequência do sistema no espaço, assim como possíveis desvios daquela que seria uma resposta totalmente linear.

---

<sup>46</sup> No original: “[...] the (modified) bass ratio should not exceed 1.2, i.e. the hall should be frequency balanced with respect to T30. As modern, powerful amplification systems are capable of high bass output a bass ratio below 1.0 would not be a disadvantage – but often this will be difficult to obtain in practice”.

<sup>47</sup> No original: “Researchers at the British Broadcasting Corporation observed that subjective judgments seemed to indicate a tolerance for a certain amount of bass rise of reverberation time. Investigating this in controlled tests, Spring and Randall found that bass rise to the extent indicated in Fig. 7-16 was tolerated by the test subjects for voice signals. Taking the 1 kHz value as reference, rises of 80% at 63 Hz and 20% at 125 Hz were found to be acceptable. These tests were made in a studio 22 × 16 × 11 feet (volume about 3,900 cu ft) for which the midband reverberation time was 0.4 second”.

### 6.7.2 Distância aos Altifalantes

A proximidade aos altifalantes é um fator importante, na medida em que é um fator que pode influenciar a consistência da resposta dos mesmos, no ponto de escuta.

Pode-se tecer um argumento a favor de criar alguma distância entre o ponto de escuta e os altifalantes, uma vez que: “[...] quando o técnico está a escutar no campo próximo, o que é ouvido depende da posição dos ouvidos em relação aos altifalantes em distância, assim como lateralmente e em altura. A frente de onda em propagação não está estabilizada [quando a distância aos altifalantes é demasiado próxima], e resulta num campo sonoro que não é desejável para realizar audição crítica [...]” (Toole, 2008, p. 366)<sup>48</sup>.

Este comportamento deve-se ao facto de que para estabilizar o comportamento do processo de soma das várias vias dos altifalantes, assim como estabilizar alterações tímbricas causadas por movimentos ligeiros de cabeça, é necessário que o ouvinte esteja no campo sonoro distante (*far field*). O campo sonoro distante “[...] começa a cerca de 3 a 10 vezes a distância da maior dimensão da fonte” (Toole, 2008, p. 366)<sup>49</sup>. A esta distância é cumprido, geralmente, o seguinte critério:

$$Distância^2 = \frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36}$$

Equação 15 - Distância mínima recomendada entre fonte sonora e ponto de escuta (Toole, 2008, p. 366).

Existe também a questão ligada aos sistemas de múltiplas vias, nos quais a reprodução da totalidade do espectro sonoro depende da utilização de múltiplos altifalantes, cujo conteúdo, após ser recombinação acusticamente reconstrói a totalidade do sinal. Esta separação dos sinais é conseguida através do um circuito de *crossover*. Num sistema de duas vias, por exemplo, uma das vias reproduz as frequências mais baixas, com o segundo elemento a reproduzir as frequências agudas. Uma reconstrução perfeita, quando os sinais são reconstruídos no espaço acústico necessita que todos os altifalantes tenham os seus centros acústicos à mesma distância do ponto de escuta. Assim sendo, quando a distância entre os altifalantes e o ponto de escuta é muito curta, qualquer movimento por parte do

<sup>48</sup> No original: “There is no doubt, then, that the recording engineer is listening in the acoustical near field, and that what is heard will depend on where the ears are located in distance, as well as laterally and in height. The propagating wavefront has not stabilized, and as a result this is not a desirable sound field in which to do precision listening [...]”.

<sup>49</sup> No original: “[...] the far field begins at a distance of 3 to 10 times the largest dimension of the sound source”.

ouvinte traduz-se numa maior diferença relativa de distância entre os vários elementos de reprodução e os ouvidos. Caso a distância aos altifalantes seja maior, os mesmos movimentos do ouvinte, traduzem-se numa menor diferença relativa na distância entre os centros acústicos dos vários elementos e o ponto de escuta.

Não só o processo de *crossover* e reconstrução do sinal beneficia com uma maior distância aos elementos de reprodução sonora. Movimentos laterais de cabeça, por parte do ouvinte, em relação ao plano dos altifalantes causam diferenças nos tempos de chegada entre os dois altifalantes ao ponto de escuta, o que causa *comb filtering*, ou seja, irregularidades na resposta em frequência. Caso a distância entre os altifalantes e o ponto de escuta seja menor, os movimentos laterais de cabeça do ouvinte resultam numa maior diferença relativa entre os altifalantes esquerdo e direito.

## 7. Princípios Técnicos de Acondicionamento Acústico

### 7.1 Absorção

#### 7.1.1 Materiais porosos

“Quando o som se propaga em espaços pequenos, tais como os poros de um absorvente poroso, perde-se energia. Este fenómeno deve-se sobretudo a efeitos da camada limite viscosa” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 156)<sup>50</sup>.

Além dos efeitos causados pela viscosidade, “[...] existirão também perdas causadas pela condução térmica do ar para o material absorvente; este fenómeno é mais significativo nas baixas frequências” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 156)<sup>51</sup>.

Os materiais absorventes atuam sobre a componente de velocidade das partículas, e não sobre a componente de pressão. Expandindo sobre os conceitos de zonas de velocidade e pressão, as ondas acústicas expandem-se em regiões de velocidade e pressão, que variam consoante o comprimento de onda. Frequências altas têm muitas variações por unidade de espaço, frequências baixas poucas variações por unidade de espaço. As zonas junto às fronteiras tendem a ser de velocidade zero e pressão máxima.

Uma vez que “[...] a velocidade das partículas perto de uma fronteira da sala é, normalmente, zero, as partes do material absorvente perto da fronteira uma quantidade insignificante de absorção. São as partes mais longe da superfície de fronteira que geralmente são as mais eficazes, e isto explica a necessidade de camadas profundas para absorver frequências baixas” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 157)<sup>52</sup>.

Uma forma muito simplificada de aferir o quão espesso tem de ser um material para funcionar nas frequências pretendidas é a seguinte: “[...] o material deve ter pelo menos um décimo o comprimento de onda de espessura, para causar absorção significativa, 2,25 vezes

---

<sup>50</sup> No original: “When sound propagates in small spaces, such as the interconnected pores of a porous absorber, energy is lost. This is primarily due to viscous boundary layer effects”.

<sup>51</sup> No original: “[...] there will be losses due to thermal conduction from the air to the absorber material; this is more significant at low frequency”.

<sup>52</sup> No original: “For the porous absorber to create significant absorption, it needs to be placed somewhere where the particle velocity is high. The particle velocity close to a room boundary is usually zero, and so the parts of the absorbent close to the boundary generate insignificant absorption. It is the parts of the absorbent furthest from the backing surface which are often most effective, and this is why thick layers of absorbent are needed to absorb low frequencies”.

o comprimento de onda para absorver todo o som incidente” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 157)<sup>53</sup>.

A absorção é a solução mais imediata para resolver os problemas acústicos de um espaço. Absorvendo a energia que de outra forma seria refletida, removem-se os efeitos de reflexões especulares, que podem causar efeitos de alteração do placo sonoro ou *comb filtering*.

No entanto a energia do som indireto pode ser tratada recorrendo a outros meios, tal como difusão, com diferentes efeitos no comportamento final da sala. Por exemplo: “Quando é utilizada absorção, a imagens que formam o palco sonoro são pontos no espaço. Quando são utilizados difusores [abordados no capítulo 7.2], as imagens assumem uma largura e profundidade mais natural. Qual o material correto, absorvente ou difusor, e, até certo ponto, uma questão de gosto pessoal” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 4)<sup>54</sup>.

### 7.1.2 Membranas de massa flexível

Membranas de massa flexível tratam se membranas “[...] com inércia considerável, mas pouca rigidez. Os exemplares utilizados na construção de estúdios têm normalmente entre 3 e 15 Kg/m<sup>2</sup>” (Newell, 2008, p. 686)<sup>55</sup>. Podem ser exemplo elementos betuminosos plastificados, ou vinil, de massa considerável, mas sempre flexíveis.

A construção de painéis de membrana flexível manifesta-se, na prática, em caixas rígidas, herméticas, com uma das faces a ser constituída pelos referidos materiais de massa flexível. A inclusão de material poroso dentro da caixa resultante (sem tocar na massa flexível), resulta num aumento da banda de frequências nas quais o painel é eficaz, e numa diminuição da absorção absoluta na frequência central de ressonância (e frequências adjacentes).

Segundo Art Noxon: “Existem dois tipos de membranas, sendo o primeiro a verdadeira massa flexível e a outra uma placa fina de madeira. A fórmula original é, na verdade, apenas apropriada para elementos de massa flexível,  $f = 170/\sqrt{m \times d}$ . O  $m$  refere-se ao peso da

---

<sup>53</sup> No original: “A rough figure sometimes quoted is that the material needs to be at least a tenth of a wavelength thick to cause significant absorption, 2 and a quarter of a wavelength to absorb all the incident sound”.

<sup>54</sup> No original: “When absorbers are used, the sonic images forming the soundstage are points in space. When diffusers are used, these images take on a more natural width and depth. Which material is correct, absorber or diffuser, is to a certain extent a matter of personal taste”.

<sup>55</sup> No original: “Limp membranes having considerable inertia but little stiffness. They are widely used for the mechanical damping of acoustic waves. Those used in studio construction are normally between 3 and 15 kg/m<sup>2</sup>”.

superfície (lb/sqft) da membrana que cobre a cavidade e  $d$  indica o quão profunda é essa mesa cavidade (polegadas)” (Noxon, 2014)<sup>56</sup>.

$$f = \frac{600}{\sqrt{m * d}}$$

Equação 16 - Equação da frequência de ressonância de painel de membrana de massa flexível. Adaptado do sistema imperial para o sistema métrico.

$f$  = Frequência de ressonância (Hz)

$m$  = Densidade superficial da membrana flexível (Kg/m<sup>2</sup>)

$d$  = Profundidade da cavidade (m)

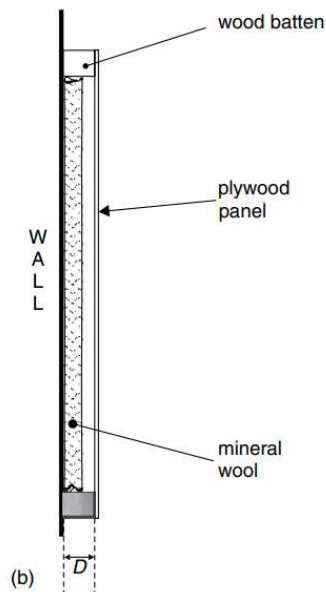


Figura 6 – Painel de membrana (massa flexível) (Newell, 2008, p. 107)

“Se o material tiver inércia suficiente, e for flexível, uma quantidade significativa de energia acústica pode ser transformada em calor dentro do material da membrana. O ar atrás funciona como uma mola de amortecimento” (Newell, 2008, p. 108)<sup>57</sup>.

<sup>56</sup> No original: “There are two kinds of membranes, one being a true limp mass such as MLV and the other being a thin sheet of wood. The original formula is actually only appropriate for true limp mass membranes,  $f = 170/\sqrt{m \times d}$ . The  $m$  term is surface weight (lb/sqft) of the membrane that covers the air cavity and  $d$  is how deep the air cavity is (inches)”.

<sup>57</sup> No original: “If the sheet is sufficiently ‘lossy’, and has a low bending stiffness, very significant amounts of acoustic energy can be turned into heat within the material of the sheet membrane. The air behind provides a damping spring”.

“As salas muito pequenas podem ser controladas, nas baixas frequências recorrendo a um conceito de “saco flexível” e paredes resilientes” (Newell, 2008, p. 167)<sup>58</sup>.

Este tipo de elementos foca-se no controlo de baixas frequências, uma vez que as membranas são refletoras às médias e altas frequências. A colocação de outro tipo de elementos, colocados em frente às membranas, sem interromper a sua vibração, é uma técnica que permite a conceção de soluções híbridas.

### 7.1.3 Ressonadores

#### 7.1.3.1 Ressonadores de Helmholtz

Contrariamente ao que acontece com materiais porosos, ou massas flexíveis, os ressoadores atuam sobre a componente de pressão das partículas, ou seja, a sua utilização beneficia com a proximidade às fronteiras do espaço. Também convém assinalar que, contrariamente aos materiais porosos, a profundidade dos painéis não é o fator de maior importância para a definição da gama de frequências nas estes são efetivos. Esta característica permite o tratamento de baixas frequências, mesmo quando o espaço físico disponível é mais reduzido.

*“Não existe nada de particularmente misterioso acerca de tais ressoadores; de facto estes surgem em várias formas, na vida do dia-a-dia. Soprar perpendicularmente ao gargalo de uma garrafa produz um tom na sua frequência de ressonância natural. O ar na cavidade funciona como uma mola, e massa do ar no gargalo reage a esse efeito de mola, formando um sistema ressoador, tal como um peso numa mola a vibrar no seu período natural”*  
(Everest, 2001, p. 215)<sup>59</sup>.

No caso dos painéis ressoadores de Helmholtz, estes tratam-se de caixas, seladas em todas as suas faces, excetuando a face frontal, que apresenta (exposta à sala) um ou mais orifícios ou fendas. “Neste tipo de ressoador de Helmholtz, as perdas por fricção devem-se

---

<sup>58</sup> No original: “Very small rooms can be controlled at low frequencies by a ‘limp bag’ concept and resilient walls”.

<sup>59</sup> No original: “There is nothing particularly mysterious about such resonators; in fact they pop up in various forms in everyday life. Blowing across the mouth of any bottle or jug produces a tone at its natural frequency of resonance. The air in the cavity is springy, and the mass of the air in the neck of the jug reacts with this springiness to form a resonating system, much as a weight on a spring vibrating at its natural period”.

às altas velocidades das partículas, que ocorrem nos orifícios, quando em ressonância” (Newell, 2008, p. 106)<sup>60</sup>.

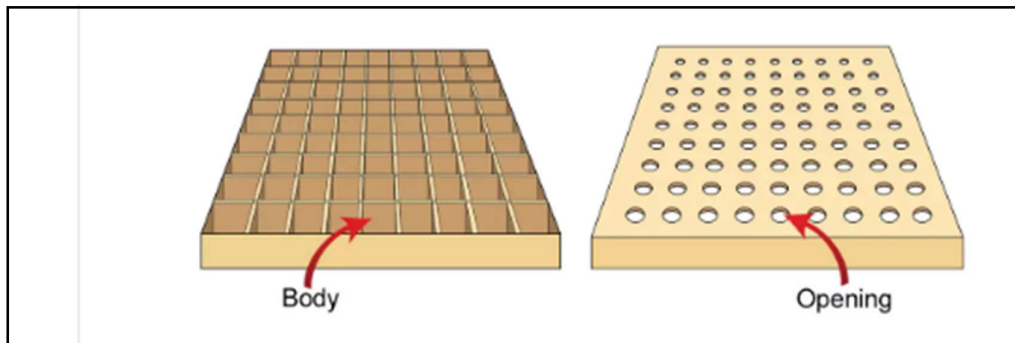


Figura 7 – Exemplo de composição de um ressonador de Helmholtz (Foley, 2014)

Os painéis ressoadores, uma vez que apresentam uma face rígida para o interior da sala, tornam-se refletores às médias e altas frequências. Mesmo quando exposto a energia acústica na gama de frequências no qual é mais eficaz, a absorção por parte de um ressonador de Helmholtz não é total. “O som que atinge um ressonador de Helmholtz, que não é absorvido, é re-irradiado [...], tendencialmente num padrão hemisférico. Isto significa que a energia não absorvida é difusa, e difusão é uma característica desejável num estúdio, ou sala de escuta” (Everest, 2001, p. 215)<sup>61</sup>.

Um painel ressonador de Helmholtz é construído tendo em vista uma frequência central de ressonância, à qual a absorção é máxima, com alguma eficácia nas frequências adjacentes (uma largura de banda inferior a 1/3 oitava).

Segundo Alton F. Everest, é possível aumentar a largura de banda, para tornar este tipo de painéis eficazes numa gama de frequências mais alargada, ainda que sempre centrada na frequência de ressonância. Para isso o autor recomenda duplicar a profundidade do painel, preenchendo metade com material poroso absorvente, ou seja, o espaço vazio continua igual, ao que se soma um espaço de igual volume preenchido com o referido material poroso. (Everest, 2001, p. 222).

<sup>60</sup> No original: “In the Helmholtz type of absorber, the frictional losses are due to the high particle velocities that occur in the openings at resonance”.

<sup>61</sup> No original: “The sound impinging on a Helmholtz resonator that is not absorbed is reradiated. As the sound is reradiated from the resonator opening, it tends to be radiated in a hemisphere. This means that unabsorbed energy is diffused, and diffusion of sound is a very desirable thing in a studio or listening room”.

“Ressoadores de natureza altamente afinada [...], absorvem energia muito importante, mas tendem a ressoar depois de o sinal de excitação parar e podem, portanto, re-irradiar som após uma excitação impulsional” (Newell, 2008, p. 127)<sup>62</sup>. O processo de alargamento da largura de banda efetiva de um painel ressoador pode também efetivo pode ser eficaz na redução deste fenómeno de ressonância.

A frequência de ressonância de um painel ressoador de Helmholtz perfurado pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$f_0 = 5,08 * \sqrt{\frac{\rho}{(d) + (0,8 + t)}}$$

Equação 17 - Equação para aferir a frequência central de ressonância de um ressoador de Helmholtz (painel perfurado) (Everest, 2001, p. 219) [adaptado para sistema métrico].

$f_0$  = Frequência de ressonância (Hz)

$\rho$  = Percentagem de superfície perfurada (%)

$d$  = Profundidade da caixa de ar (m)

$t$  = Diâmetro das perfurações (m)

Um painel ressoador de Helmholtz pode ser conseguido não só através de painéis perfurados, mas também com elementos que em vez de orifícios, utilizam fendas. Os princípios físicos são similares, no entanto, a fórmula que permite definir a frequência central de ressonância é diferente:

$$f_0 = 5,486 * \sqrt{\frac{\rho}{d + D}}$$

Equação 18 - Equação para aferir a frequência central de ressonância de um ressoador de Helmholtz (painel com fendas) (Everest, 2001, p. 224) [adaptado para o sistema métrico].

$f_0$  = Frequência de ressonância (Hz)

$\rho$  = Percentagem de perfuração (%)

$D$  = Profundidade da caixa de ar (m)

---

<sup>62</sup> No original: “Resonators of a highly tuned nature [...], absorb much energy rapidly, but tend to ring-on after the excitation signal has stopped, and hence may re-radiate sound after an impulsive excitation”.

$d$  = Largura das fendas (m)

### 7.1.3.2 Ressonadores de membrana

Os ressoadores de membrana não devem ser confundidos com os elementos de massa flexível. Os princípios de funcionamento são diferentes, assim como as fórmulas matemáticas que definem os dois tipos de soluções.

No caso dos ressoadores de membrana, “[...] quando feitos de madeira ou gesso cartonado, são as perdas dentro da estrutura celular ou das partículas constituintes dos materiais que convertem a energia acústica em calor, durante a vibração do painel” (Newell, 2008, p. 105)<sup>63</sup>.

Uma vez que, tal como os ressoadores de Helmholtz, os ressoadores de membrana atuam sobre a componente de pressão das partículas, são apropriados para o tratamento de frequências baixas, sem serem necessárias as dimensões requeridas para os materiais porosos para a referida gama de frequências. Este tipo de painéis é, no entanto, refletor às médias e altas frequências.

As características acima descritas tornem este tipo de soluções indicadas para lidar com frequências modais. Segundo Peter D’Antonio e Trevor Cox: “Os absorventes porosos não são efetivos nas frequências modais, porque a velocidade das partículas perto das paredes é, essencialmente, zero, para estes comprimentos de onda; e também o tratamento teria de ser tão profundo que se perderia uma quantidade significativa de espaço na sala. Este problema pode ser resolvido utilizando um elemento ressoado, tal como um desenho de membrana. Um absorvente de membrana converte flutuações altas de pressão sonora, geralmente encontradas junto das superfícies das paredes e esquinas, em absorção seletiva na banda de frequências modais” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 198).

Uma solução para tratar uma gama alargada de frequências problemática de frequências graves, num espaço com dimensões reduzidas é “[...] utilizar uma gama de módulos, cada um afinado para um terço de oitava diferente, para criar uma absorção mais generalizada. No entanto, uma quantidade considerável da fronteira da sala tem de estar com coberta com

---

<sup>63</sup> No original: “When the panels are made of wood or plasterboard, for example, it is the internal frictional losses within the cellular or particulate make-up of the materials which converts the acoustic energy into heat, during the panel vibration”.

o material, para conseguir absorção em banda larga às baixas frequências” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 199)<sup>64</sup>.

A fórmula que permite calcular a frequência de ressonância de um painel de membrana é a seguinte:

$$f_0 = \left(\frac{c}{2\pi}\right) * \left(\frac{\rho}{M * D}\right)$$

Equação 19 - Fórmula para determinar a frequência de ressonância em painel de membrana (Newell, 2008, p. 107).

$f_0$  = Frequência de ressonância (Hz)

$c$  = Velocidade do som no ar (m/seg.)

$\rho$  = Densidade do ar (Kg/m<sup>2</sup>) (cerca de 1.2)

$M$  = Massa do painel (Kg/m<sup>2</sup>)

$D$  = Profundidade da cavidade (m)

A introdução de material poroso dentro da cavidade de um painel ressoador de membrana diminui a eficácia junto da frequência central de ressonância, mas alarga a gama de frequências em que o mesmo é efetivo. O material poroso colocado dentro do painel não deverá estar em contacto com a membrana ressoadora.

## 7.2 Difusão

### 7.2.1 Difusores geométricos

O fenómeno acústico da difusão ocorre quando “[...] a onda incidente é dispersa numa gama de direções que não a da reflexão especular [...]. A difusão é uma forma de dispersão, mas, enquanto a dispersão tende a ser um fenómeno mais aleatório e muitas vezes dependente do ângulo de incidência do som numa superfície irregular, difusão eficaz tenta dispersar o som numa área, numa gama de frequências mais alargada e de forma mais uniforme na sua distribuição espacial. É também menos dependente do ângulo de incidência.

---

<sup>64</sup> No original: “An alternative solution is to use a range of modules, each tuned to work in a different one-third octave band for more general broadband absorption. But a considerable amount of the room boundary must be covered with absorbent to get broadband low frequency absorption”.

Por outras palavras, difusores tendem a dispersar energia de forma igual em todas as direções” (Newell, 2008, p. 112)<sup>65</sup>.

Uma das formas mais básicas conseguir difusão é através da utilização de superfícies curvas e/ou irregulares, colocadas junto às fronteiras do espaço.

O recurso mais básico passa pela utilização de sólidos geométricos. “Aplicados corretamente, triângulos e pirâmides podem formar difusores de entalhe, com os quais a energia em certas direções é muito reduzida. Superfícies curvas são as escolhas óbvias e, universalmente, as mais utilizadas; de facto, uma simples superfície esférica, ou cilíndrica é muito efetiva a dispersar espacialmente as reflexões, mas este não é o único ingrediente de um bom difusor” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers* 2nd Edition, 2009, p. 331)<sup>66</sup>.

A análise da performance de difusão das superfícies é um assunto complexo, assim que uma abordagem extensiva do mesmo está além do âmbito deste documento, no entanto, será dedicada uma porção do texto a explicar os princípios básicos que regem o funcionamento de algumas superfícies utilizadas para obter difusão acústica.

Começando por descrever a difusão baseada na utilização de geometria, é necessário estabelecer que mesmo um painel plano afastado das superfícies fronteira do espaço, pode resultar em difusão de parte gama de frequências incidentes.

“Nas frequências muito altas, quando o comprimento de onda é pequeno comparado com a dimensão da superfície, o resultado é uma reflexão especular forte. É útil definir a frequência de corte para um plano refletor e a frequência de transição entre reflexão especular e difração significativa. [...] a frequência de transição pode ser considerada no ponto de -3dB do filtro passa altas [filtro este criado pela própria superfície plano, quando no caminho da energia acústica]. Esta frequência dá uma ideia aproximada da frequência, abaixo da qual o som é disperso em todas as direções e acima da qual se produzem reflexões

---

<sup>65</sup> No original: “[...] the incident wave is scattered in a wide range of directions other than the specular direction, where, like light, the angle of incidence equals the angle of reflexion, as shown in Figure 4.32(a). Diffusion is a form of scattering, but, where scattering tends to be more random in its effect and is often dependent upon the angle of incidence of the sound upon an irregular surface, effective diffusion aims to scatter the sound over a broader area, and a broader range of frequencies in a more spacially uniform manner. It is also less dependent upon the angle of incidence. In other words they are intended to scatter the energy equally in all directions”.

<sup>66</sup> No original: “Applied correctly, triangles and pyramids can form notch diffusers, where the energy in certain directions is much reduced. Curved surfaces are more obviously diffusers and more universally used; indeed a simple sphere or cylinder is very effective at spatially spreading reflections, but this is not the only ingredient needed for a good diffuser”.

especulares” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 332)<sup>67</sup>.

O tipo de formas geométricas mais utilizadas para criar difusão são pirâmides e superfícies convexas (por exemplo, semicilindros).

“Os triângulos e pirâmides podem demonstrar uma larga variedade de comportamentos, desde um bom difusor, até uma superfície que gera reflexões especulares, dependendo da geometria” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 339)<sup>68</sup>.

O rendimento deste tipo de superfícies enquanto difusores depende, não só do tamanho das estruturas, mas também do ângulo em relação à parede. À medida que este ângulo varia “[...] a característica da reflexão varia entre um corte na resposta em frequência, reflexão difusa e resposta especular” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 340)<sup>69</sup>.

“Quando estes dispositivos se tornam demasiado estreitos [...] é criada uma estrutura ressoadora” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 341)<sup>70</sup>. Estas ressonâncias podem funcionar como formas de absorção de energia acústica, com um funcionamento similar a um painel ressoador.

Superfícies derivadas de esferas e cilindros são bastante eficazes na difusão de energia acústica. Utilizando o cilindro como exemplo: “Um único cilindro é uma forma eficiente de dispersar som ao longo de um plano e uma esfera é eficiente a dispersar numa hemisfera. Estas geram respostas similares ao comportamento de radiação uma linha e de uma fonte pontual” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 344)<sup>71</sup>.

---

<sup>67</sup> No original: “At very high frequencies, when the wavelength is small compared to the surface size, strong specular reflection results. It is useful to define the cut-off frequency for the plane reflector and the transition frequency between specular reflection and significant diffraction. To continue with the filter analogy, the transition frequency can be taken as the -3 dB point of the high pass filter.1-4 This gives an approximate frequency below which the panel most effectively scatters sound in all directions and above which the panel produces more specular-like reflections”.

<sup>68</sup> No original: “Triangles and pyramids can display a wide variety of scattering behaviour from a good diffuser to a surface that generates specular reflections, depending on the geometry”.

<sup>69</sup> No original: “[...] the reflection characteristic shifts between a notch response, diffuse reflection and a specular response”.

<sup>70</sup> No original: “Once these devices become very narrow and a great number of reflections occur then a resonant structure has been formed”.

<sup>71</sup> No original: “A single cylinder is an efficient disperser of sound in one plane and a single sphere is efficient at dispersing hemispherically. They generate responses that mimic the behaviour of radiating line and point sources”.

Aparentemente, uma superfície cilíndrica, ou esférica seria o difusor ideal, mas tal não é o caso. “Um único cilindro por si só é, geralmente, pouco útil. [...] Uma solução é utilizar múltiplos cilindros. A resposta do conjunto varia segundo a forma como estas são distribuídos, e a resposta perfeita de um cilindro singular torna-se menos importante” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 345)<sup>72</sup>.

“O som refletido [por superfícies cilíndricas ou esféricas] é atenuado por causa da dispersão espacial, mas a assinatura temporal permanece muito similar aquela criada por uma superfície plana. Consequentemente, cilindros grandes e semicilindros podem criar *comb filters* similares aqueles criados por superfícies planas [...]” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 346).

Contrariamente às superfícies convexas, as superfícies côncavas apresentam dificuldades que tornam a sua utilização enquanto ferramentas de difusão acústica pouco prática. “Utilizadas de forma errada estas levam a efeitos de concentração de energia, que conduzem à presença de muito energia refletida em lugares particulares. Isto pode levar a uma distribuição inconstante da energia na sala, assim como ecos que causam alterações no timbre” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 343)<sup>73</sup>. No caso de a presença de superfícies convexas não poder ser evitado, são necessários alguns cuidados. “Se o foco [da energia] for bastante acima da audiência, então uma superfície côncava pode originar dispersão, mas não tão bem como outras superfícies. Por outro lado, se o ponto de foco for abaixo da audiência, a concentração de energia pode ser inaudível, mas a concentração de energia não lateral pode não ser desejável” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 344)<sup>74</sup>.

Além das formas baseadas em sólidos geométricos, “É também possível utilizar programas de computador para procurar as melhores formas para gerar dispersão” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 353)<sup>75</sup>.

---

<sup>72</sup> No original: “A single cylinder on its own is rarely of much use. [...] One solution is to use multiple cylinders in an array. Then the response of the cylinder array is dominated by how the cylinders are arranged, and the perfect response from a single cylinder becomes a secondary and less important issue”.

<sup>73</sup> No original: “Used wrongly they lead to focussing effects that generate strong reflected energy in certain places. This can lead to uneven energy distribution across the room as well as echoes and coloration of timbre”.

<sup>74</sup> No original: “If the focus is well above the audience, then the concave surface can paradoxically cause dispersion, but not as well as many other surface shapes. On the other hand, if the focus is below the audience, although the focussing may not be heard, the concentration of non-lateral sound from above may not be desirable for other acoustic reasons”.

<sup>75</sup> No original: “It is also possible to get a computer to search for the best curved shape to generate dispersion”.

Por vezes, a utilização de superfícies curvas otimizadas pode ser benéfico, na medida em que permitem solucionar problemas acústicos com necessidade de elementos de difusão, aliado a necessidades arquitetónicas e decorativas.

### 7.2.2 Difusores de Schroeder 2D

“O difusor de Schroeder oferece a possibilidade de criar a difusão *ideal*, requerendo apenas um conjunto simples de equações para o seu desenho” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 289)<sup>76</sup>.

Um difusor de Schroeder pode ser concebido para dispersar energia em 2 ou 3 dimensões, chamados respetivamente de difusores 2D e difusores 3D. Um difusor 2D tem o seu padrão de dispersão ao longo de um plano horizontal perpendicular ao próprio, enquanto um difusor 3D cria um padrão de semiesfera.

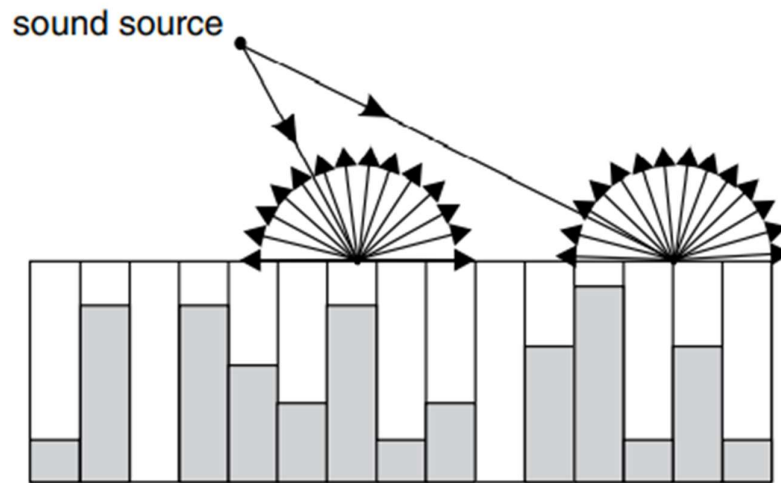


Figura 8 – Esquema exemplificativo do funcionamento de um difusor 2D (Newell, 2008, p. 111) [adaptado]

No caso de um difusor 2D, este “[...] consiste de uma série de cavidades com a mesma largura e profundidades diferentes. As cavidades são separadas por elementos estreitos. A profundidade das cavidades é determinada por uma sequência numérica [...]” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 289)<sup>77</sup>. O resultado da interação da energia acústica com este tipo de difusores é que “Todas as ondas têm a mesma

<sup>76</sup> No original: “The Schroeder diffuser offered the possibility of producing ‘optimum’ diffusion, and also required only a small number of simple design equations”.

<sup>77</sup> No original: “They consist of a series of wells of the same width and different depths. The wells are separated by thin fins. The depths of the wells are determined by a mathematical number sequence [...]”.

magnitude, mas fase diferente, porque esta muda devida ao tempo que a energia demora a percorrer cada uma das diferentes cavidades” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 290)<sup>78</sup>.

Existem várias sequências numéricas que podem ser utilizadas para a conceção de um difusor, sendo que uma das mais populares é a sequência do resto quadrático. “Schroeder demonstrou que escolhendo a sequência do resto quadrático, a energia refletida e cada lóbulo de difração é igual” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 290)<sup>79</sup>.

*“A sequência do resto quadrático é a sequência matemática mais popular para formar as profundidades das cavidades. O número da sequência para a cavidade n, sn, é dado por:*

$$sn = n^2 \text{ modulo } N$$

Equação 20 - [Equação da sequência do resto quadrático].

*[...] onde modulo indica o número de resto não negativo mais baixo [...]. N é o número gerador que neste caso é também um número primo e o número de cavidades por período”* (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 291)<sup>80</sup>.

O limite superior para a difusão é igual à frequência cujo comprimento de onda seja igual a metade da largura das cavidades, como pode ser extrapolado pela seguinte equação:

$$w = \lambda min/2$$

Equação 21 – Equação para a determinação da frequência máxima de difusão num difusor de Schroeder (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 291).

---

<sup>78</sup> No original: “All these waves have the same magnitude but a different phase because of the phase change due to the time it takes the sound to go down and up each well”.

<sup>79</sup> No original: “Schroeder showed that by choosing a quadratic residue sequence, the energy reflected into each diffraction lobe direction is the same”.

<sup>80</sup> No original: “A quadratic residue sequence is the most popular mathematical sequence used to form the well depths. The sequence number for the nth well, sn, is given by:

$sn = n^2 \text{ modulo } N$

[...] where modulo indicates the least non-negative remainder and is often written as mod for short. N is the number generator which in this case is also a prime and the number of wells per period”.

$w$  = Largura das cavidades (m)

$\lambda_{min}$  = Frequência máxima de difusão (Hz)

A definição da profundidade das várias cavidades é da pela seguinte equação:

$$d_n = \frac{S_n \cdot \lambda_0}{2N}$$

Equação 22 - Equação para a definição da profundidade das cavidades em difusor de Schroeder (Cox & D'Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers* 2nd Edition, 2009, p. 292).

$d_n$  = Profundidade da cavidade (m)

$s_n$  = Número da sequência

$\lambda_0$  = Frequência mínima de difusão (Hz)

$N$  = Número raiz da sequência

### 7.2.3 Difusores de Schroeder 3D

Os difusores de Schroeder 3D dispersam energia ao longo de uma semiesfera e não apenas um plano. Uma das utilizações mais comuns deste tipo de difusores é a sua colocação no teto.

Os mesmos princípios básicos associados à criação de difusores 2D aplica-se aos difusores 3D, no entanto existem algumas diferenças. É necessária a escolha de um número primo que será a raiz da sequência, no entanto, esta sequência é distribuída ao longo de dois eixos, assim como uma profundidade teórica para o painel.

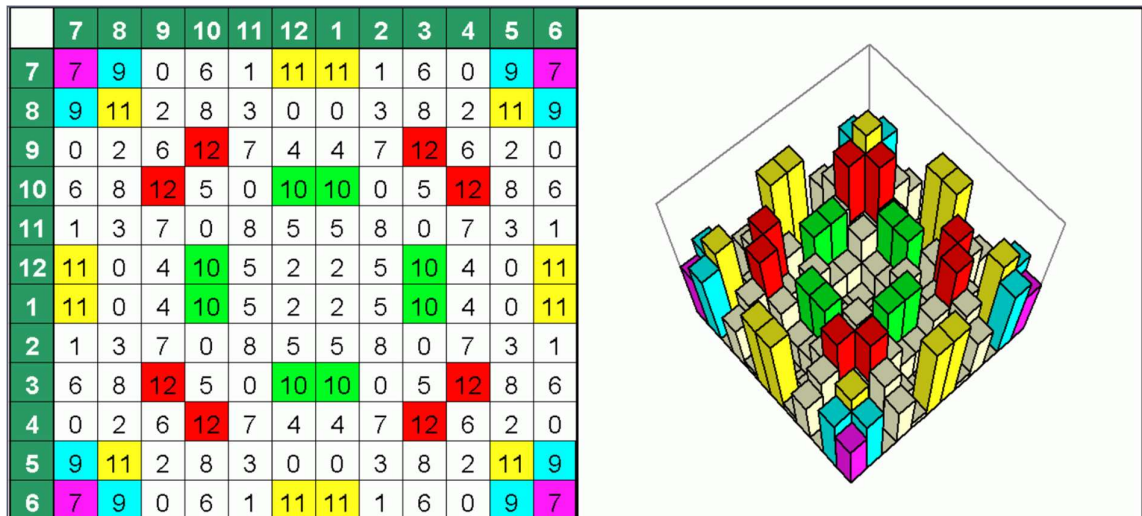


Figura 9 - Exemplo de estrutura de difusor de Schroeder 3D (Schuhmacher, 2007)

Como é possível verificar pela Figura 9, a sequência dispensa o valor inicial de 0. Além disso, esta deve ser redistribuída, de forma a resultar num conjunto simétrico nas duas dimensões. O cálculo dos valores de sequência é conseguido com a Equação 23:

$$S_{n,m} = (n^2 + m^2) \text{ modulo } N$$

Equação 23 - Equação para aferição dos números de sequência em difusor de Schroeder 3D (Cox & D'Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 316).

$n^2$  = Número de sequência no eixo  $x$

$m^2$  = Número de sequência no eixo  $y$

As limitações da gama de frequência às quais um difusor 3D é eficaz são as mesmas que um difusor 2D, sendo estas as dimensões de largura total do painel, largura dos elementos individuais e profundidade teórica dos mesmos.

## 8. Importância das Reflexões

Em capítulos anteriores, foi descrita a importância do controlo das reflexões, tendo em conta a possível influência das mesmas na resposta acústica do espaço, com efeitos negativos possíveis tais como alterações na perceção do palco sonora e alterações na perceção da resposta em frequência.

No entanto, a completa ausência de reflexões, além de ser uma experiência pouco natural, pode também conduzir a novos problemas. Consideremos a seguinte experiência, proposta por Floyd Toole:

*“Coloque ruído rosa monofónico em ambos os altifalantes. Quando sentado no sweet spot simétrico, isto deve criar uma imagem fantasma bem definida, à meia distância entre os altifalantes. [...] Se for o caso, considere inclinar-se ligeiramente para a esquerda e para a direita, em relação ao eixo simétrico. O timbre do ruído muda de forma óbvio, o tanto mais quanto maior a proximidade aos altifalantes”* (Toole, 2008, p. 151)<sup>81</sup>.

Apenas no ponto do sweet spot cuja distância é exatamente igual em relação aos monitores esquerdo e direito, é a soma dos dois sinais (quando existe conteúdo coerente entre as duas fontes) desprovida de cancelamentos, produzidos por fenómenos de *comb filtering*. Uma vez que é impossível a manutenção dos ouvidos num ponto preciso, desprovidos de qualquer movimento, ao que se soma o facto de que “A diferença temporal entre os dois ouvidos para um som cuja fonte está a 30° de distância do eixo frontal, é de cerca de 0.27 ms para uma cabeça de dimensões médias. A interferência acústica destrutiva irá ocorrer na frequência cujo valor referido corresponde a meio período: 1.85 KHz. Não será um cancelamento perfeito, pois existe uma pequena perda de energia com a distância viajada e um efeito significativo de difração” (Toole, 2008, p. 153)<sup>82</sup>.

Este comportamento é uma característica intrínseca aos sistemas estereofónicos de dois canais, o formato de produção musical dominante à data da composição deste documento. Uma vez que não é praticável que um individuo mantenha a distância aos dois altifalantes inalterada por períodos superiores a alguns minutos, a frequência afetada pelo fenómeno de cancelamento descrito por Floyd Toole irá também sofrer oscilações.

Segundo Floyd Toole este comportamento será mais exacerbado o quanto mais a sala for desprovida de reflexões:

---

<sup>81</sup> No original: “On the matter of the sound quality of the center phantom image in stereo, I recommend a simple experiment: Arrange for monophonic pink noise to be delivered to both loudspeakers. When seated in the symmetrical sweet spot, this should create a well-defined center image midway between the loudspeakers. [...] If it does, consider what you hear as you lean very slightly to the left and to the right of the symmetrical axis. The timbre of the noise changes and more obviously the closer you sit to the loudspeakers”.

<sup>82</sup> No original: “. The time differential between the ears for a sound source at 30° away from the frontal axis is about 0.27 ms for an average head. A destructive acoustical interference will occur at the frequency at which this is one-half of a period: 1.85 kHz. It won't be a perfect cancellation because of a tiny propagation loss and a significant diffraction effect”.

*“Este é a situação encontrada em muitas salas de controlo e home theaters personalizados, onde é colocado cuidado especial na atenuação das primeiras reflexões. Em salas com reflexões normais, as reflexões que chegam de outras direções em momentos diferentes irão ajudar a preencher o buraco espectral, uma vez não irá existir interferência acústica associada a estes sons”* (Toole, 2008, p. 154)<sup>83</sup>

Além da manutenção de alguma energia proveniente de reflexões, outra solução apontada é a utilização de um terceiro altifalante, um canal central. Esta solução pode ser contemplada em sistemas tais como *Surround 5.1*, ou *7.1*, entre outros, no entanto, no formato dominante de estereofonia de dois canais, tal não é possível. Resta apenas lidar com o problema mantendo algum grau de energia refletida na sala, no entanto estas reflexões podem resultar em efeitos adversos descritos em capítulos anteriores, tais como *comb filters*, ou alteração da perceção do campo sonoro.

Esta questão também vem demonstrar que existe algum grau de subjetividade na abordagem ao acondicionamento acústico de espaços, sendo impossível encontrar soluções perfeitas. A experimentação com diferentes tipos de solução e a habituação às mesmas é essencial para encontrar preferências.

---

<sup>83</sup> No original: “This is the situation in many recording control rooms and custom home theaters, where special care is taken to attenuate early reflections. In normally reflective rooms, reflections that arrive from other directions at different times will help to fill in the spectral hole because there will be no acoustical interference associated with those sounds”.

## 9. Filosofias de desenhos de salas

### 9.1 *Non-Enviroment*

O conceito da tipologia de salas *Non-Enviroment* passa pela eliminação quase total da influência do espaço no campo sonoro criado pelos altifalantes. “Introduzindo mais absorção na sala e reduzindo a quantidade de reflexões, o rácio entre som direto e som refletido aumenta, o que resulta em níveis mais baixos de coloração” (Newell, 2008, p. 355)<sup>84</sup>.

Este tipo de salas resulta na utilização de bastante espaço útil para a instalação de elementos acústicos que permitam o controlo, através de absorção, de todo o espectro sonoro, sendo estes elementos, geralmente instalados em três das quatro paredes (considerando um espaço retangular) e no teto. A “parede frontal é refletora possível, [...] e o chão é duro” (Newell, 2008, p. 355)<sup>85</sup>. “Com os monitores colocados dentro da parede frontal, esta funciona como uma extensão do *baffle*, ou seja, a parede não pode refletir som dos altifalantes, uma vez que estes estão a radiar a partir da mesma” (Newell, 2008, p. 355)<sup>86</sup>.

Este tipo de montagem dos altifalantes, quando bem conseguida, elimina os efeitos de difração causados pela interação das ondas sonoras com as arestas que delimitam os limites físicas da caixa que contém os altifalantes. Possíveis interferências causadas pela reflexão de energia pela parede traseira aos altifalantes são também anuladas. Uma vez que as restantes paredes e o teto são, idealmente, totalmente absorventes, restam apenas interferências causadas pelas reflexões do chão.

Este tipo de salas pode, teoricamente, estar mais sujeita aos fenómenos descritos no capítulo 8, ou seja, a falta de reflexões torna a perceção acústica da performance dos altifalantes bastante dependente da posição ocupada pelo ouvinte no espaço, tendo em conta que qualquer cancelamento causado, não por reflexões, mas por diferenças na distância entre um ponto de escuta e os altifalantes esquerdo e direito. Sem reflexões para preencher estes buracos espectrais, a precisão deste tipo de salas pode tornar óbvias as limitações da estereofonia de dois canais.

---

<sup>84</sup> No original: “By introducing more absorption into the room and reducing the quantities of reflexions, the ratio of the direct sound to the reflected sound is increased, and hence the levels of colouration are reduced”.

<sup>85</sup> No original: “[...] front wall maximally reflective, and, other than for a hard floor, made all the other room surfaces as absorbent as possible [...]”.

<sup>86</sup> No original: “With the monitors set into the front wall it would act as a baffle extension, but it could not reflect sound from the loudspeakers because they were radiating away from it”.

## 9.2 *Reflection Free Zone* (RFZ)

O conceito das salas de tipologia *Reflection Free Zone* baseia-se na ideia de que deve ser criada uma zona semi-anecoica no ponto de escuta, ou seja, esta zona deve estar livre de reflexões que causem colorações, ou alterações na perceção do palco sonoro apresentado pelos altifalantes.

*“Para desenhar uma sala de controlo com uma zona livre de reflexões (RFZ™) o engenheiro deve lidar com a matemática das imagens das fontes. A contribuição de uma reflexão vinda de uma superfície pode ser considerada uma fonte virtual [...]. Com superfícies inclinadas em três dimensões, é difícil visualizar todas as fontes virtuais, mas é necessário estabelecer as fronteiras da zona livre de reflexões” (Everest, 2001, p. 439)<sup>87</sup>.*

O estabelecimento de uma zona livre de reflexões pode ser conseguido tomando partido da geometria das fronteiras da sala, no entanto, a “[...] forma mais óbvia de conseguir uma condição anecoica é através de absorção [...]” (Everest, 2001, p. 439)<sup>88</sup>; são necessários mais recursos além da geometria da sala para conseguir controlar todas as reflexões.

Como é possível verificar na Figura 10, a parede do fundo da sala (nas costas do ponto de escuta) tem de receber atenção especial, uma vez que a inclinação da parede dificilmente será suficiente para controlar as reflexões provenientes da mesma. No exemplo apresentado, é utilizado o recurso à difusão.

A utilização de painéis acústicos é inevitável, sendo que a utilização de absorção, difusão ou ressoadores depende dos problemas cuja geometria da sala não ajude a resolver e também dos objetivos a que o/s criador/es do espaço. Por exemplo a necessidade de manter tempos de reverberação curtos irá incentivar a utilização de elementos absorventes; a manutenção de tempos de reverberação mais longos irá motivar a utilização de difusão.

Convém ainda acrescentar que uma *Reflection Free Zone* pode ser conseguida recorrendo apenas a elementos de absorção e difusão, em salas retangulares, apesar de não ser esse o conceito original do RFZ™.

---

<sup>87</sup> No original: “To design a control room with a reflection-free zone (RFZ™) the engineer must deal with the mathematics of image sources. The contribution of a reflection from a surface can be considered as coming from a virtual source on the other side of the reflecting plane on a line perpendicular to that plane through the observation point and at a distance from the plane equal to that to the observation point. With splayed surfaces in three dimensions, it is difficult to visualize all the virtual sources, but this is necessary to establish the boundaries of the reflection-free zone”.

<sup>88</sup> No original: “The most obvious way to achieve an anechoic condition is through absorption [...]”.

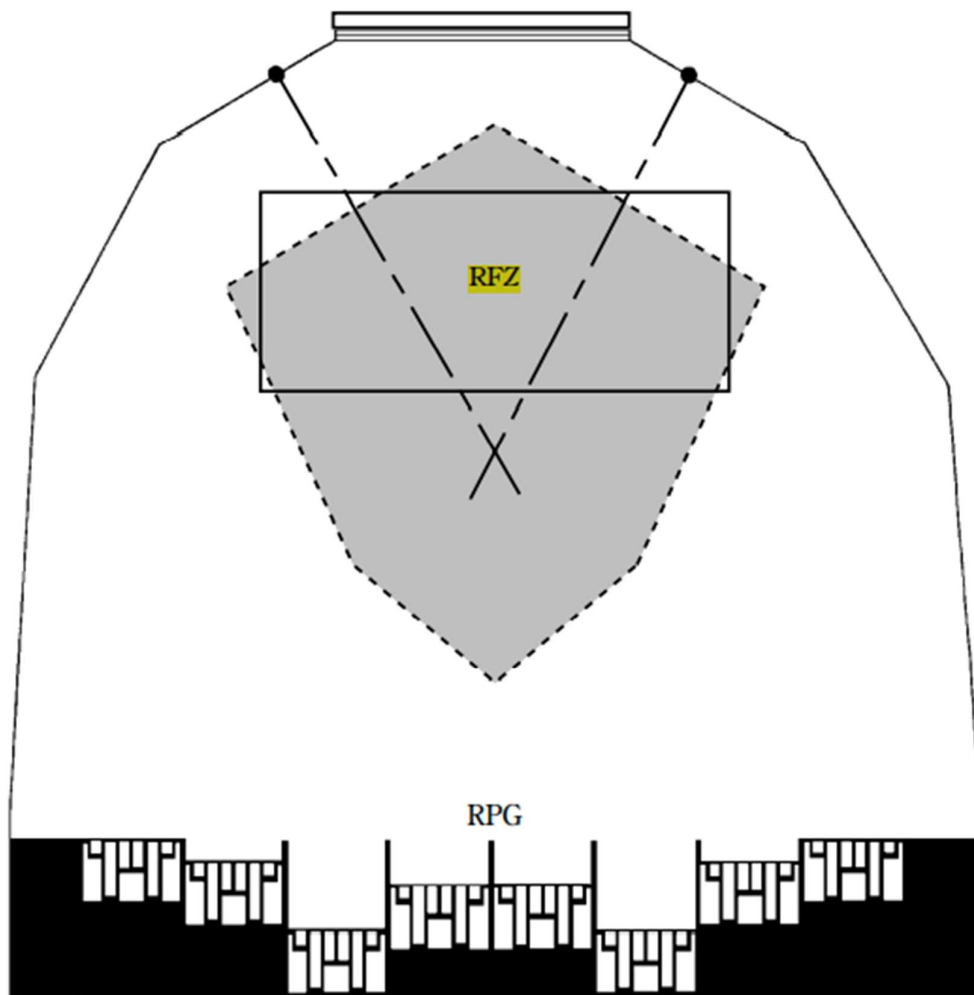


Figura 10 - Esquema de uma sala da tipologia *Reflectio Free Zone* (RFZ™) (Everest, 2001, p. 440)

### 9.3 *Live End – Dead End*

*“As salas LEDE [Live End Dead End] baseiam-se em alguns princípios psicoacústicos, tais como o efeito de Haas e aspetos direcionais da audição humana. O efeito de Haas, também conhecido como efeito de precedência, manifestando-se quando dois sons curtos são ouvidos numa rápida sucessão. O sistema de audição humana suprime o segundo som e dá precedência ao primeiro. [...] Haas afirmou que dentro de um intervalo entre 1-40 ms, ou perto disso; onde o efeito está em ação, o segundo som que chega necessitaria de*

*ser pelo menos 10 dB mais alto do que o primeiro, para ser percebido como de forma separada e igual em pressão sonora” (Newell, 2008, p. 353)<sup>89</sup>.*

O conceito LEDE é conseguido com “a metade frontal da sala [a metade onde se situam os altifalantes], é maioritariamente absorvente. A sua geometria é desenhada de forma a criar uma zona livre de reflexões. [...] A metade traseira das salas cria reverberação difusa, o que permite a perceção de “vida” na sala [...]” (Newell, 2008, p. 354)<sup>90</sup>. Este formato permite que o ouvinte receba, no *sweet spot* de escuta o som produzido pelos altifalantes sem a interferência de reflexões especulares, recebendo energia reverberante difusa (sem reflexões discretas que provoquem somas e cancelamentos que afetam de forma inequívoca a resposta em magnitude da sala no ponto de escuta), proveniente da parede de trás. O tempo que a energia demora a viajar entre os altifalantes e a parede traseira, de volta ao ponto de escuta, cria um intervalo entre a chegada do impulso original e as reflexões, que permite privilegiar o som direto dos altifalantes. As dimensões da sala têm de ser tais que as reflexões da parede traseira cheguem ao *sweet spot* dentro de um intervalo de tempo que seja favorável ao comportamento acústico da sala. Tempos de muito longos podem ser interpretados como reflexões discretas. Tempos curtos podem resultar num parâmetro de ITDG demasiado baixo, não sendo privilegiado o som direto dos altifalantes.

Este tipo de sala, não incluindo a mesma quantidade de elementos direcionados ao controlo de baixas frequências pode estar sujeita a uma maior interferência da região modal. “Os modos da sala podem, e devem, ser minimizados, apesar de não poderem ser totalmente eliminados. Os efeitos modais podem ser tornados mais toleráveis colocando as zonas de escuta em espaços livres de atividade modal” (Newell, 2008, p. 441)<sup>91</sup>.

---

<sup>89</sup> No original: “The LEDE rooms rely on some psychoacoustic criteria such as the Haas effect and the directional aspects of human hearing. The Haas effect, otherwise known as the precedence effect, manifests itself when two short sounds are heard in rapid succession. The human auditory system appears to suppress the second sound and give precedence to the first. [...] Haas stated that within the 1–40 ms, or thereabouts, time zone, where the effect is in operation, the second sound to arrive would need to be at least 10 dB higher in level than the first sound if it were to be heard to be separate and equal in level”.

<sup>90</sup> No original: “[...] where the front half of the room is largely absorbent. Its geometry is designed to produce a zone free of early reflexions around the principal listening position. [...] The rear half of the rooms are made diffusively reverberant, allowing the perception of a room ‘life’ [...]”.

<sup>91</sup> No original: “Room modes can, and should, be minimised, though they cannot be completely eradicated. Modal effects can also be made more tolerable by arranging the principal listening areas to be free of modes”.

A manutenção de energia reverberante por via de “energia sonora difusa nas médias e altas frequências, [...] cria a decaimento linear, o que conduz a uma sala mais neutra” (Newell, 2008, p. 441)<sup>92</sup>.

Uma vez que as salas LEDE não têm a mesma quantidade de materiais dedicados à absorção de frequências graves, quando comparadas, por exemplo, com uma salas *Non Enviroment*, o que resulta em tempos de decaimento mais longos nas baixas frequências; a manutenção de energia reverberante nas médias e altas frequências ajuda a equilibrar os tempos de reverberação ao longo do espectro. A aplicação de materiais dedicados à difusão de baixas frequências é pouco viável, uma vez que seriam necessários elementos de grandes dimensões para serem efetivos.

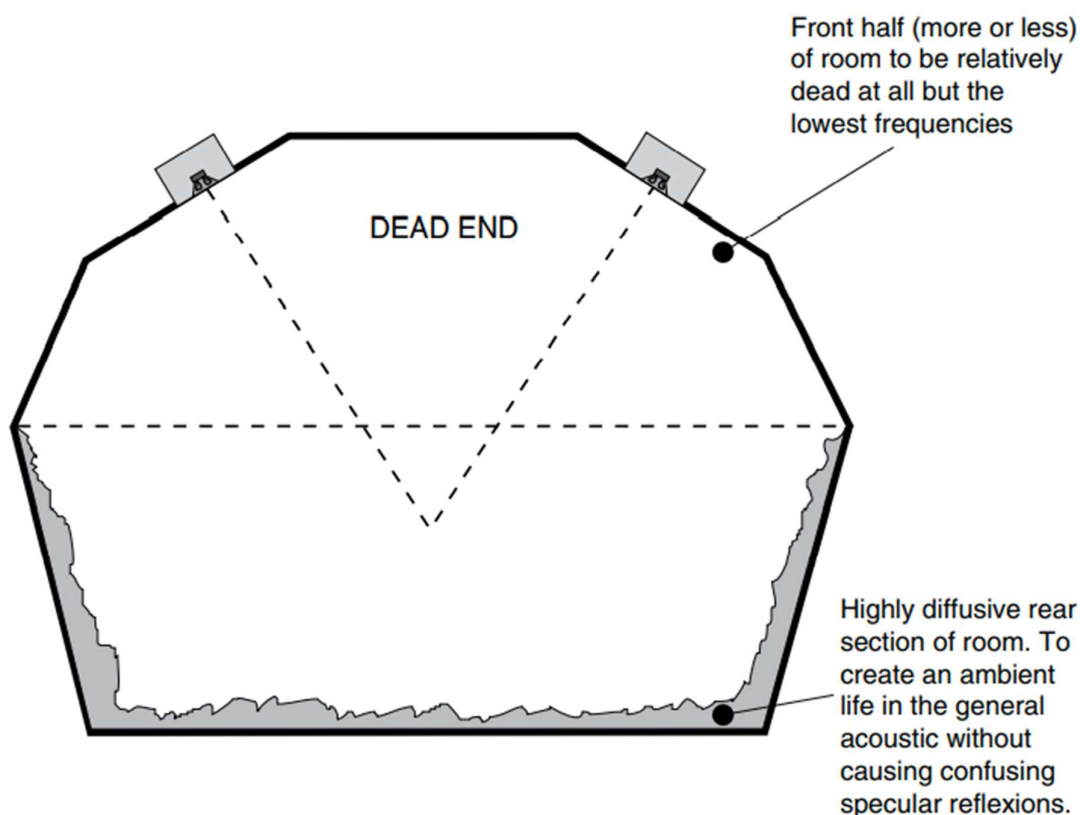


Figura 11 - Esquema de sala de tipologia LEDE. (Newell, 2008, p. 354) Tradução 1: “A metade frontal (aproximadamente) da sala é relativamente seca em todas as frequências, excetuando a mais graves”<sup>93</sup>. Tradução 2: “Seção traseira da sala altamente difusa. Para criar alguma vida na acústica geral, sem reflexões especulares confusas”<sup>94</sup>”

<sup>92</sup> No original: “The secondary effect of the diffuse high-end and mid sound energy that remains in the room is that it creates an even decay, producing a more neutral room”.

<sup>93</sup> No original: “Front half (more or less) of room to be relatively dead at all but the lowest frequencies”.

<sup>94</sup> No original: “Highly diffusive rear section of room. To create an ambient life in the general acoustic without causing confusing specular reflexions”.

## 10. Ruído de Fundo

### 10.1 Isolamento

As componentes de isolamento e ruído de fundo, não sendo um foco neste estudo, são bastante importantes e influentes na capacidade de um espaço oferecer boas condições de trabalho, no contexto de atividades de produção e pós-produção áudio. O ruído de fundo, é, em grande parte ditado pelo meio envolvente ao espaço em estudo, ou seja, um estúdio no centro de uma cidade, estará tendencialmente exposto a níveis de ruído mais altos do que um estúdio localizado numa zona rural. A componente de isolamento pode ser utilizada para garantir níveis de ruído aceitáveis, mesmo em zonas ruidosas. Um maior índice de isolamento significa que menos da energia acústica proveniente do exterior consegue penetrar as fronteiras do espaço. O isolamento também pode funcionar para isolar som proveniente do interior do espaço, para que este não contamine locais próximos (por exemplo, um estúdio localizado numa área residencial deverá não só garantir que o ruído dos moradores não interfere nos trabalhos efetuados no espaço, como também que os trabalhos não sejam causa de incómodo para os moradores).

O comportamento dos materiais, no que toca ao seu índice de isolamento, depende da gama de frequências em análise. Regra geral, frequências baixas são mais difíceis de isolar.

Espaços com índices altos de isolamento recorrem, normalmente a paredes exteriores sólidas e pesadas, o que resulta numa manutenção de grande parte da energia acústica originária de dentro do espaço em questão dentro do mesmo. Este comportamento conduz a que as frequências modais sejam bastantes marcadas, uma vez que não existem pontos de fuga para a energia, de forma a esta não se redistribuir no espaço. Soluções do tipo “caixa dentro de caixa” estão também geralmente associadas a índices altos de isolamento. Neste tipo de construções, além das paredes exteriores, é construído um conjunto de paredes, chão e teto internos, existindo uma massa de ar entre as duas caixas, que serve de barreira à transmissão de energia acústica entre as duas superfícies. Esta caixa interna pode também servir como meio de controlo das baixas frequências.

O aumento do índice de isolamento tem custos altos associados.

Convém assinalar que o ruído de fundo é um fator muito importante para a caracterização da performance de um espaço, pois trata-se de um fator que limita a gama dinâmica com a qual o espaço permite trabalhar. Por exemplo, caso os níveis de ruído de fundo sejam altos, detalhes no conteúdo sonoro sob análise podem ser perdidos. Em casos particulares, como a pós-produção de música erudita, que geralmente apresenta uma elevada

gama dinâmica, ou projetos associados à produção de bandas sonoras para cinema, exigem-se níveis de ruído de fundo baixos, geralmente possíveis apenas em espaços profissionais concebidos com a satisfação destas exigências como objetivo inicial.

Por limitações do tempo disponível para realizar as medições em algumas das salas estudadas, não foi possível reunir condições que permitissem a recolha de dados úteis relativos ao ruído de fundo em todos os espaços, pelo que esta componente de caracterização acústica de um espaço, apesar da sua importância, não será abordada no trabalho de comparação de espaços.

O ruído de fundo pode-se dividir em duas componentes: Ruído Residual e Ruído Dinâmico.

## **10.2 Ruído Residual**

O Ruído Residual está associado às fontes de ruído provenientes do exterior do espaço. Por exemplo, pode contemplar ruído trânsito, atividades em espaços próximos, entre outros.

Uma vez que a eliminação destas fontes sonoras é uma proposta pouco plausível, a única forma de lidar com as mesmas de forma eficaz é através do isolamento acústico do espaço de trabalho, pelo menos até ao ponto em que se garantam níveis de ruído de fundo residual aceitáveis, durante o normal funcionamento dos espaços circundantes, isto é, se existe uma autoestrada próxima, o isolamento deve ser suficiente para lidar com o ruído do trânsito de hora de ponta, uma vez que será expectável que esta fonte de ruído se mantenha ativa, de forma rotineira, a médio e longo prazo.

## **10.3 Ruído Dinâmico**

O Ruído Dinâmico tem como origem fatores interiores ao espaço e é, geralmente de natureza intermitente e/ou variável. Este tipo de ruído está geralmente associado a fontes localizadas no interior do espaço em questão. O tipo de fontes de ruído em questão podem ser, por exemplo, sistemas de climatização, sistemas de renovação de ar, ventoinhas presentes em computadores ou outros equipamentos. Para diminuir a quantidade de Ruído Dinâmico num espaço, pode-se considerar a troca de alguns equipamentos, por exemplo, computadores com sistemas de arrefecimento passivos, ou a colocação de equipamentos ruidosos noutra espaço.

## 11. Procedimentos para a Realização das Medições

### 11.1 Método de obtenção da Função de Transferência

Para caracterizar os espaços apresentados neste estudo foi utilizada uma metodologia que se baseia na análise da Função de Transferência.

“Uma sala pode ser caracterizada pela resposta ao impulso [...]. A resposta ao impulso é um gráfico que mostra a resposta na posição do recetor quando algures na sala é criado um curto impulso” (Cox & D’Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*, 2009, p. 10)<sup>95</sup>. Além, de impulsos curtos, é possível utilizar outro tipo de sinais, tais como varrimentos sinusoidais, sendo esta a tipologia disponível no *software* utilizado na realização deste estudo.

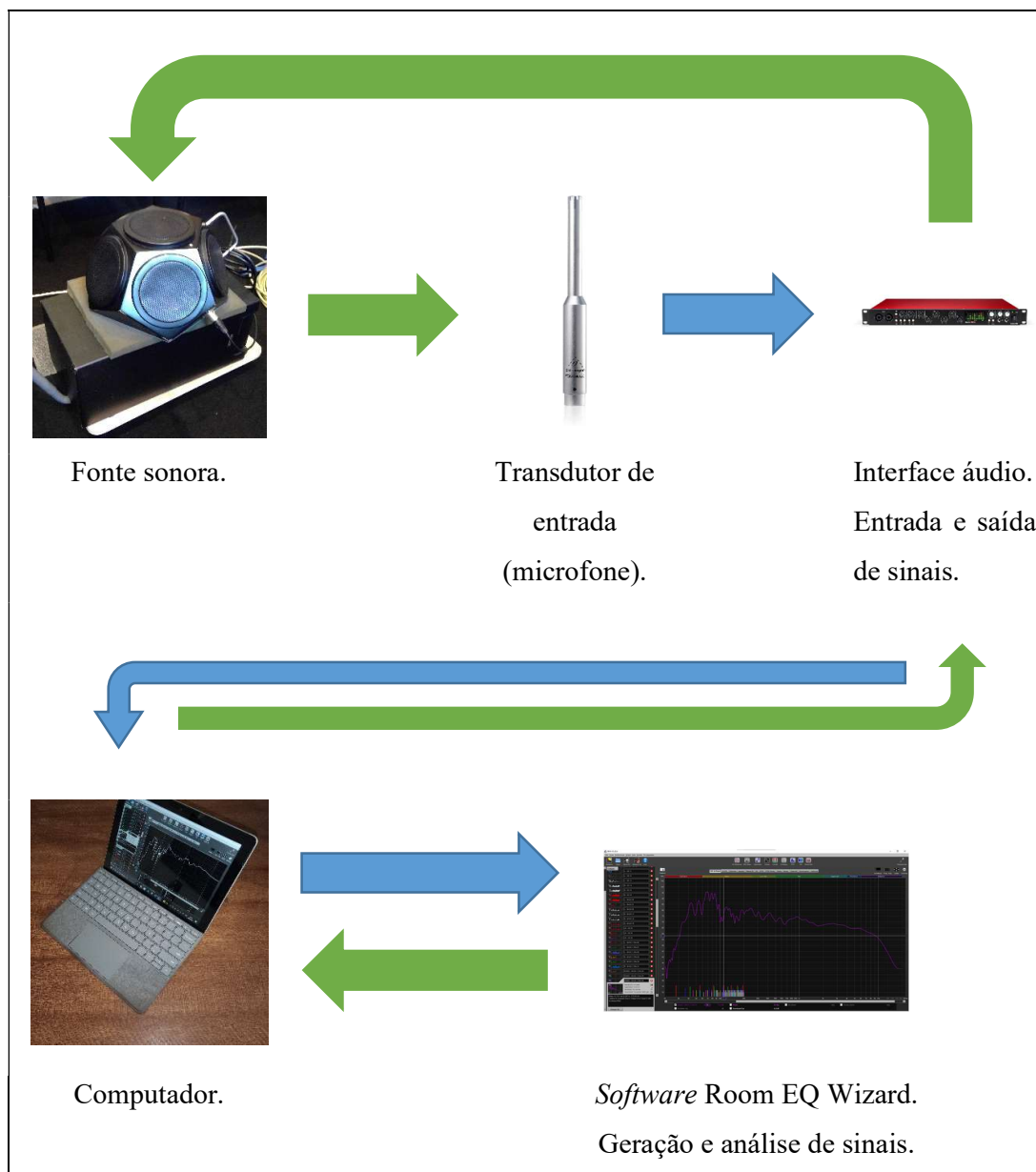
“A maioria dos critérios relacionados com a qualidade acústica de salas é baseada em resposta impulsionais monaurais, sem ponderação em relação à direccionalidade da energia. Critérios binaurais que tenham em conta a função de transferência associada à cabeça são a exceção” (Ballou, 2008, p. 153)<sup>96</sup>.

O procedimento para a obtenção da Função de Transferência tem como base o Diagrama 1.

---

<sup>95</sup> No original: “The room can be characterized by the impulse response, [...]. The impulse response is a pressure versus time graph showing the response at a receiver position when somewhere else in the room a short impulse is created”.

<sup>96</sup> No original: “The majority of the room-acoustical quality criteria is based on the monaural, directionally unweighted assessment of the impulse response. Head-related binaural criteria are still an exception”.



➡ Sinal sinusoidal para excitação do espaço.

➡ Captura do sinal correspondente à resposta do espaço quando excitado pelo sinal sinusoidal, reproduzido pela fonte sonora.

Diagrama 1 - Simplificação do processo de excitação do espaço e captura da resposta ao impulso

O sinal para excitar cada espaço é originado no *software* REW, segundo parâmetros pré-selecionados.

O sinal digital é convertido para um sinal analógico, função realizada pela interface áudio. Este sinal é agora reproduzível pelas várias fontes sonoras utilizadas (Fonte Sonora Padrão e Monitores disponíveis em cada espaço).

A reprodução do sinal de excitação por parte das fontes, excita a sala, sendo o resultado da interceção entre espaço e fonte capturado pelo microfone de medição. O sinal resultante desta medição depende, em primeiro lugar da fonte e da sala, mas também da localização da fonte sonora e do ponto de medição.

Uma vez que o sinal acústico é capturado pelo microfone de medição, o sinal é convertido em formato digital pela interface áudio, para armazenamento no computador e posterior análise no *software* REW. Entenda-se que este processo não se trata de um circuito em *feedback*, apesar de os sinais terem a sua geração e armazenamento em simultâneo e no mesmo dispositivo.

Em paralelo à captura do conjunto sinal de medição – resposta do sistema/espaço acústico, é medido também o circuito de *loopback*, que utiliza um conjunto de entrada e saída de áudio idêntico utilizado para fazer a saída do sinal de excitação e a receção do sinal captado pelo microfone de medição. Este processo permite ao *software* uma referência temporal fixa e repetível, assim como uma medição instantânea da resposta da interface e subtração das irregularidades da mesma da resposta obtida em cada medição.

O método apresentado para obtenção da resposta ao impulso tem as limitações de não se limitar a caracterizar apenas o sistema de reprodução ou do espaço acústico, com o resultado de cada medição a ser sempre um resultado conjunto das duas variantes, medido a partir de um ponto específico no espaço (onde fica colocado o microfone).

A Fonte Sonora Padrão, é a mesma em todos os espaços, medida sempre a partir de posições análogas. Apesar de não ser possível desassociar a resposta da Fonte Sonora Padrão das medições, o facto de esta ser sempre a mesma, assim como o restante da cadeia de sinal, permite fazer comparações entre espaços.

A medição dos monitores, permite a caracterização da sala, consoante esta é utilizada, sendo que o sistema eletracústico disponível varia de espaço para espaço, deve ser exercido algum cuidado ao estabelecer comparações diretas. Algumas características medidas podem ser resultado dos altifalantes disponíveis e/ou do posicionamento dos mesmos. Desta forma, as medições efetuadas com a Fonte Sonora Padrão podem ajudar a informar se a

proveniência de determinado comportamento tem como causa principal a acústica do espaço, ou o comportamento do sistema eletroacústico disponível.

O microfone utilizado também é uma limitação. O circuito de *loopback* permite calcular e subtrair as não-linearidades da interface áudio de cada medição, mas não as do microfone; sendo este um elemento limitador da precisão dos resultados.

## 11.2 Fonte Sonora Padrão

A Fonte Sonora Padrão (Figura 12) trata-se de uma fonte composta por dois elementos. O primeiro elemento é uma fonte semi-dodecaédrica e o segundo um subwoofer.

A fonte semi-dodecaédrica trata-se de um produto OEM (marca branca), sendo que não foi possível aferir as características ligadas à sua performance (resposta em frequência, entre outras).

O subwoofer trata-se um Genelec 1091A, um altifalante ativo, equipado com um altifalante de 8", de caixa ventilada, com a sua resposta em frequência compreendida entre os 38 Hz e os 85 Hz ( $\pm 2,5$  dB).

A gestão do alinhamento em fase e magnitude dos dois elementos que compõem a Fonte Sonora Padrão é conseguida com recurso ao processador Yamaha YDG2030 (Figura 13). O processamento necessário para a correta calibração e funcionamento desta fonte estava previamente realizado.



Figura 12 - Fonte Sonora Padrão - semi-dodecaédrica (fotografia pelo autor)



Figura 13 - Equalizador estéreo Yamaha YDG2030 (fotografia pelo autor)

### 11.3 Microfone de Medição

O microfone de medição utilizado na execução deste trabalho foi um Behringer ECM8000 (Figura 14). Trata-se de um microfone de pressão, omnidirecional, cuja princípio de transdução é o de condensador (membrana pequena).

Dados mais concretos em relação às especificações do microfone, tais como a resposta em frequência, podem ser encontradas nos Anexo 1.



Figura 14 - Microfone Behringer ECM8000 (Behringer GmbH, 2022).

### 11.4 Interface de Áudio

A interface áudio utilizada em todo o processo foi uma Focusrite Scarlett 18i20 de segunda geração (Figura 15). Trata-se de uma interface com oito pré-amplificadores de microfone, similares, dos quais foram utilizadas dois: o primeiro para receber o sinal captado por pelo microfone de medição e o segundo para receber o sinal/fechar o circuito de *loopback*, que serve como referência temporal para o cálculo da função de transferência, assim como a obtenção da resposta fase e magnitude do circuito da própria interface para subtrair as não-linearidades da mesma do resultado final de cada resposta impulsional. A resposta do conjunto saída de linha – pré-amplificador de microfone está caracterizada na Figura 16. Especificações técnicas mais detalhadas sobre a interface áudio estão disponíveis no Anexo 10.



Figura 15 -Interface áudio USB Focusrite Scarlett 18i20 de 2ª geração (Focusrite PLC, 2022)

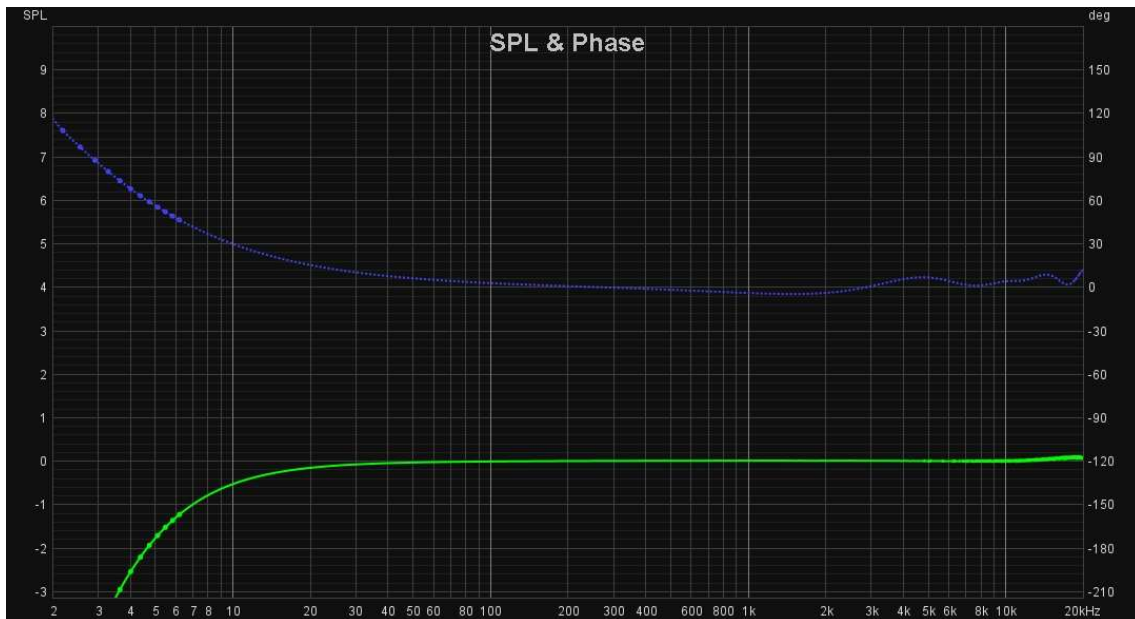


Figura 16 - Resposta em magnitude (verde) e fase (azul) do conjunto saída de áudio - pré-amplificador da interface Focusrite 18i20 de 2ª geração

## 11.5 Cadeia de Medição Complementar

O conjunto microfone – pré-amplificador – interface áudio previamente apresentados não se trata de uma cadeia de sinal calibrada, ou seja, níveis de pressão sonora não são medidos com precisão, nas suas grandezas absolutas. As diferenças relativas de pressão sonora entre diferentes frequências, pontos de medição e fontes sonoras são, no entanto, capturadas com precisão.

Como forma de aproximar os níveis de pressão sonora absoluta de resultados similares aos obtidos com um conjunto de equipamento calibrado, foi desenvolvida uma cadeia de medição complementar e desenvolvido um método que permita aumentar a precisão das medições de pressão sonora absoluta. Para o efeito foi desenvolvido o seguinte processo:

- Foi reproduzido um sinal ruído rosa na Fonte Sonora Padrão, que medido a 1m, recorrendo a um sonómetro NTI XL2, corretamente calibrado;
- O sonómetro mediu uma pressão sonora de 85 dB SPL;
- Foi medida na mesma posição que a do sonómetro a pressão sonora absoluta, utilizando o conjunto de *software*, interface áudio e microfone, que seriam posteriormente utilizados na execução do estudo;
- O ganho de entrada da interface foi regulado de forma ao *software* REW obter uma leitura de 85 dB SPL, de forma a obter uma sensibilidade semelhante ao do conjunto de equipamento calibrado;
- Foi definido um sinal, neste caso, uma senoide, aos 1000 Hz, com um nível de saída de -60 dBFS; cuja injeção no pré-amplificador destinado à receção do microfone de medição, com o ganho de entrada definido no ponto anterior, resulta numa leitura de 88,7 dB SPL;
- Ficou definido que a geração de um sinal sinusoidal de 1000 Hz, com o nível de -60dBFS e posterior injeção no pré-amplificador destinado ao microfone de medição, teria que resultar numa leitura de 88,7 dB SPL, de forma a garantir a correta calibração do sistema.



Figura 17 - Sonómetro NTI XL2 equipado com microfone calibrado (fotografia pelo autor)

## 11.6 Sinal de Excitação

O sinal utilizado para excitação dos espaços, reproduzido a partir do *software* REW tem as seguintes características:

- Varrimento sinusoidal exponencial (ESS – *Exponential Sine Sweep*);
- Duração de 43,7 segundos;
- Nível de saída -18 dBFS;
- Largura de banda de 20 – 20000 Hz;
- Circuito de *loopback* externo como referência temporal.

NB: Utilização de saída sem influência de potenciômetro.

### 11.7 Posições de Microfone e Fontes Sonoras

As medições realizadas no processo deste estudo, obedeceram a um conjunto pré-definido de posições e conjuntos de fontes sonoras e pontos de medição.

Foram consideradas em cada espaço 4 fontes sonoras, e 3 posições de medição diferentes.

As fontes sonoras consideradas foram as seguintes:

- Fonte Sonora Padrão (DODEC), conforme descrita no capítulo 11.2;
- Monitor esquerdo afeto a cada espaço (MON L);
- Monitor direito afeto a cada espaço (MON R);
- Conjunto de monitores esquerdo e direito de cada espaço (MON L+R).

Em espaços cujo sistema de monitores seja complementado por altifalante/s dedicados à reprodução de baixas frequências (*subwoofers*), estes serão considerados como parte integrante das fontes MON L e MON R, uma vez que estes altifalantes dedicados às baixas frequências servem a função de complementar a resposta em frequência dos monitores principais.

As posições de medição consideradas foram as seguintes:

- Esquina geometricamente oposta à posição da Fonte Sonora Padrão (CORNER);
- Sweet Spot de escuta, a 1,25 m de altura (SS);
- Posição recuada 2 m em relação ao Sweet Spot (quando possível, caso contrário, as distâncias ao Sweet Spot poderão ser inferiores), a 1,70 m de altura (BACK).

As posições acima descritas são representadas no Diagrama 2.

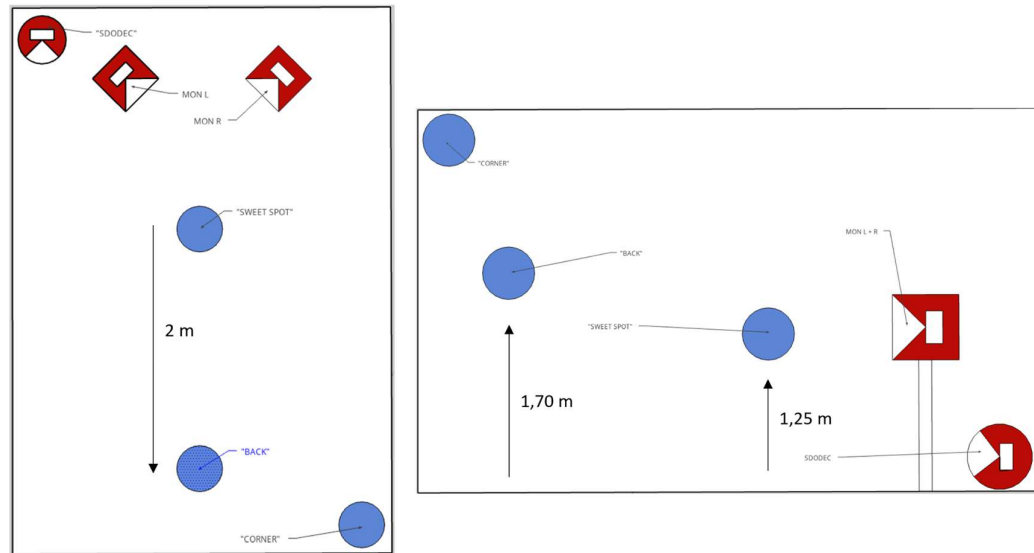


Diagrama 2 – Posições de Fontes Sonoras e Pontos de Medição, em espaço acústico genérico. Visão em planta (esquerda) e visão em corte (direita)

Os pares de Fontes sonoras e posições de medição foram os seguintes:

- DODEC – CORNER
- DODEC – SS
- MON L – SS
- MON R – SS
- MON L+R – SS
- MON L – BACK
- MON R – BACK

A medição com o posicionamento da fonte e microfone em esquinas opostas (DODEC – CORNER), trata-se da execução técnica apresentada no capítulo 3, segundo a qual e conforme explicado, é possível definir o comportamento modal de uma sala.

## 11.8 Janelas de Análise

As janelas de análise têm as seguintes definições no *software* REW:

- Left Window: Tukey 0.25
- Right Window: Tukey 0.25
- Left Window ms: 125 ms
- Window Reference Time: 11,5 ms

- Right Window ms: 1000 ms
- Frequency Resolution: 2Hz

Como indicado acima as definições escolhidas resultam numa precisão de 2 Hz, o que, em conjunto com a reprodução de um sinal de excitação com uma duração longa (43,7 segundos), oferece detalhe suficiente como para que não existam erros de arredondamento indesejados na análise das medições.

## 11.9 *Smoothing*

A todas as medições apresentadas e respetivos gráficos de magnitude, excetuando quando existir indicação em contrário, foi aplicado um fator de arredondamento dos resultados, de forma a facilitar a leitura do e interpretação dos dados. A fator de arredondamento não se fixa em valores fixos ao longo do espectro de frequências (por exemplo: 1/48 de oitava, ou 1/24 de oitava, etc...), mas num intervalo de valores que aumentam a precisão da leitura, à medida que baixam as bandas de frequência.

Segundo o manual do *software* REW, versão 5.20, o fator de *smoothing* acima indicado funciona da seguinte forma: “Variable smoothing aplica 1/48 de oitava abaixo de 100 Hz, 1/3 acima do 10 KHz a varia entre 1/48 e 1/3 entre 100 Hz e 10 KHz, atingindo 1/6 por oitava aos 1 KHz” (Mulcahy, 2021, p. 310)<sup>97</sup>.

---

<sup>97</sup> No original: “Variable smoothing applies 1/48 octave below 100 Hz, 1/3 octave above 10 kHz and varies between 1/48 and 1/3 octave from 100 Hz to 10 kHz, reaching 1/6 octave at 1 kHz”.

## 12. Apresentação e Análise dos Resultados

### 12.1 Espaço Doméstico

#### 12.1.1 Espaço

- Considerando fronteiras estruturais:
- Comprimento: 4,75 m
- Largura: 3,80 m
- Altura: 2,64 m
- Volume: 47,65 m<sup>3</sup>

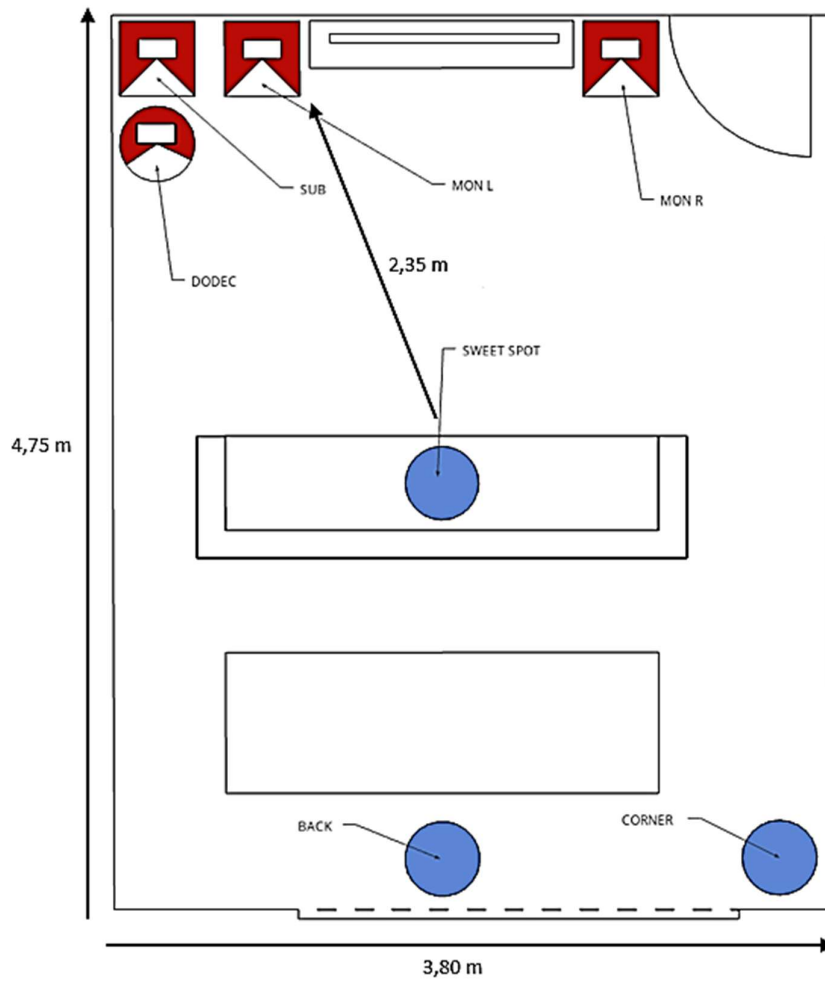


Figura 18- Visão em planta da sala "Espaço Doméstico"

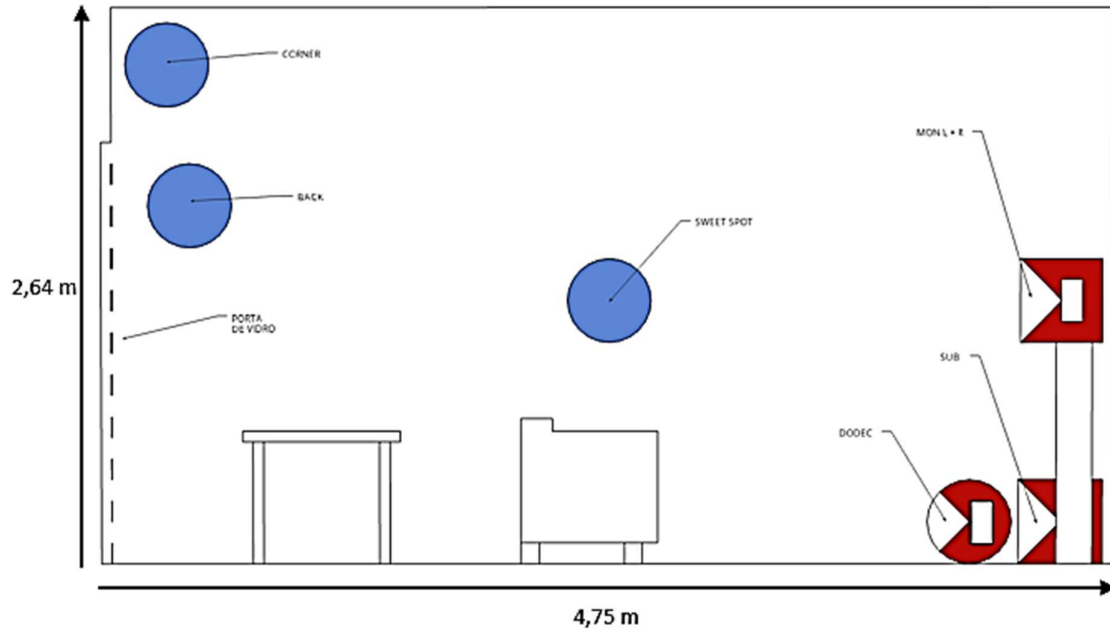


Figura 19 - Visão em corte da sala "Espaço Doméstico"



Figura 20 - Fotografia 1 da sala "Espaço Doméstico". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço



Figura 21 - Fotografia 2 da sala "Espaço Doméstico"



Figura 22 - Fotografia 3 da sala "Espaço Doméstico"

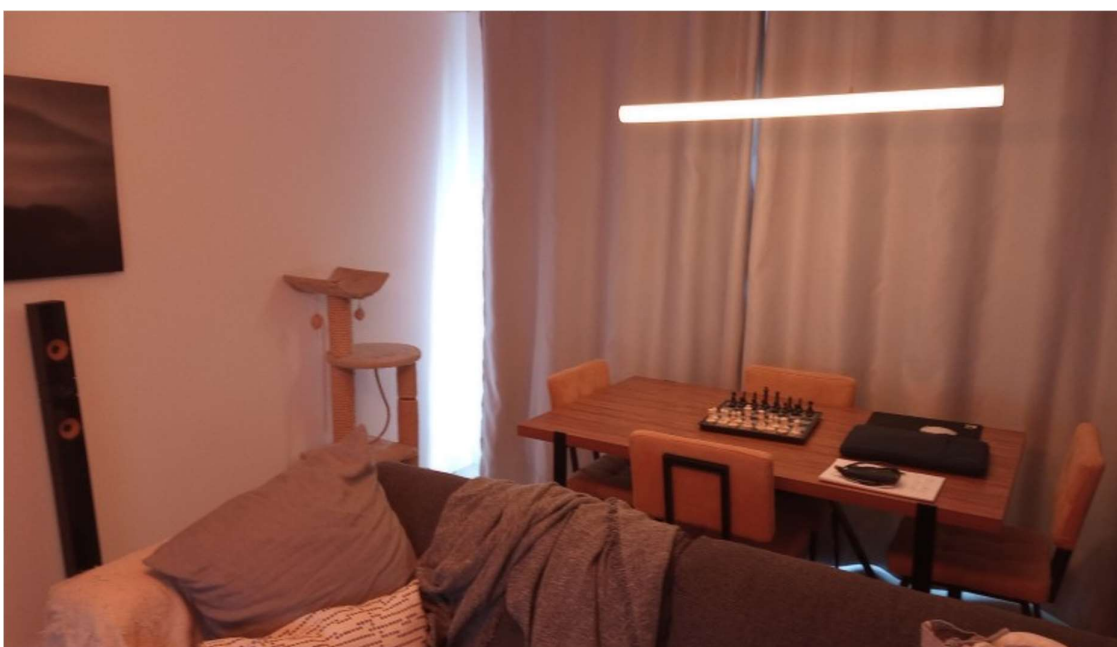


Figura 23 - Fotografia 4 da sala "Espaço Doméstico"

Características relevantes da sala “Espaço Doméstico”:

- Espaço de habitação (tipologia de sala de estar);
- As paredes visíveis são as paredes estruturais;
- Paredes e teto em tijolo com cobertura de lâ-de-rocha e uma camada de gesso cartonado;

- Espaço situado numa zona urbana, primeiramente habitacional, movimentada;
- Portas de correr de vidro ocupam grande parte da parede atrás do sweet spot;
- Cortina suspensa em frente à parede do fundo;
- Porta em frente, à direita do sweet spot (uma folha).

### 12.1.2 Áreas e Volumes

Área bruta m <sup>2</sup>	Área perdida m <sup>2</sup>	Área perdida %
18,05 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	0%

Tabela 1 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “Espaço Doméstico”

Volume bruto m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
47,65 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	0%

Tabela 2 - Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “Espaço Doméstico”

A Tabela 1 apresenta as dimensões brutas da sala (as dimensões delimitadas pelas fronteiras estruturais). Tratando-se a sala em análise de um espaço de uso doméstico, não foi perdida nenhuma área com o acondicionamento acústico do espaço. Na Tabela 2, verifica-se que também não foi ocupada nenhuma percentagem de volume bruto. O volume bruto do espaço está pouco acima dos 42m<sup>3</sup> sugeridos no capítulo 5.3 como o valor mínimo seguro para a obtenção de resultados de desempenho que permitam realizar uma escuta fiável.

O fator volume é relevante, uma vez que o espaço em análise se trata de uma sala, o que pode sugerir que a conversão de espaços como quartos, ou escritórios, em estúdios, poderá ter os resultados comprometidos pela típica baixa volumetria deste tipo de espaços.

### 12.1.3 Caracterização do Sistema de Escuta

- Sistema *Home cinema* de consumo LG BH7530
- Sistema 5.1, do qual foram apenas considerados os altifalantes esquerdo, direito e o subwoofer;
- Sistema de colunas passivo de duas vias;
- 2 x Woofers de 2,5”
- Tweeter de 1”
- Não foi possível aferir especificações técnicas mais detalhadas para o sistema.
  
- Subwoofer LG (parte integrante do restante sistema);
- Sistema de coluna passivo de uma via;
- Woofer de 6”;
- Bass Reflex (Back ported).

\*O Subwoofer é considerado uma extensão de MON L e MON R e como tal, todas as medições de MON L e MON R contemplam a utilização do elemento subwoofer, com o alinhamento e afinação dos elementos a ser o mesmo que o utilizado durante o normal funcionamento do espaço. A consideração do elemento de subwoofer como parte de MON L e MON R é válida para todos os espaços com um, ou mais elementos de extensão da resposta nas frequências graves.

\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espaco acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 2,35m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: Não foi encontrada documentação com a informação relevante
- $Distância^2 = 5,52$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = ???$

### 12.1.4 Matriz de Fontes Sonoras / Posições de medição

Os testes efetuados contam com as seguintes fontes sonoras e ponto de medição:

Fontes Sonoras:

- DODEC – Fonte Sonora Padrão;
- MON L – Monitor Esquerdo;
- MON R – Monitor Direito;
- MON L + R – Monitores Esquerdo e Direito.

Pontos de Medição:

- CORNER – Posição de medição na esquina geometricamente oposta à posição de DODEC, junto ao chão;
- SS– Sweet Spot de escuta;
- BACK– Posição recuada, a 2m atrás do Sweet Spot (quando possível, caso contrário 1m), a 1,75m de altura.

O Diagrama 3 apresenta de forma sistematizada a legenda utilizada para a interpretação dos gráficos extraídos do *software* REW, segundo as combinações de fontes sonoras e pontos de medição.

As fontes sonoras estão identificadas sempre pela cor da linha apresentada, enquanto as posições de medição são identificadas pela forma da linha. Assim, as fontes são identificadas da seguinte forma:

- Verde – DODEC
- Branco – MON L
- Vermelho – MON R
- Azul – MON L + R

As posições de medição são identificadas da seguinte forma:

- Linha a cheio – CORNER
- Linha a tracejado – SS
- Linha a tracejado e pontilhado – BACK

Alguns gráficos, contando apenas com uma combinação de fonte sonora e ponto de medição, não apresentam legenda, estando o par identificado sob a forma de texto.

Fontes Posições de Medição	DODEC	MON L	MON R	MON L + R
CORNER				
SS				
BACK				

Diagrama 3 – Matriz de identificação gráfica das Fontes Sonoras e posições de medição

### 12.1.5 Função de Resposta ao Impulso

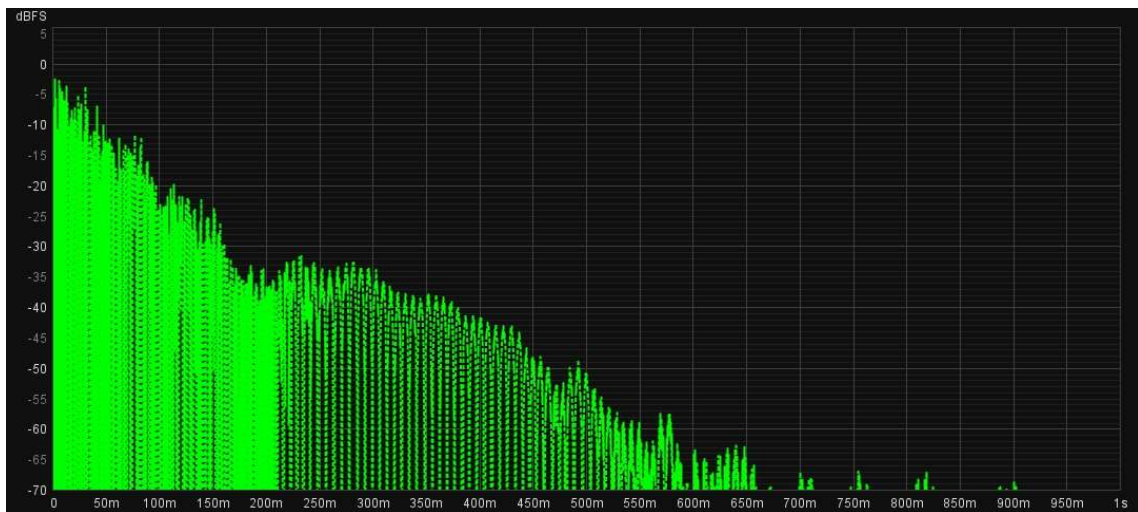


Figura 24 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “Espaço Doméstico”

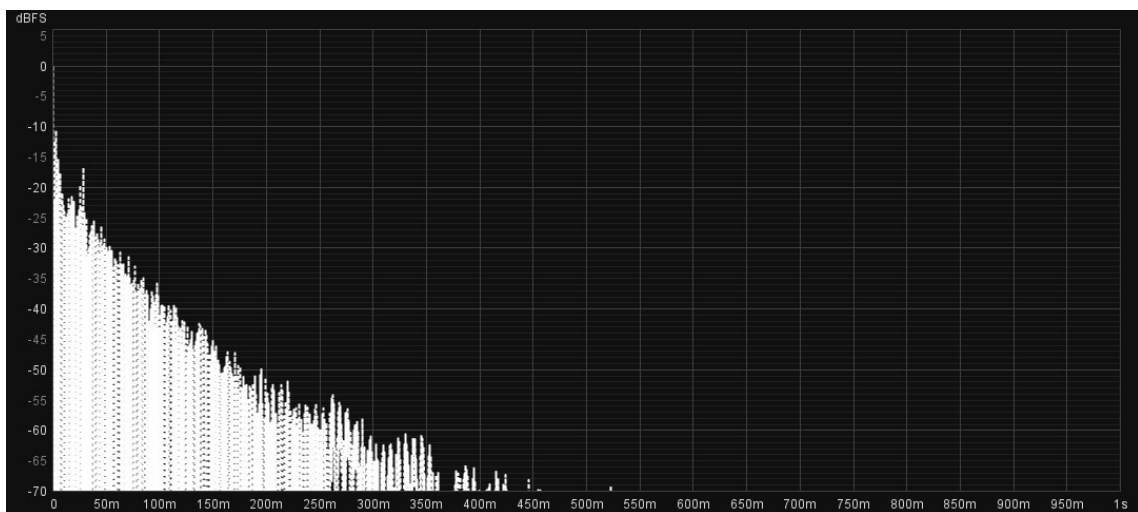


Figura 25 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Espaço Doméstico”

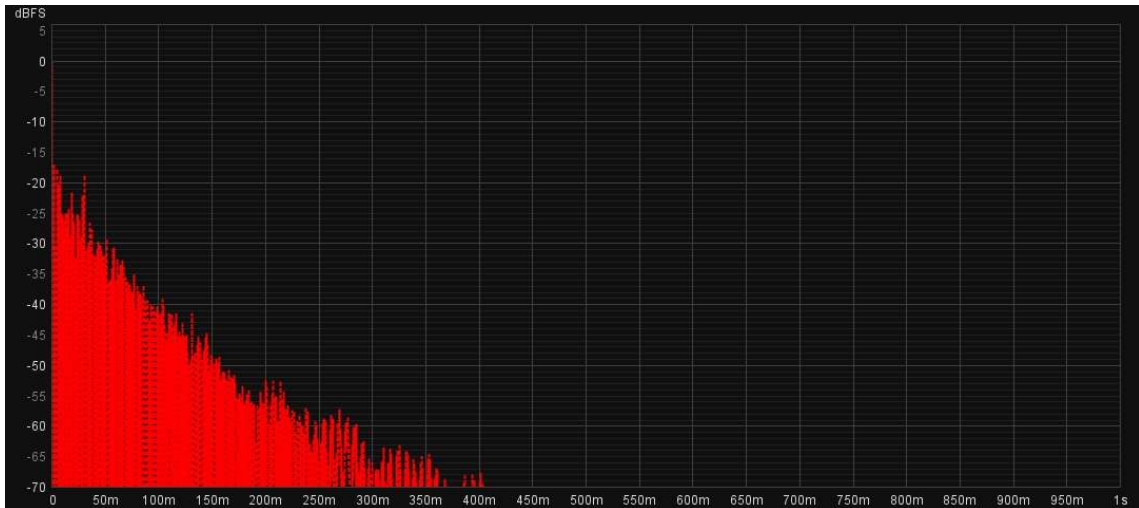


Figura 26 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS na sala “Espaço Doméstico”

A Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

Estes gráficos caracterizam de uma forma simplificada a resposta da sala, no ponto SS quando excitada pelas fontes sonoras utilizadas na realização do estudo.

Através do gráfico da Função de Resposta ao Impulso é possível aferir rapidamente a existência de reflexões especulares com grandes concentrações de energia, assim como a duração do decaimento.

### 12.1.6 Análise das Reflexões Especulares

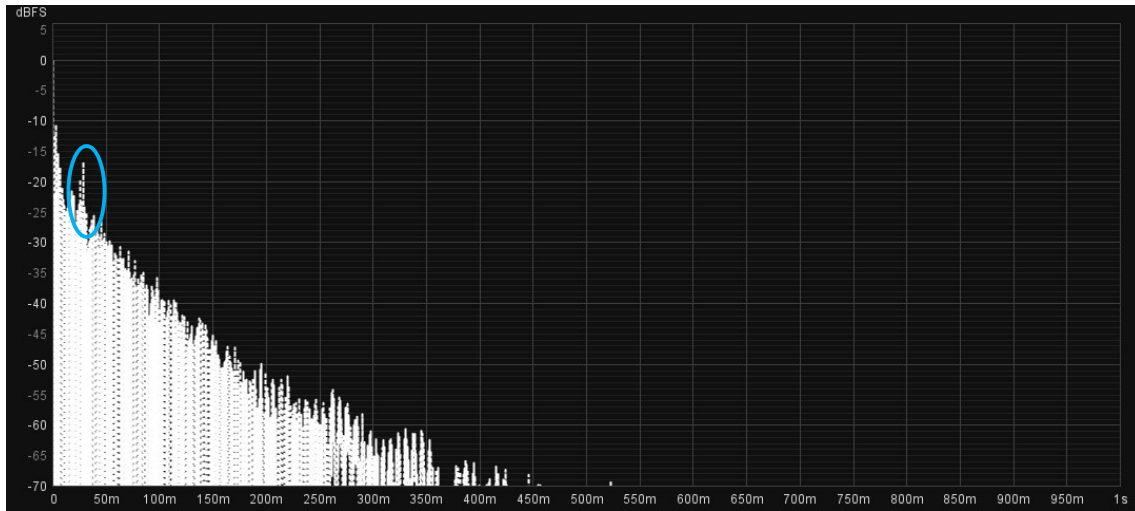


Figura 27 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “Espaço Doméstico”

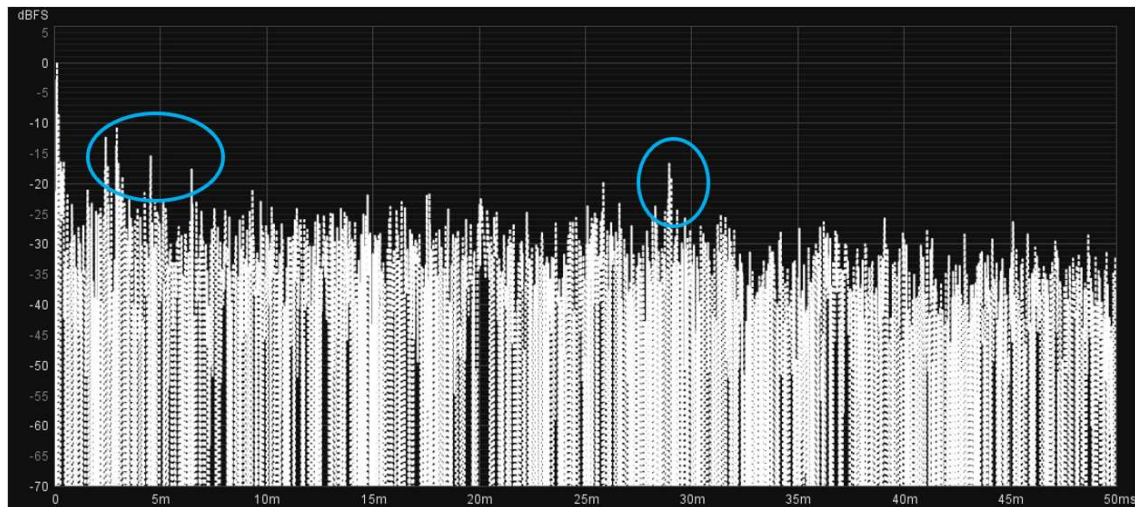


Figura 28 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

Analisando o par MON L – SS é possível verificar na Figura 27 a existência de algumas reflexões que se destacam da restante energia correspondente ao normal decaimento do campo reverberante da sala. Na Figura 28, pode-se verificar que essa energia está contida cerca de 28 ms após o impulso inicial. O maior detalhe da Figura 28 permite também identificar algumas reflexões presentes entre 3 ms a 7 ms após o impulso inicial, com valores de energia que chegam aos -10 dB. Conforme indicado no capítulo 6.4, reflexões fortes

contidas nos primeiros 20 ms apresentam vários efeitos adversos, para a resposta em frequência e percepção do palco sonoro.

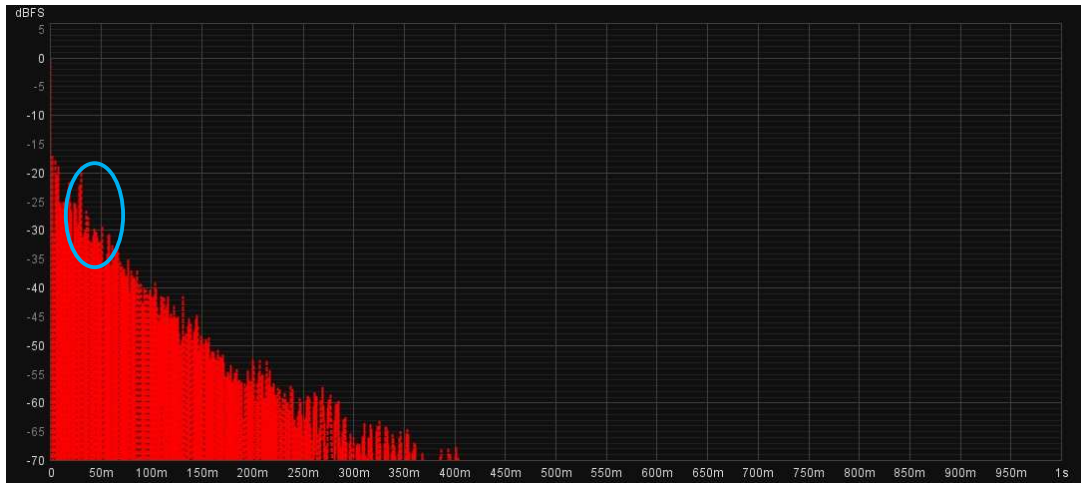


Figura 29 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

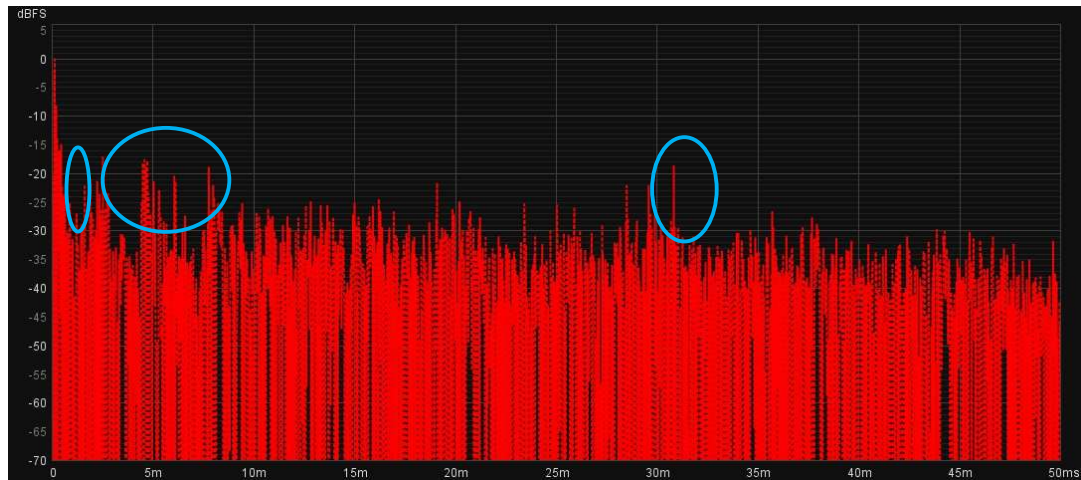


Figura 30 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

Para o par MON R – SS, o comportamento das reflexões especulares é similar a MON L – SS, com a exceção de que o tempo de atraso das reflexões mais próximas ao impulso inicial (Figura 30) apresenta uma distribuição diferente ao longo do tempo. A causa mais provável para este comportamento prende-se com o facto de que os altifalantes estarem distribuídos de forma assimétrica em relação às paredes laterais (o que resulta em distâncias

desiguais entre os monitores e as paredes), que tem como consequência tempos de chegada diferentes das reflexões provenientes das mesmas.

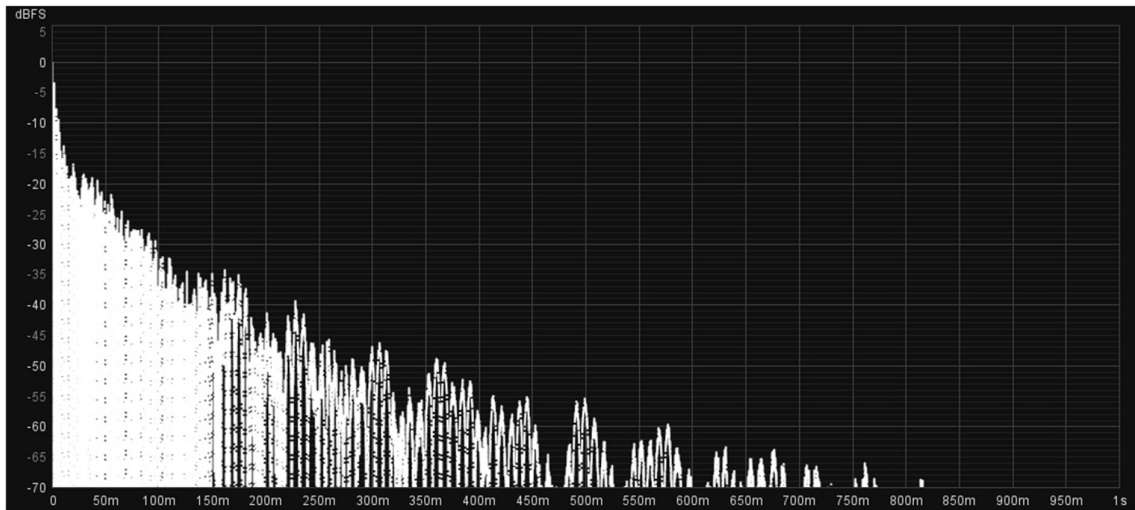


Figura 31 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “Espaço Doméstico”

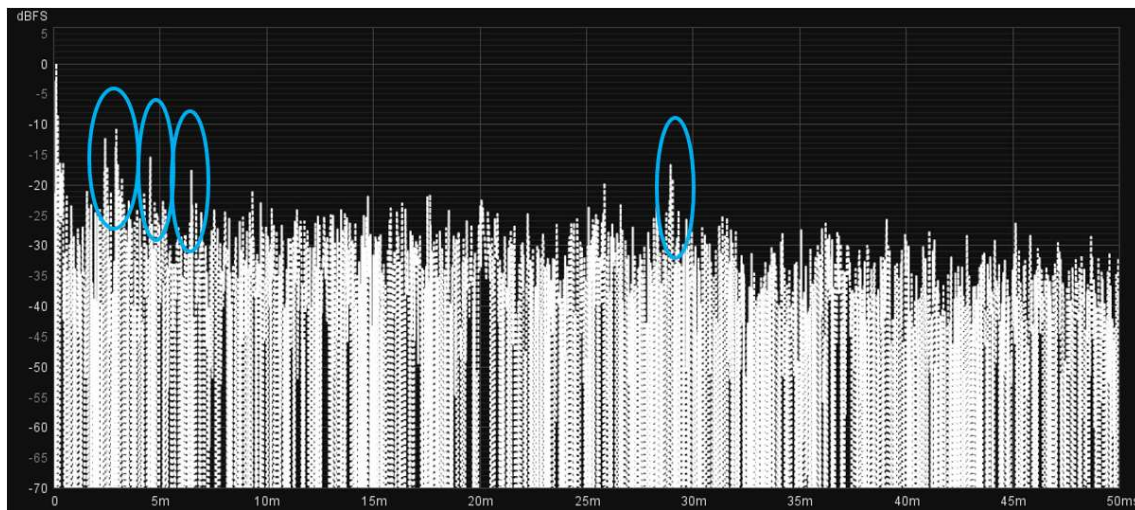


Figura 32 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento similar ao encontrado nas medições analisadas no ponto SS. Sendo a sala “Espaço Doméstico”, um espaço sem tratamento acústico, com a maioria das fronteiras a apresentarem-se como elementos refletoras, em todas posições do espaço. A proximidade à fronteira do fundo sala implica um aumento da distância à parede frontal, com a distância às paredes laterais a manter-se constante, o que, somado às características refletoras presentes

em quase todo o espaço, se exprime na similaridade entre os resultados obtidos em SS e BACK.

### 12.1.7 Initial Tima Delay Gap (ITDG)

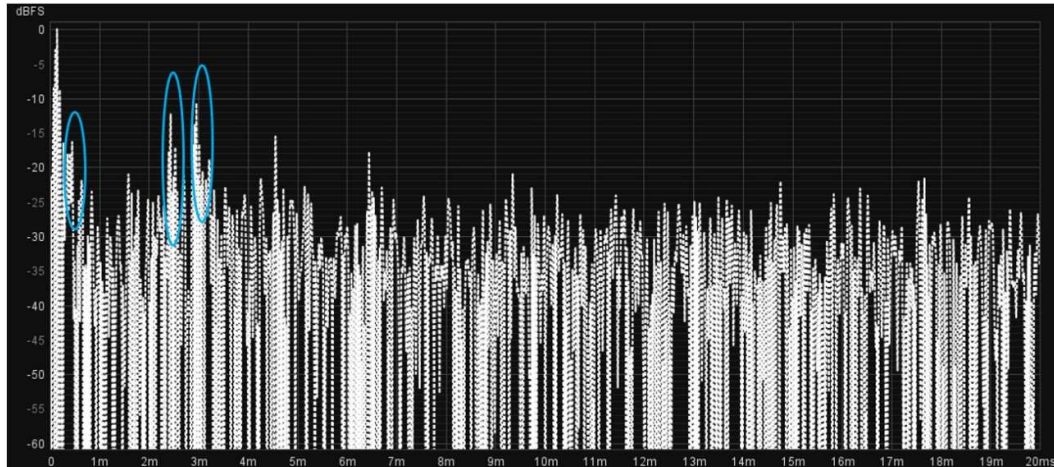


Figura 33 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

Analisando com maior detalhe apenas os primeiros 20 ms do par MON L – SS (Figura 33), é possível identificar uma reflexão forte muito próxima do impulso inicial e mais duas aos 2,5 ms e 3 ms após o impulso inicial. As duas últimas têm uma energia de cerca de -10 dB em relação ao impulso inicial, o que, como referido no capítulo 6.4, pode causar vários problemas, na resposta em frequência e percepção do palco sonoro.

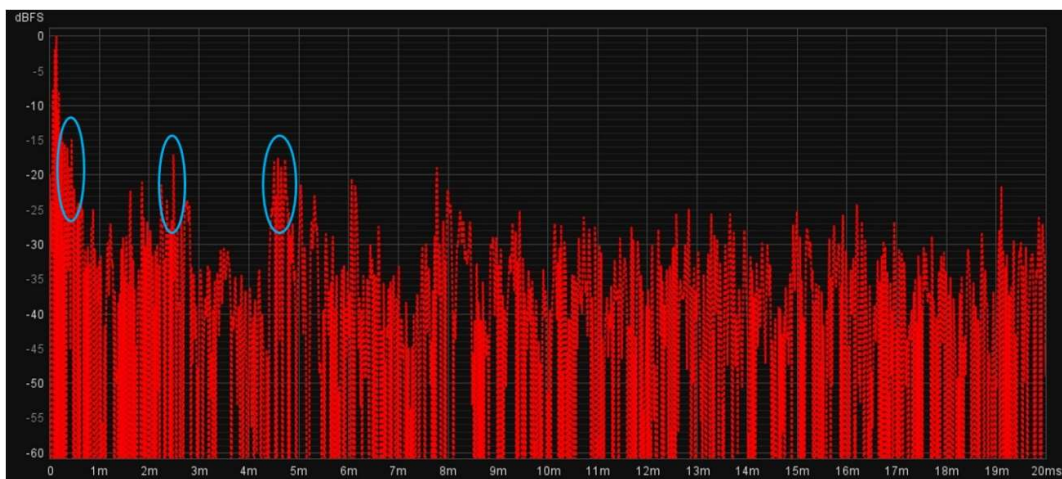


Figura 34 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Espaço Doméstico”

A análise dos primeiros 20 ms do para MON R – SS (Figura 34), apresenta algumas diferenças em relação à análise análoga do par MON L – SS. As reflexões assinaladas encontram-se em entre 0,5 ms a 5 ms após o impulso inicial, com o fator de destaque a ser a diminuição de energia observado entre os 3 ms e 4 ms após o impulso inicial.

Estas pequenas diferenças podem influenciar a percepção do palco sonoro apresentado pelos monitores, no entanto, os efeitos percepcionais são difíceis de quantificar.

### 12.1.8 Análise Modal



Figura 35 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “Espaço Doméstico”

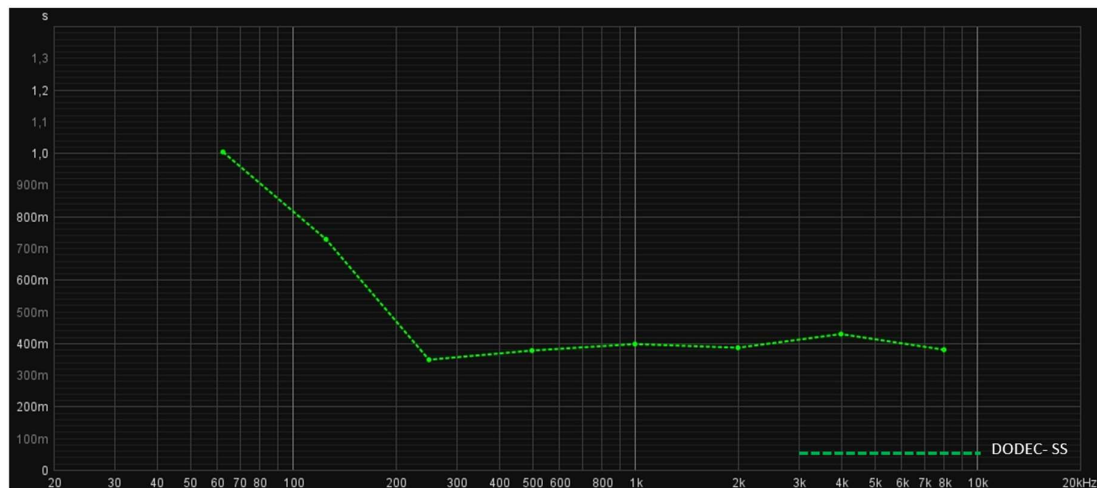


Figura 36 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “Espaço Doméstico”

A Figura 35 e Figura 36 representam o T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o DODEC – SS, em bandas de oitava. O gráfico em bandas de oitava para o par DODEC – SS permite visualizar a distribuição do tempo de decaimento, de forma geral, num ponto da sala, passível de ser utilizado como ponto de escuta. Trata-se de uma visão generalista do comportamento do decaimento no espaço, que pretende aproximar-se à sensação de escuta no ponto medido. A medição efetuada no par DODEC- CORNER, permite visualizar, de forma mais granular, se existe acumulação de energia, associada à atividade modal, em alguma banda de terço de oitava em particular. Trata-se de uma análise mais pormenorizada, que tenta detetar de forma mais precisa bandas de frequência que apresentem fenómenos de ressonância.

O aumento verificável nas frequências abaixo de 200 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* bastante acima de 1, como será estudado no capítulo 14.1.10.

A análise modal foca-se, numa primeira abordagem, no estudo da região delimitada pela Frequência de Não-Suporte e pela Frequência de Schroeder. Estas frequências podem ser calculadas segundo as fórmulas apresentadas nos capítulos 5.2 (Equação 1) e 5.3 (Equação 2), respetivamente. A gama de frequências contida na região modal é dependente das dimensões do espaço e, no caso do seu limite superior, também pelo tempo de reverberação. É também apresentada a Frequência que limita a Região de Difração e Difusão e dá início à Região Especular (Equação 5).

Frequência de Não-Suporte	36 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,5 seg.)	205 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1559 Hz

Tabela 3 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “Espaço Doméstico”

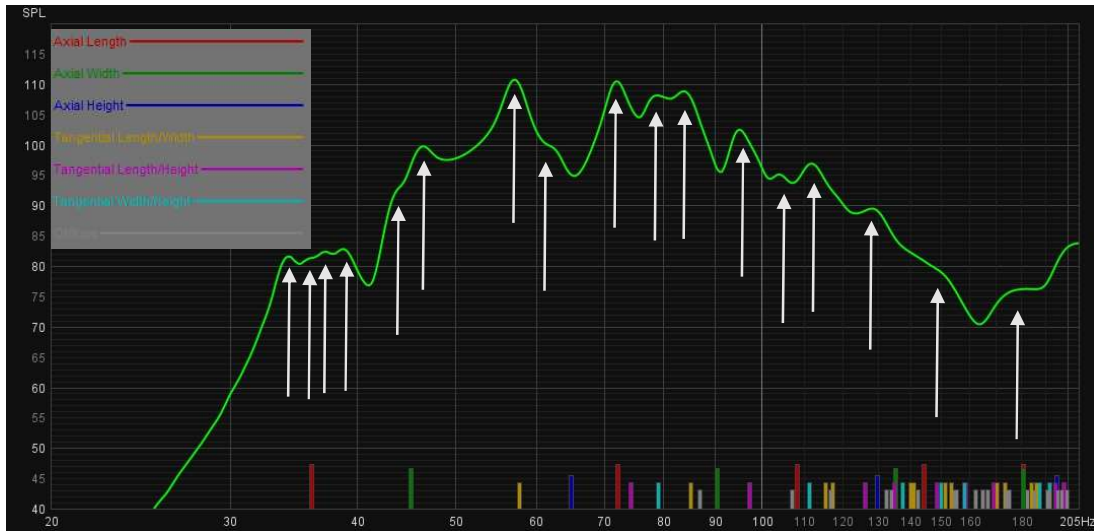


Figura 37 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “Espaço Doméstico”

Na Figura 37, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 205 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. Esta medição destina-se à identificação das frequências modais do espaço, segundo o método apresentado no capítulo 11.7. No fundo do gráfico apresentam-se as frequências modais calculadas segundo o modelo matemático para um espaço em formato de paralelepípedo, sendo os resultados calculados pelo *software* REW. Esta análise será apresentada para todos os espaços, segundo os mesmos princípios.

É de referir que um ponto de pressão pode corresponder a mais do que um modo da sala, uma vez que vários modos podem ter as suas frequências coincidentes. O número de pontos de pressão detetados não tem uma relação direta com o número de modos com ação no espaço. Este método permite apenas detetar frequências com atividade modal forte, quer estas representem 1 ou mais modos. Esta limitação do método descrito é válida para todos os espaços em estudo.

Pelo gráfico (Figura 37), é possível observar que as frequências calculadas são coincidentes, ou muito próximas dos pontos de pressão identificados na medição. As discrepâncias devem-se ao facto de o modelo de cálculo teórico não considerar aberturas nas fronteiras do espaço (portas e janelas), ou comportamentos diferentes dos materiais que compõem as fronteiras do espaço; todos os materiais são considerados totalmente refletores para todo o espectro. No gráfico estão identificados (com setas brancas) 17 pontos de pressão, que correspondem às reais frequências modais do espaço. Como será analisado mais adiante, quanto mais bem definidas as fronteiras do espaço e menor a quantidade de

tratamento acústico, mais fácil será a identificação das frequências modais com o método apresentado.

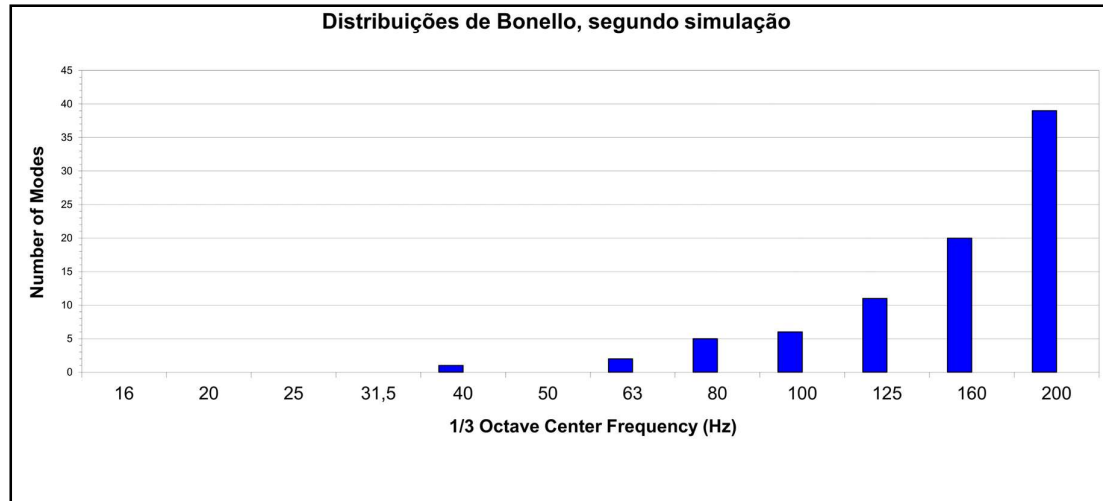


Figura 38 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “Espaço Doméstico”

A Figura 38 apresenta um modelo teórico das distribuições de Bonello, calculado tendo em conta as dimensões estruturais do espaço. As distribuições de Bonello são abordadas no capítulo 5.3.

(De forma simplificada, as distribuições de Bonello são um modelo que permite prever se os rácios das dimensões do espaço são conducentes a uma boa distribuição modal. O modelo utilizado foi disponibilizado por John H. Brandt (Brandt, 2016).)

A análise da atividade modal prevista para a sala “Espaço Doméstico” apresenta o não cumprimento do critério de que o número de modos presente em cada banda de 1/3 de oitava deve aumentar, ou pelo menos manter-se igual, em relação à banda anterior. Como é possível verificar, nas bandas de 40 Hz e 50 Hz, este critério não é cumprido.

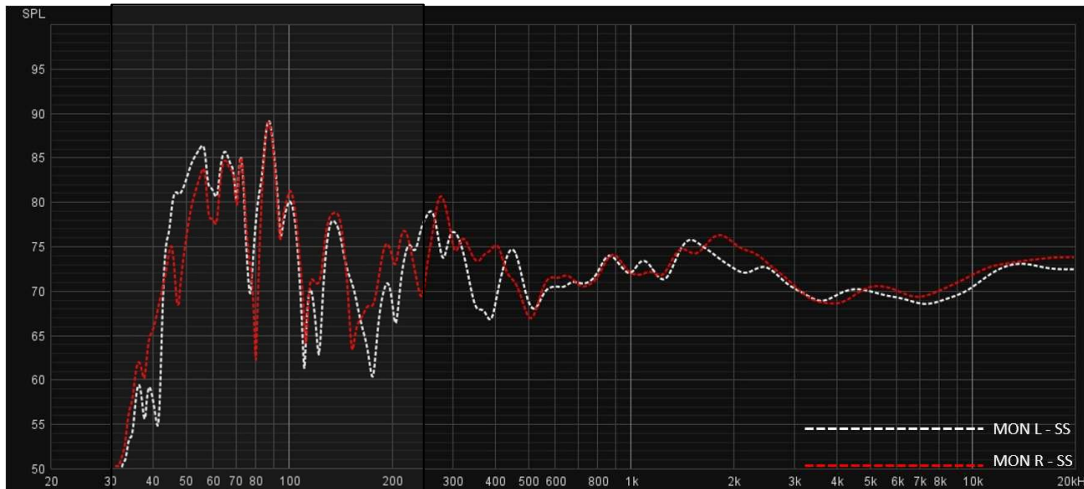


Figura 39 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “Espaço Doméstico”

A Figura 39 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A área destacada trata-se da região modal calculado para o espaço, sendo que os picos e vales são maioritariamente coincidentes. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

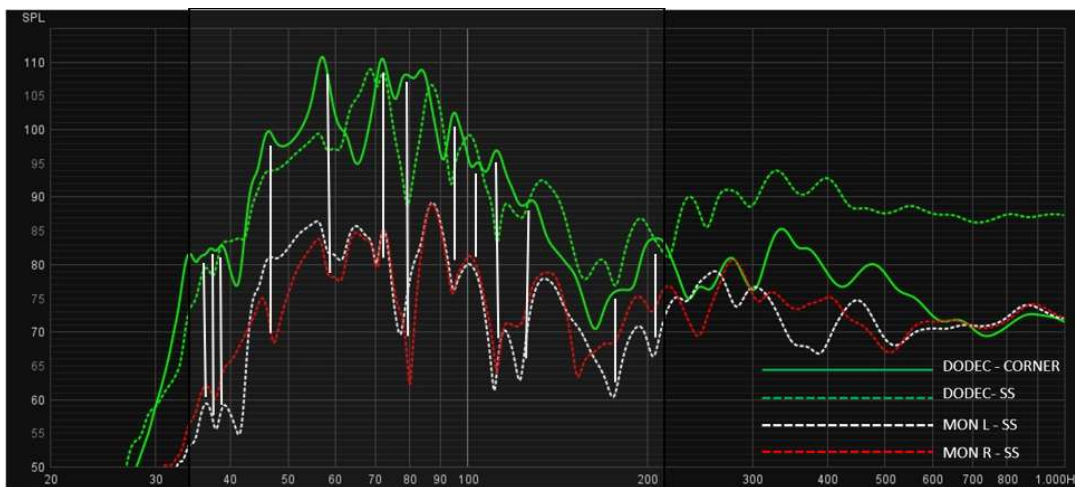


Figura 40 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “Espaço Doméstico”

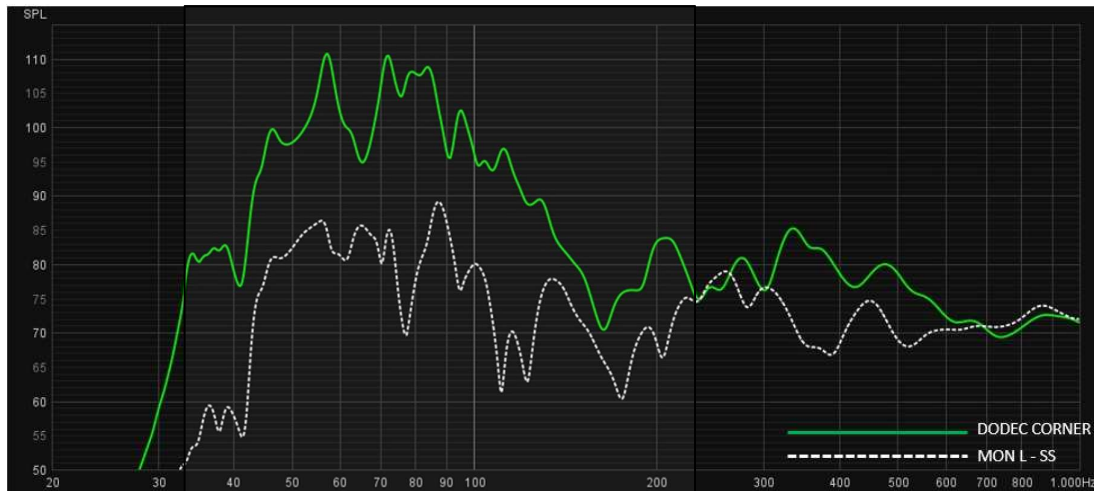


Figura 41 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L - SS, para a sala "Espaço Doméstico"

Na Figura 40 é feita uma comparação entre os pares MON L / MON R e DODEC - SS com o par DODEC - CORNER, de forma a tentar identificar coincidência entre os pontos de pressão encontrados na medição DODEC - CORNER (frequências de atividade modal) e as restantes fontes no ponto SS. Foi possível identificar 13 pontos de pressão no par DODEC - CORNER, que se manifestam como picos ou cancelamentos na resposta em frequência de MON L e MON R. A maioria dessas irregularidades na resposta de MON L e MON R no ponto SS também podem ser verificados no par DODEC - SS, o que prova que as mesmas não são resultado da resposta dos monitores em questão, ou do posicionamento dos mesmos.

O gráfico da Figura 41 apresenta apenas os pares DODEC - CORNER e MON L - SS, de forma a facilitar a visualização da coincidência dos pontos de pressão em DODEC - CORNER, com os picos/cancelamentos da resposta medida em MON L - SS.

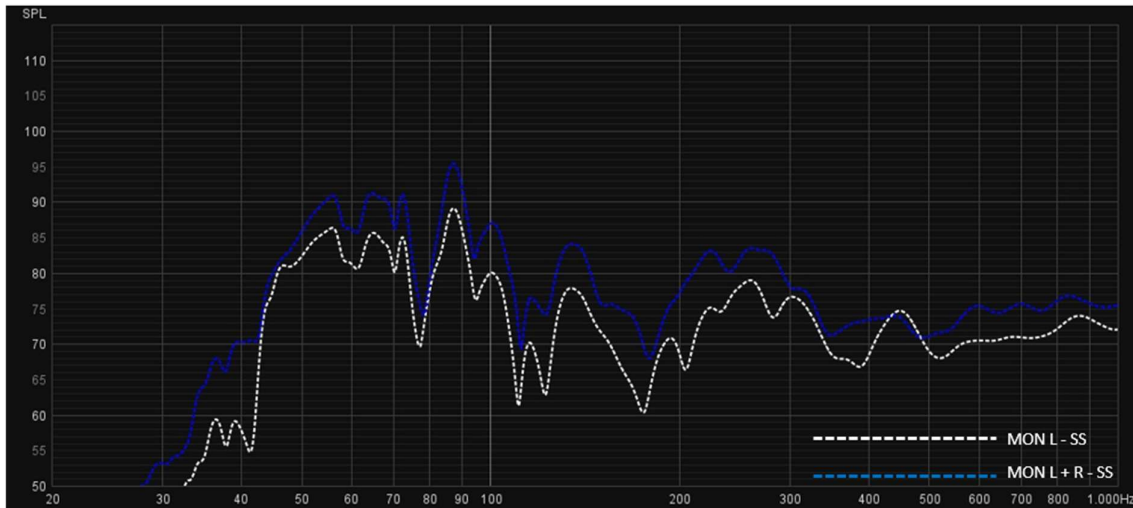


Figura 42 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Espaço Doméstico”

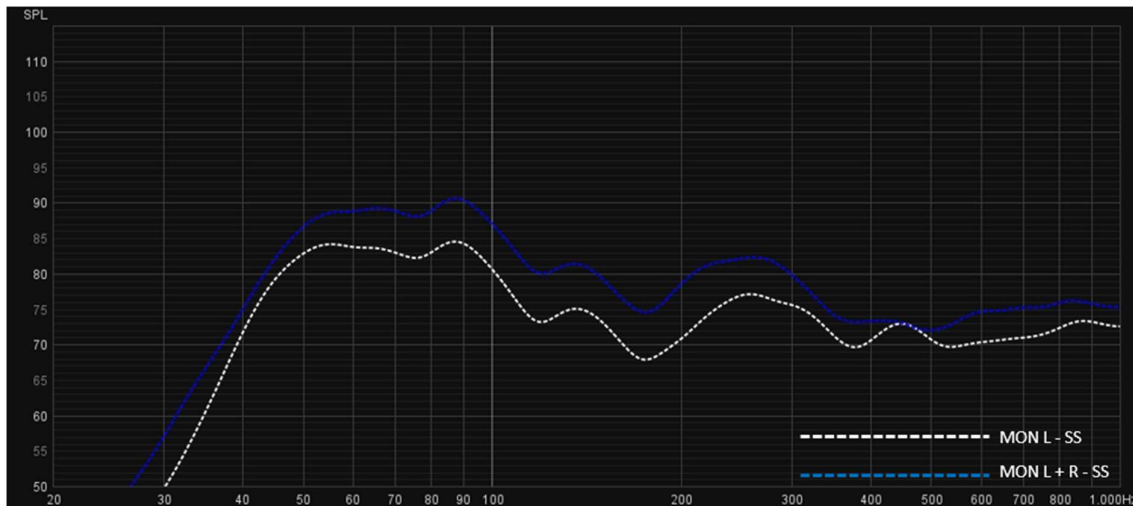


Figura 43 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Espaço Doméstico”.

A Figura 42 e Figura 43 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L +R – SS, com a Figura 43 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e ligeiras diferenças.

Na região mais grave do espectro, a radiação omnidirecional dos altifalantes resulta numa soma correspondente a um aumento de 6 dB de pressão sonora.

### 12.1.9 Análise da Reflexão do Chão

A reflexão do chão causa alterações na resposta em frequência (*comb filtering*), cujos efeitos são muito difíceis de colmatar, uma vez que o chão representa uma superfície sólida (refletora), necessária à utilização do espaço. Esta distorção é causada pela diferença entre o tempo de chegada do som direto e o tempo de chegada do som refletido, ao ponto de escuta. Considerando o esquema da Figura 44, em que se reconhece a altura do ponto SS como 1,25 m (a altura a que o microfone foi colocado para realizar a medição), e a altura dos altifalantes como 1,25 m (uma vez que não foi possível identificar o exato centro acústico dos altifalantes, 1,25 m serve como um valor médio), o atraso da reflexão do chão pode ser calculado recorrendo à Equação 24:

$$h = a^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Equação 24 – Equação para determinar a distância viajada pela reflexão do chão, no caminho entre a fonte sonora e o ponto de escuta

$h$  – Hipotenusa (consultar Figura 44);

$a$  – Altura dos altifalantes/ponto de escuta (m);

$d$  – Distância entre cada altifalante e o ponto de escuta (m)

$$\text{Atraso em segundos} = \frac{(2 * h) - d}{343}$$

Equação 25 – Equação que determina o atraso, em segundos, do tempo de chegada do som refletido (reflexão do chão) em relação ao som direto

$h$  – Hipotenusa (consultar Figura 44);

$d$  – Distância entre cada altifalante e o ponto de escuta (m)

$$f = \frac{1}{T}$$

Equação 26 – Equação do período da onda

$f$  – Frequência (Hz)

$T$  – Período (seg.)

Para converter o atraso calculado com a Equação 25 nas frequências afetadas, aplica-se a Equação 26. O resultado da Equação 26 e somas sucessivas deste valor corresponde aos sucessivos picos na resposta em frequência no ponto de escuta. O resultado da Equação 26 dividido por 2, com sucessivas somas do resultado original da equação, resultam nas frequências de corte. Para este estudo considera-se apenas o primeiro pico e o primeiro cancelamento.

Esta forma de cálculo será aplicada para todas as salas apresentadas, com o cálculo a basear-se nos princípios apresentados acima, sendo a única variável a distância aos altifalantes e, por consequência, as hipotenusas dos dois triângulos retângulos apresentados.

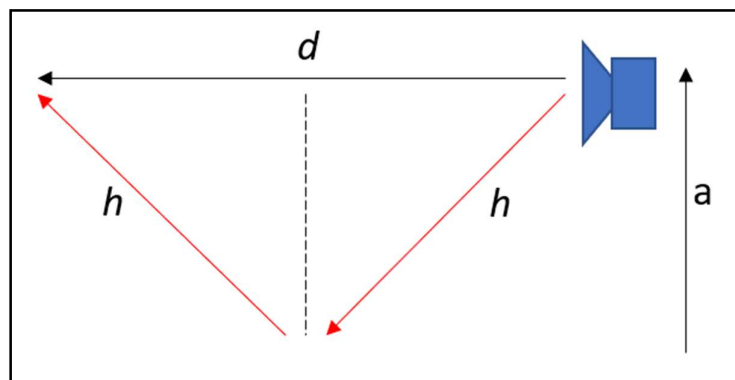


Figura 44 - Esquema de reflexão e consequente atraso da energia refletida pelo chão, em relação ao som direto.

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 245$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 123$  Hz ( $1^{\circ}$  cancelamento).

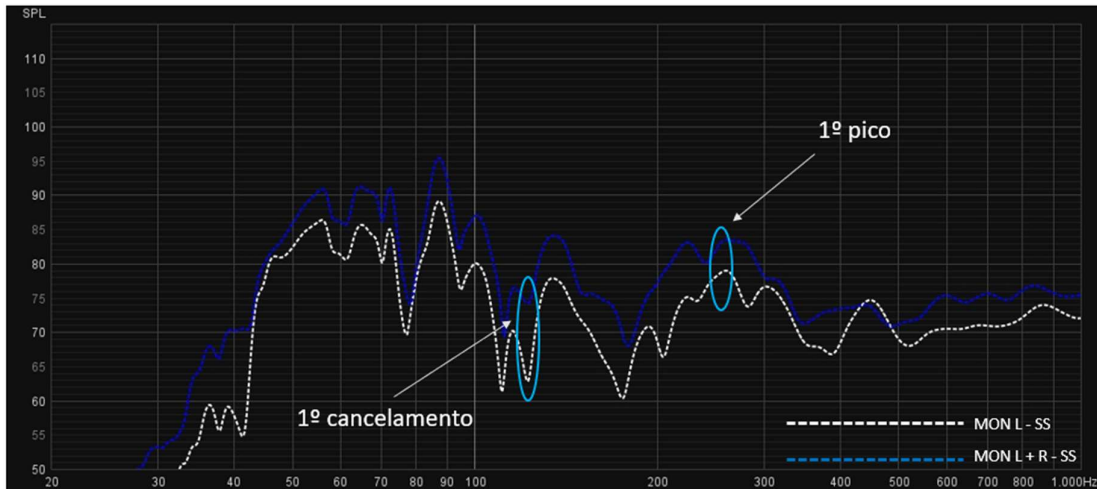


Figura 45 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “Espaço Doméstico”

Na Figura 45 estão identificados os pontos afetados pela reflexão do chão, sendo que o resultado dos cálculos é análogo a cortes e picos encontrados no gráfico apresentado de MON L – SS e MON L + R – SS. Também é possível verificar que os efeitos de cancelamento são menos vincados na medição MON L + R – SS.

### 12.1.10 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

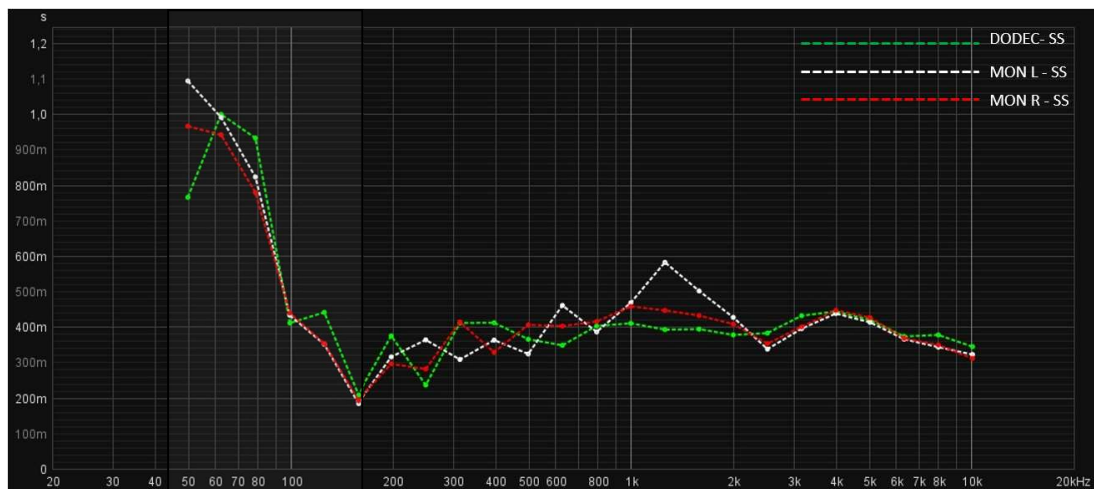


Figura 46 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "Espaço Doméstico"

A análise da Figura 46, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 160 Hz, na qual se verifica um aumento substancial do tempo de reverberação. Este comportamento é, provavelmente, causado pelo facto de alguns elementos de mobiliário da sala se comportarem como elementos absorventes às médias e altas frequências. As baixas frequências não encontram elementos presentes na sala que diminuam a sua energia, o que se manifesta com o respetivo tempo de decaimento mais longo.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

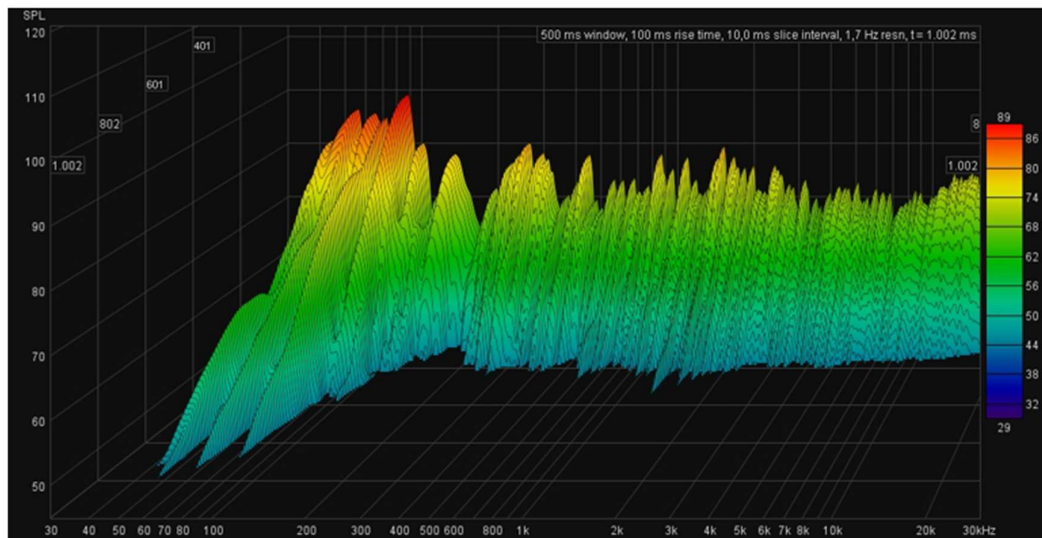


Figura 47 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “Espaço Doméstico”

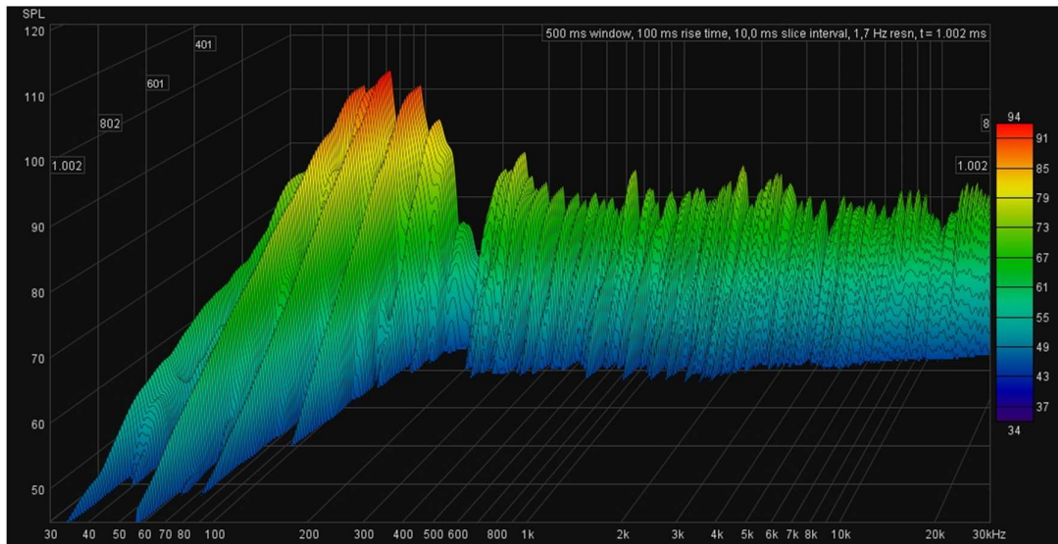


Figura 48 - Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

Comparando os decaimentos de MON L - SS (Figura 47) e MON L - BACK (Figura 48), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar, sendo a diferença mais relevante, a falta de energia na região dos 200 Hz e um decaimento mais longo nas frequências graves em MON L – BACK.

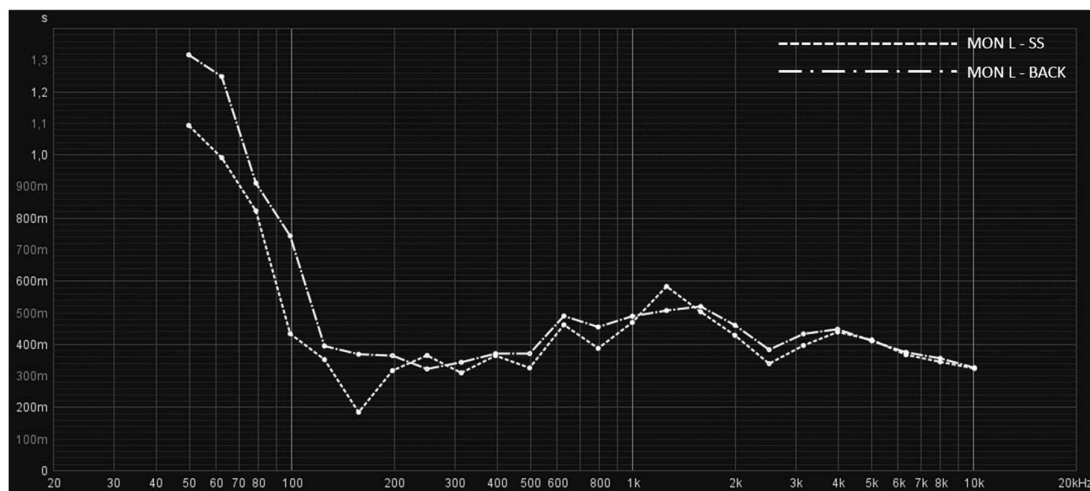


Figura 49 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

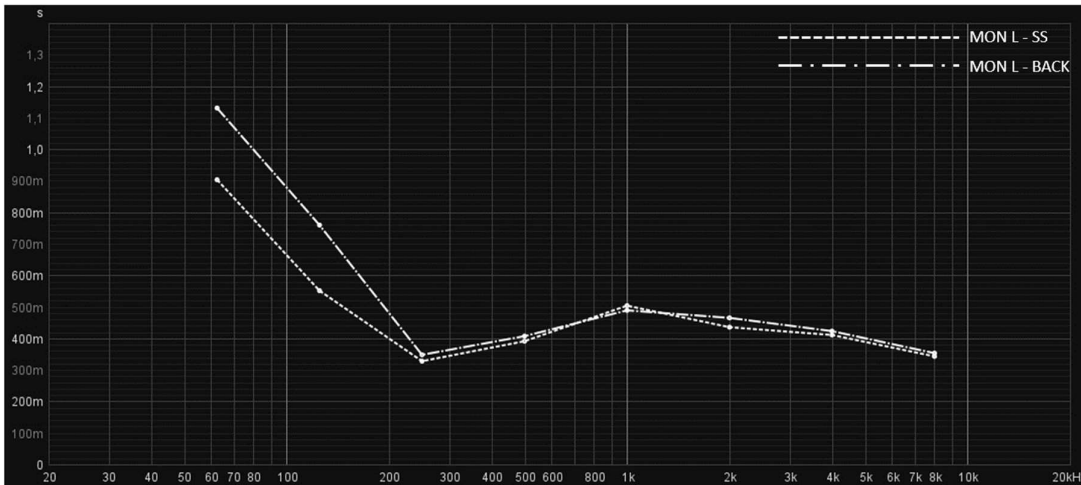


Figura 50 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

A Figura 49 e Figura 50 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro.

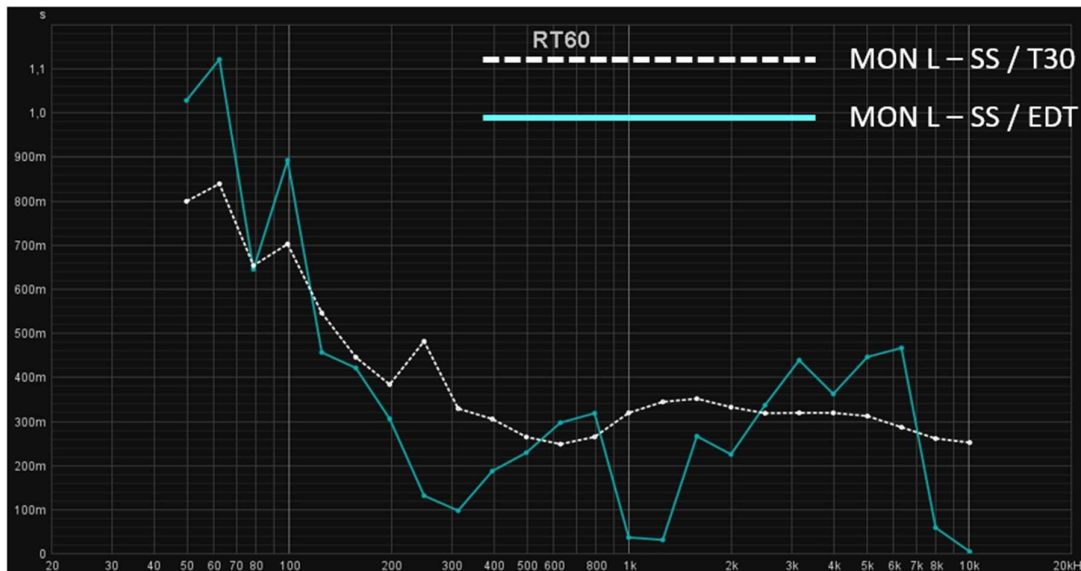


Figura 51 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “Espaço Doméstico”

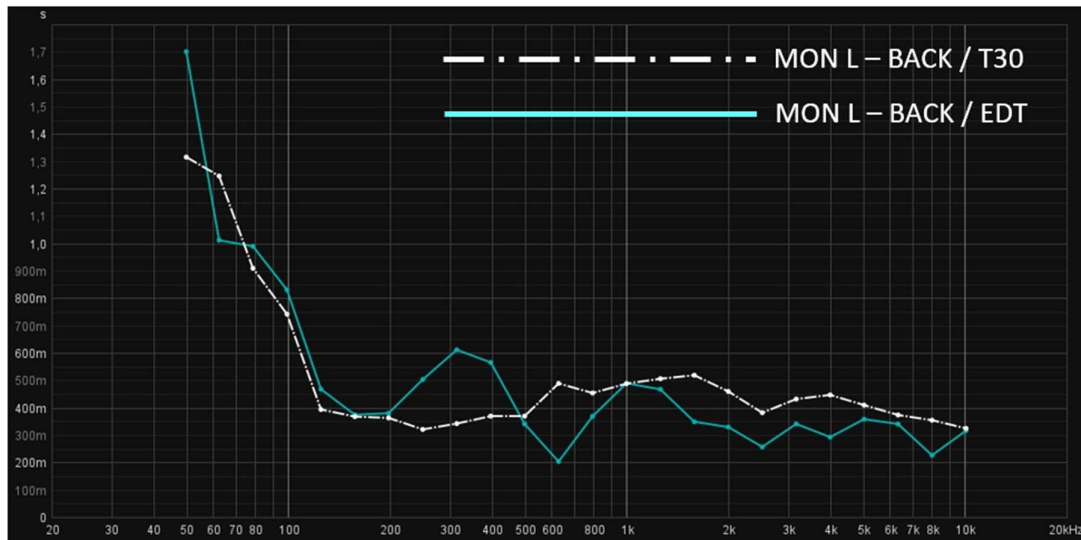


Figura 52 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

A análise da Figura 51 (MON L – SS) permite identificar algumas regiões como por exemplo perto dos 300 Hz, 1000 Hz e dos 10.000 Hz, nas quais se verifica um valor de EDT marcadamente inferior a T30, o que indica um tempo de decaimento inicialmente rápido nestas regiões, mas mais lento quando medido em intervalos de tempo mais longos. O restante espectro apresenta valores similares, o que sugere um decaimento linear da energia reverberante.

A Figura 52 (MON L – BACK) apresenta valores mais próximos entre EDT e T30, excluindo a banda centrada nos 300 Hz, na qual o valor de EDT é superior a T30 (este comportamento sugere um decaimento inicial lento nos momentos iniciais). Para a maioria do espectro, os valores de EDT e T30 são similares.

### 12.1.11 *Bass Ratio*

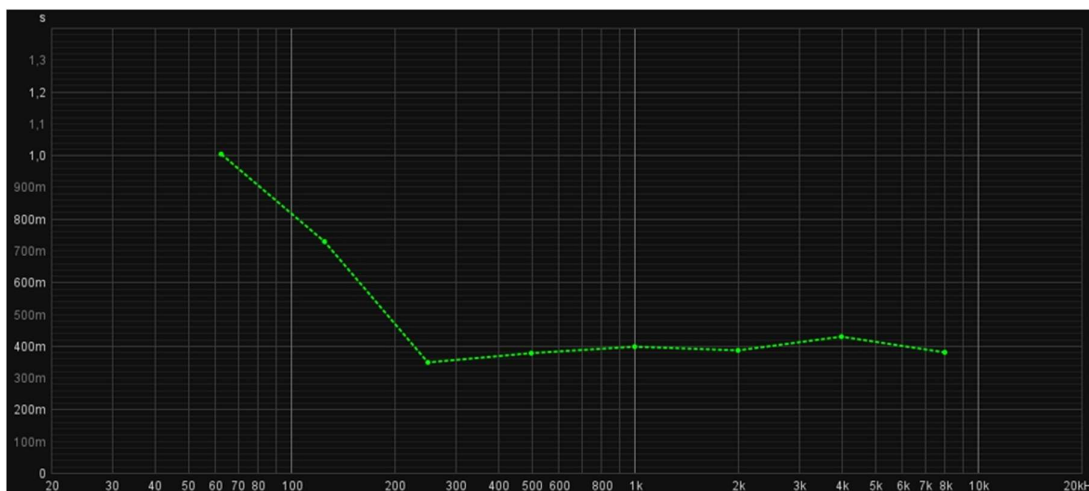


Figura 53 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “Espaço Doméstico”

Foi utilizado o par DODEC – SS para obter os valores de forma a calcular o *Bass Ratio* no ponto de escuta, porque se trata de uma medição realizada com uma fonte comum em todos os espaços, com o objetivo de comparar resultados e minimizar o número de variáveis. No ponto BACK, os dados para o cálculo do *Bass Ratio* foram retirados da medição MON L – BACK, uma vez que não se realizaram medições no ponto BACK com a fonte DODEC. Esta configuração foi utilizada para a avaliação do *Bass Ratio* em todas as salas.

O cálculo do Bass Ratio, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC - SS = 1,78
- *Bass Ratio* – MON L - BACK = 1,64

A consulta da Figura 53 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação das frequências graves (abaixo dos 250 Hz), quando comparado com o restante espectro.

Como referido no capítulo 6.6, pode-se considerar valores entre 1 e 1,2 como valores de referência.

Considerando o *benchmark*, também apresentado no capítulo 6.6, de que o tempo de reverberação a banda de 125 Hz não deve exceder 20% do tempo de reverberação da banda

de 1000 Hz, sendo que para a banda de 63 Hz, o tempo de reverberação não deve ser o valor na banda de 1000 Hz em mais de 80%. Assim sendo, os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,398 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0,732 seg.
- 63 Hz – RT60 = 1,015 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 83% RT (comparado com 1000 Hz);
- 63 Hz + 155% RT (comparado com 1000 Hz).

### 12.1.12 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

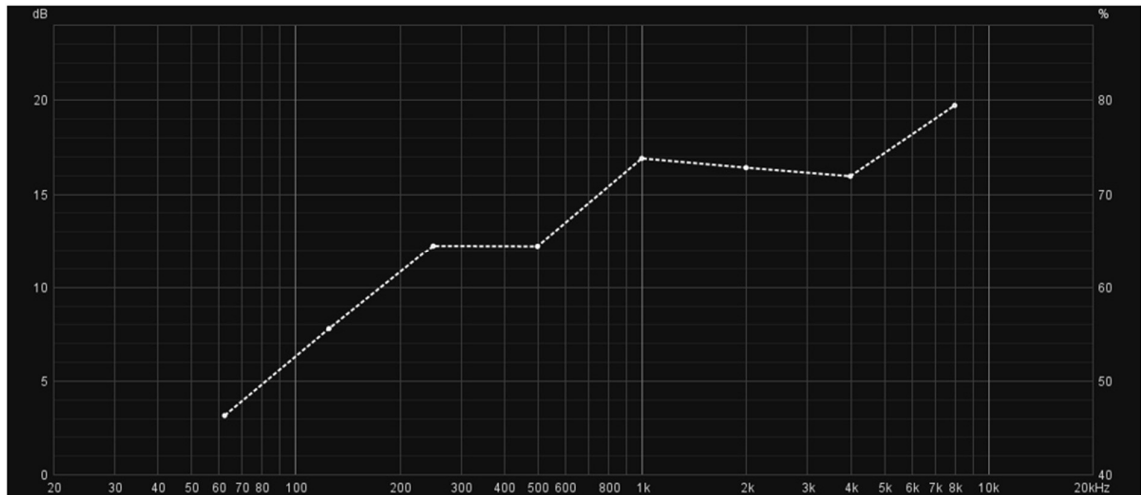


Figura 54 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “Espaço Doméstico”

Os valores de C50, apresentados na Figura 54, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 10,07 dB, para o par MON L – SS. No entanto, reconhecendo a necessidade de uma escuta que abranja todo o espectro audível e com a necessidade de valores de clareza em toda a gama de frequências, pode-se verificar que, abaixo da banda de 250 Hz, os valores são mais baixos e inferiores ao valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5.

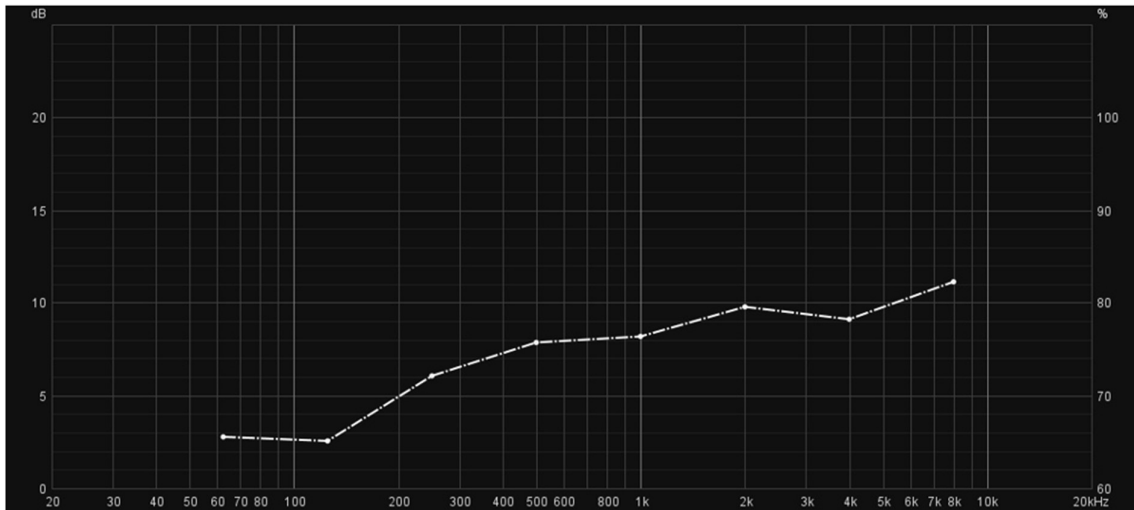


Figura 55 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “Espaço Doméstico”

O gráfico da Figura 55 representa os valores de C50 para o par MON L – BACK. O valor médio de C50 para as bandas entre os 500 Hz e 4000 Hz é de 8,73 dB. Este valor é mais baixo, quando comparado com o par MON L – SS.

Como no par MON L – SS, os valores de C50 são mais baixos nas de oitava de 63 HZ e 125 Hz.

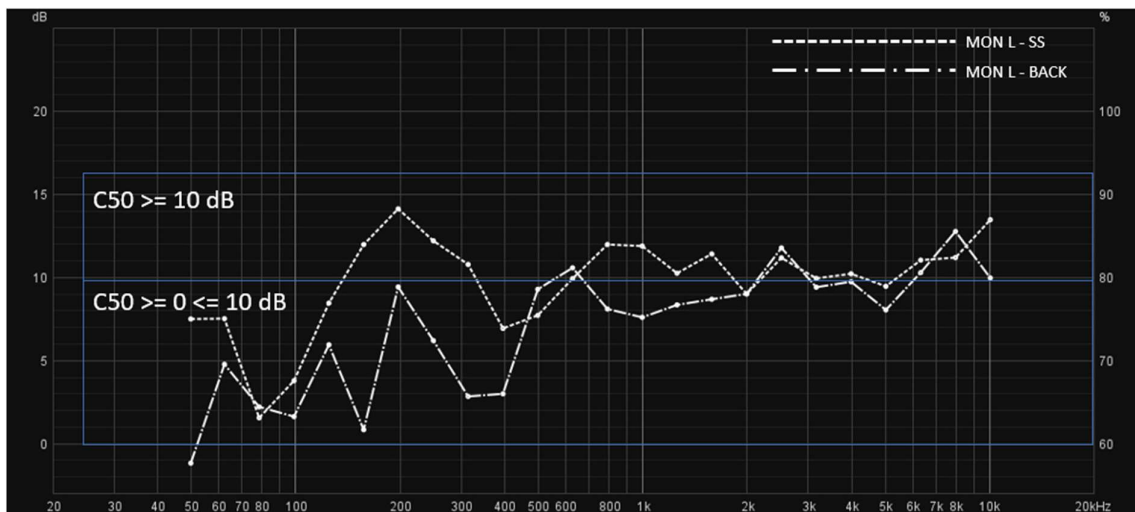


Figura 56 – Distribuição dos valores de C50, destacando os valores abaixo de 10 dB e acima de 10 dB, para a sala “Espaço Doméstico”

A Figura 56 apresenta os valores de C50 para os pares MON L – SS e MON R – SS, com as zonas de destaque a demarcarem as regiões abaixo e acima dos 10 dB. É possível visualizar as regiões abaixo dos 10 dB, sobretudo no par MON L – BACK.

### 12.1.13 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

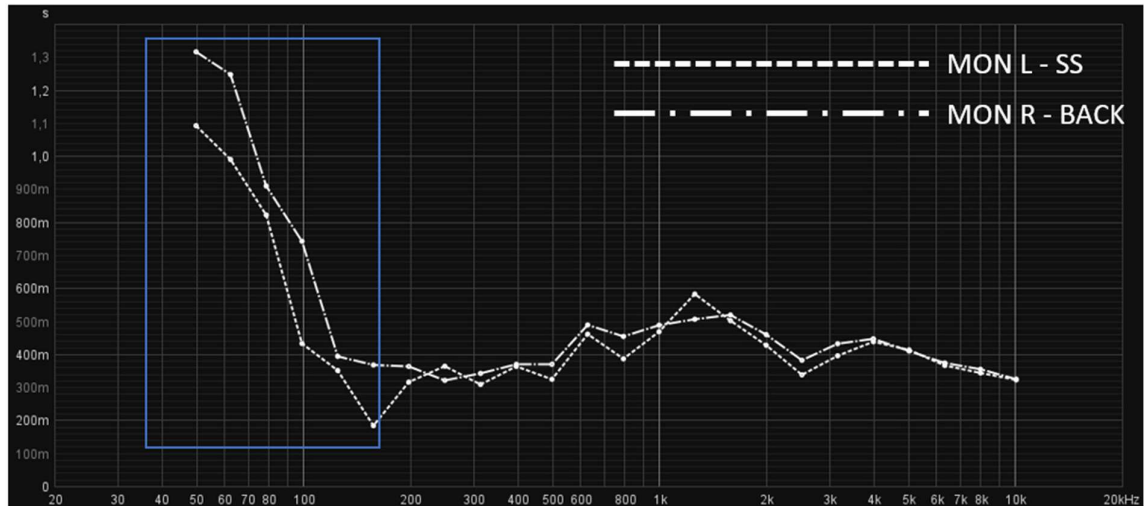


Figura 57 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

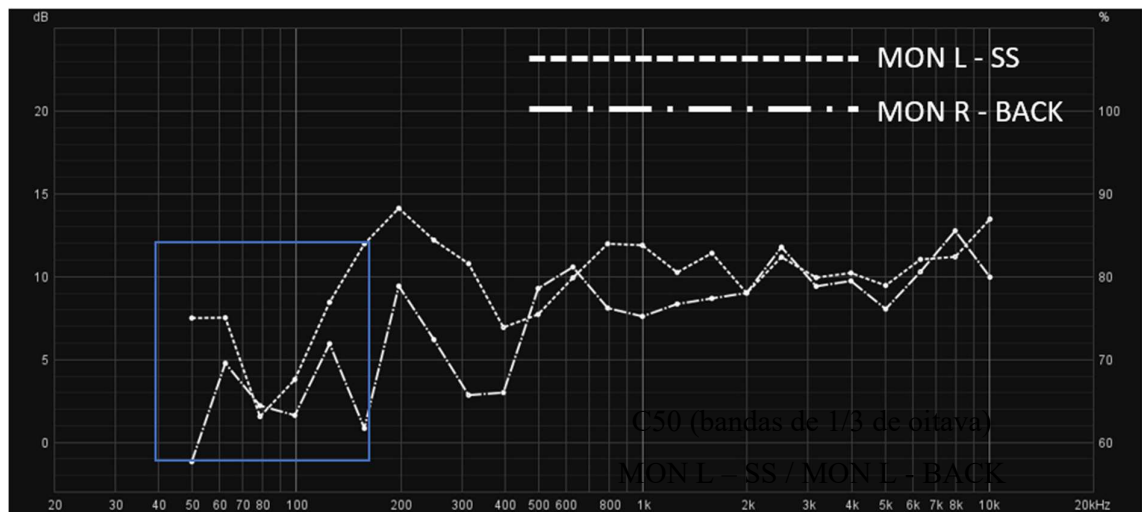


Figura 58 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.

Consultando a Figura 57 e a Figura 58, é possível verificar que na região abaixo dos 160 Hz o aumento do T30 tem uma relação direta com a diminuição do parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave.

### 12.1.14 Resposta em Frequência

A linhas de tendência apresentadas nos gráficos do presente capítulo, são obtidos através da média do valor de energia medido em cada banda de 1/3 de oitava, em cada medição. Os gráficos dos capítulos análogos às restantes salas são obtidos segundo a mesma fórmula.

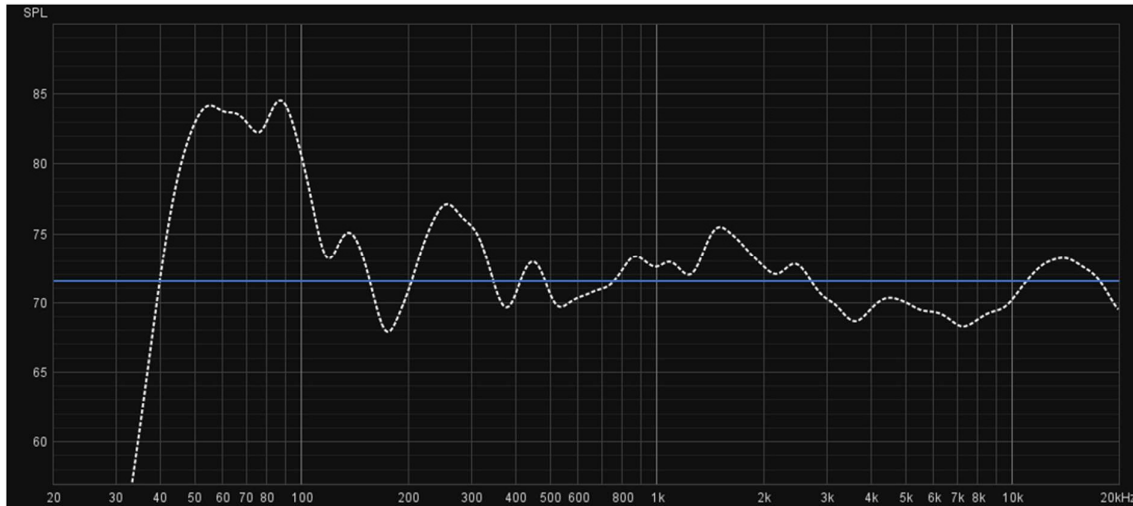


Figura 59 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “Espaço Doméstico”

A resposta em frequência apresentada na Figura 59, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 71,47 dB
- Desvio Médio Absoluto: 4,42 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 30,17 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,67 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,66 dB

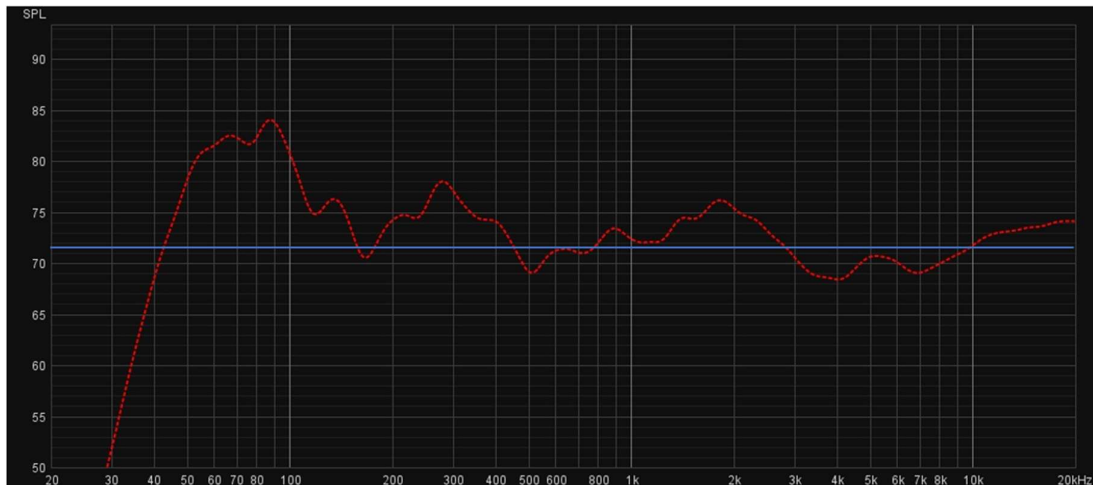


Figura 60 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “Espaço Doméstico”

A resposta em frequência apresentada na Figura 60, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 71,84 dB
- Desvio Médio Absoluto: 4,41 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 28,94 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,01 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,27 dB

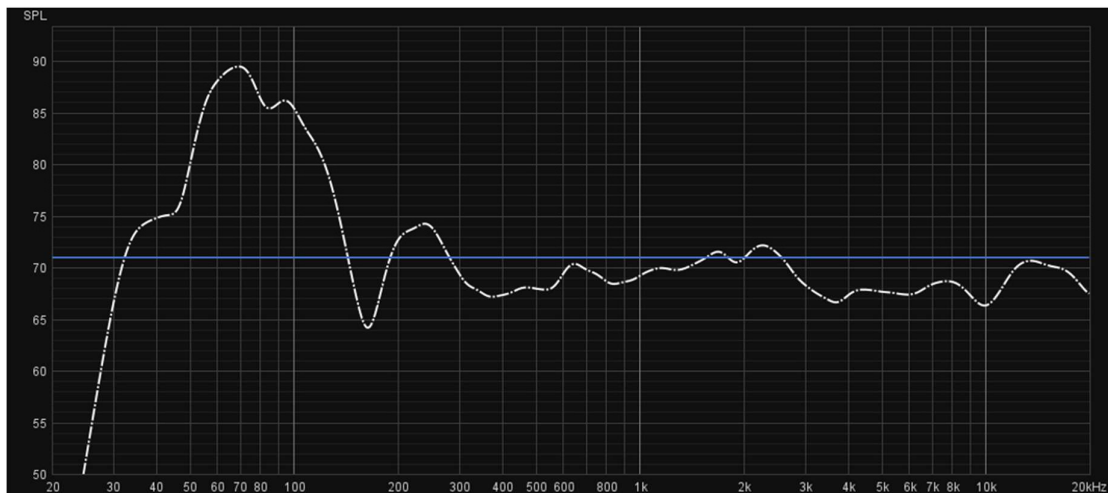


Figura 61 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

A resposta em frequência apresentada na Figura 61, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 71,15 dB
- Desvio Médio Absoluto: 4,41 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 28,94 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,56 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,34 dB

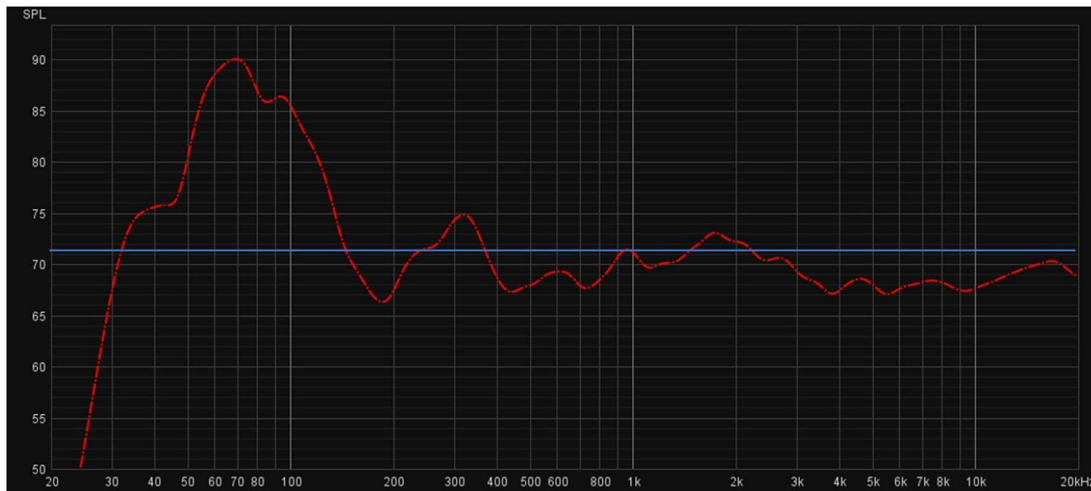


Figura 62 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “Espaço Doméstico”

A resposta em frequência apresentada na Figura 62, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 71,53 dB
- Desvio Médio Absoluto: 4,80 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 19,23 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,85 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,73 dB

## 12.2 ESMAE – Estúdio B

### 12.2.1 Caracterização do Espaço

- Considerando fronteiras estruturais:
- Comprimento: 6,42 m
- Largura: 3,67 m
- Altura: 5,09 m
- Volume: 119,93 m<sup>3</sup>
- Antecâmara que acrescenta 1,87 m de comprimento, o que aumenta o volume total para 155,23 m<sup>3</sup>.

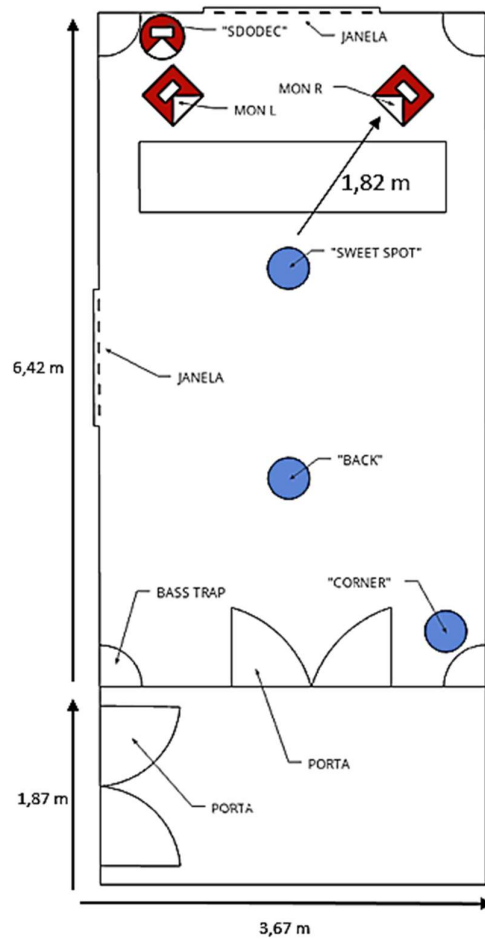


Figura 63- Visão planta da sala "ESMAE – Estúdio B"

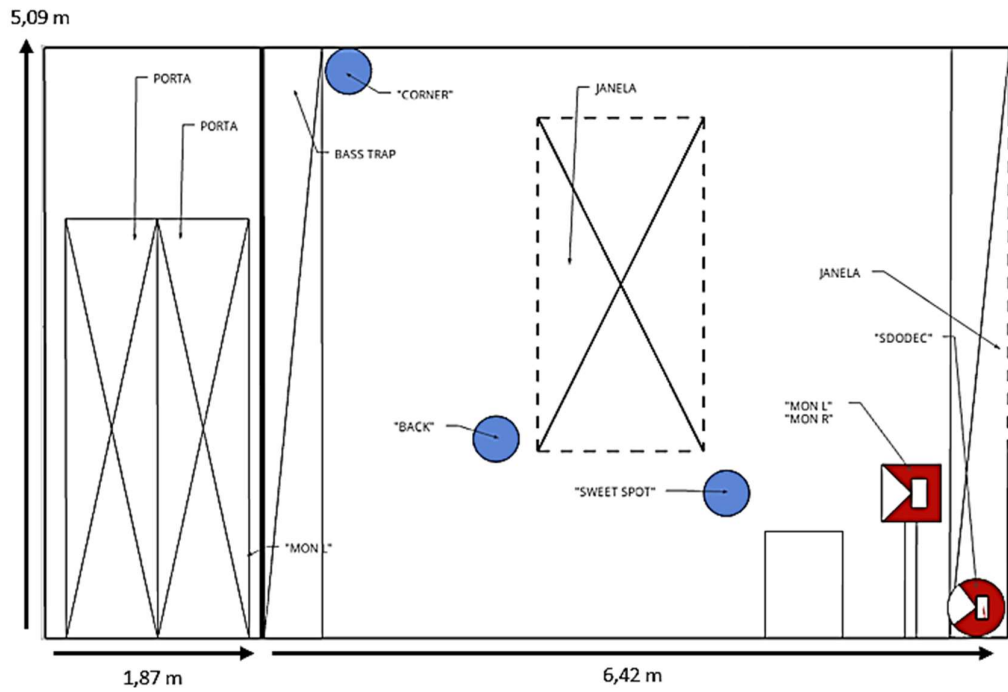


Figura 64 - Visão em corte da sala "ESMAE – Estúdio B"

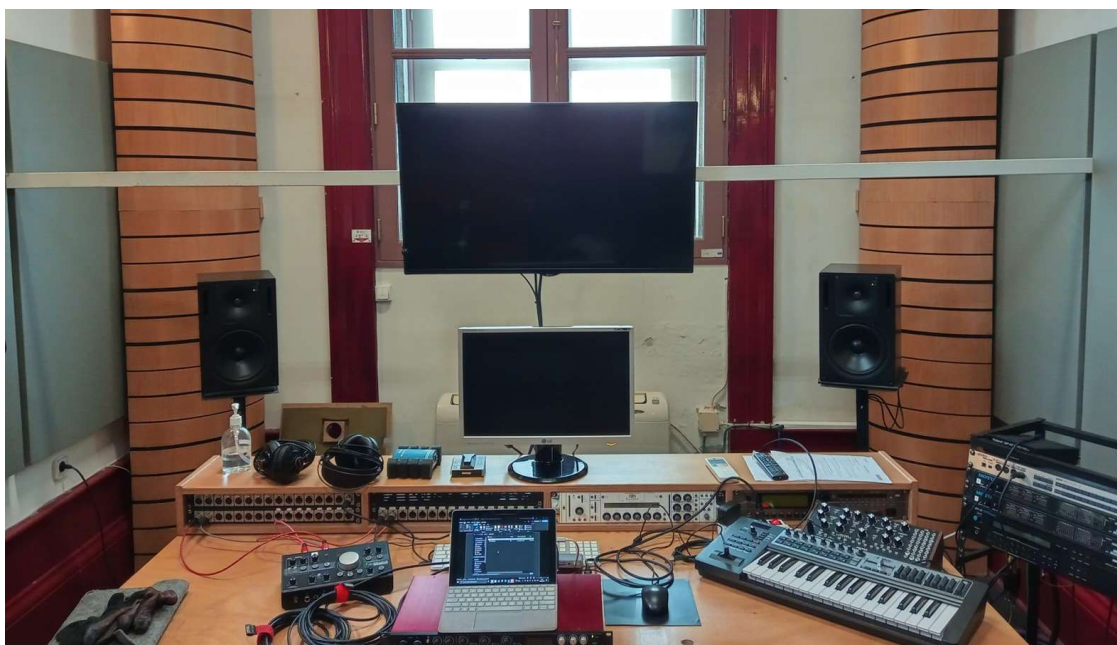


Figura 65 - Fotografia 1 da sala " ESMAE – Estúdio B ". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço

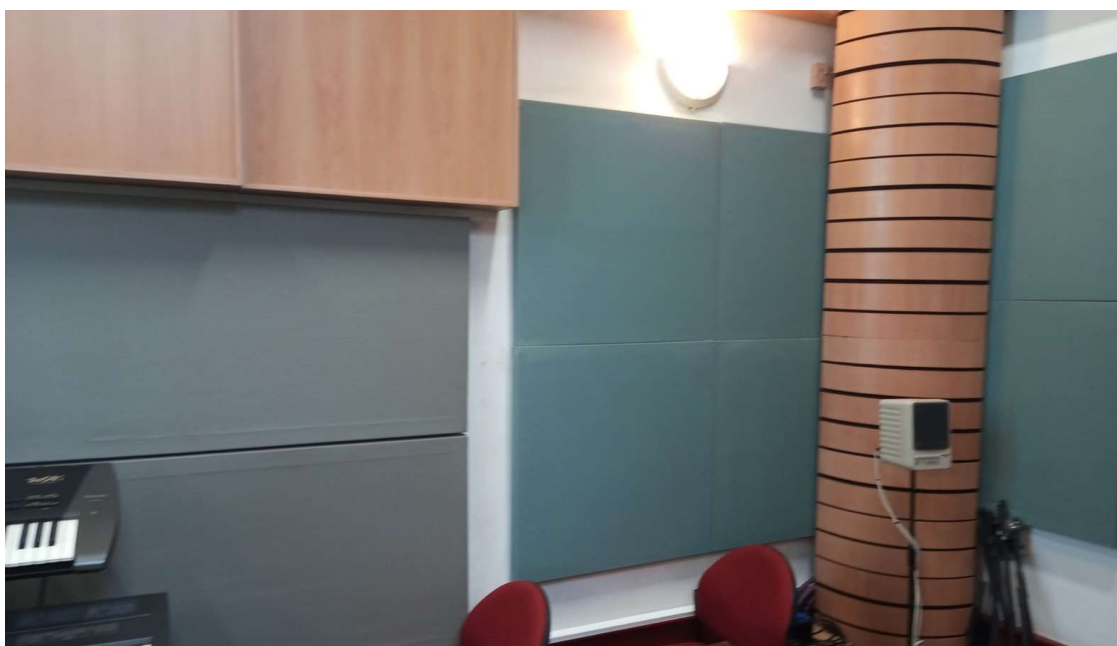


Figura 66 - Fotografia 2 da sala " ESMAE – Estúdio B "

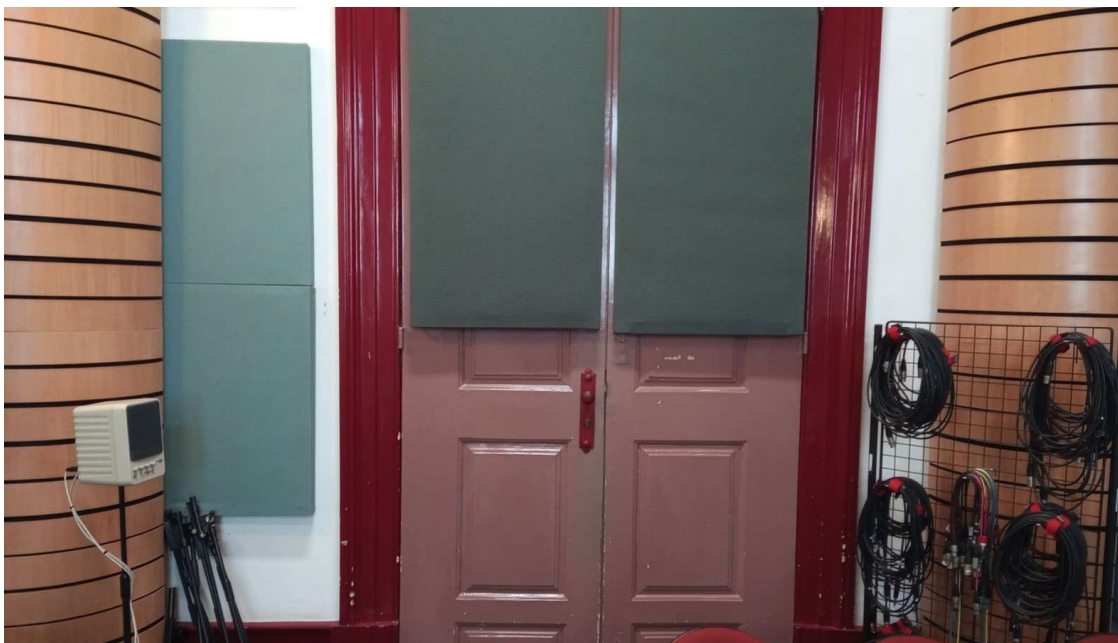


Figura 67 - Fotografia 3 da sala " ESMAE – Estúdio B "



Figura 68 - Fotografia 4 da sala " ESMAE – Estúdio B "



Figura 69- Fotografia 5 da sala "ESMAE – Estúdio B"



Figura 70 - Fotografia 6 da sala "ESMAE – Estúdio B"



Figura 71 - Fotografia 7 da sala "ESMAE – Estúdio B"

- As paredes visíveis são as paredes estruturais;
- Estúdio situado numa zona movimentada de uma escola (ESMAE);
- 2 janelas;
- Aparelho de ar condicionado;
- Painéis com cerca de 5 cm de espessura nas paredes laterais traseiras e teto;
- Painéis nas paredes compostos por um conjunto de elementos de absorção e painéis diafragmáticos (membrana);
- Teto conta somente com painéis de absorção;
- Difusor 3D na parede esquerda, em frente à janela;
- Parede frontal (atrás dos altifalantes) sem painéis aplicados;
- 4 Bass traps (1 por canto);
- Porta ao fundo da sala (dupla folha).

### 12.1.2 Áreas e Volumes

Área bruta m <sup>2</sup>	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
23,56 m <sup>2</sup>	0,64 m <sup>2</sup>	2,7%

Tabela 4 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Estúdio B”

Volume bruta m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
119,93 m <sup>3</sup>	3,25 m <sup>3</sup>	2,7%

Tabela 5 - Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Estúdio B”

### 12.2.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “ESMAE – Estúdio B”, estão disponíveis no Anexo 2. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: GENELEC® 1031A\*
- Sistema de colunas bi-amplificado de duas vias;
- Woofer de 8”
- Tweeter de 1”
- Bass Reflex (*front ported*)
- Resposta em frequência: 48 Hz - 22 kHz ( $\pm 2$  dB)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R.

\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espço acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 1,82m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 48 Hz
- $Distância^2 = 3,3$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 1,42$

### 12.2.4 Função de Resposta ao Impulso

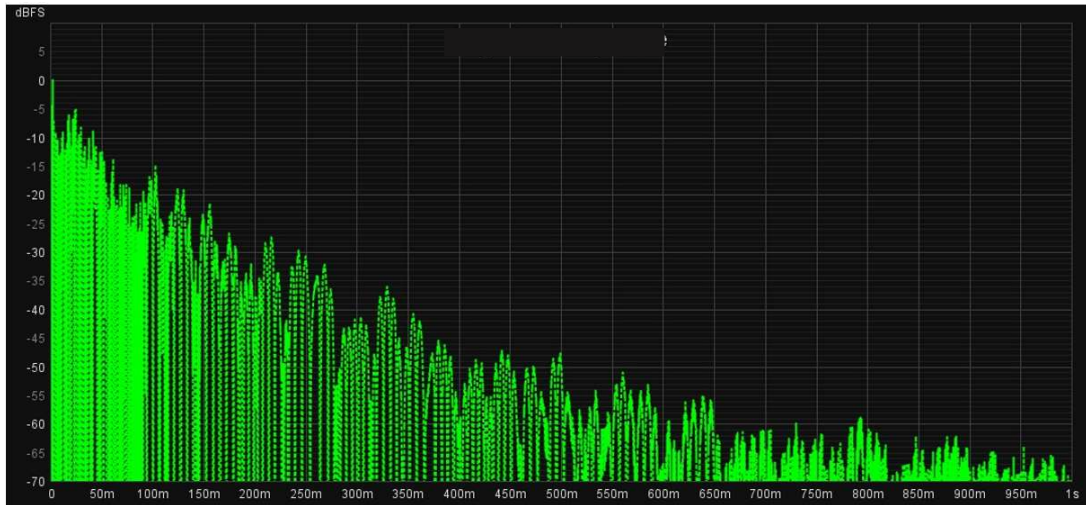


Figura 72 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Estúdio B”

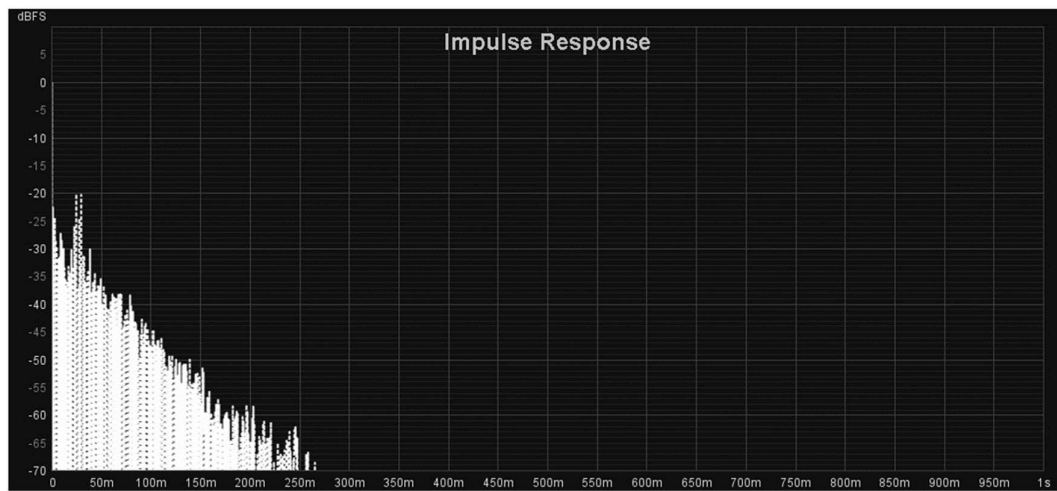


Figura 73- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala ESMAE – Estúdio B”

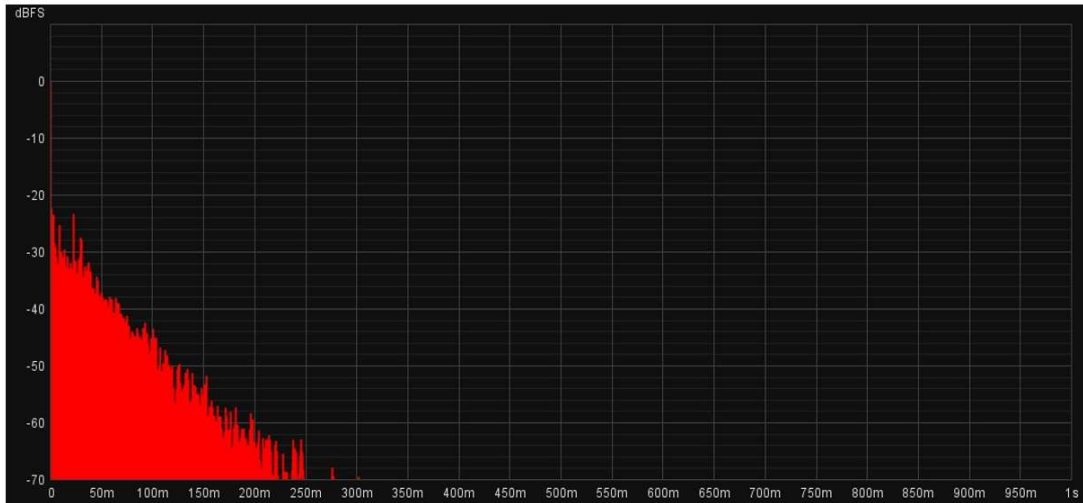


Figura 74 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 72, Figura 73 e Figura 74 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

### 12.2.5 Análise das Reflexões Especulares

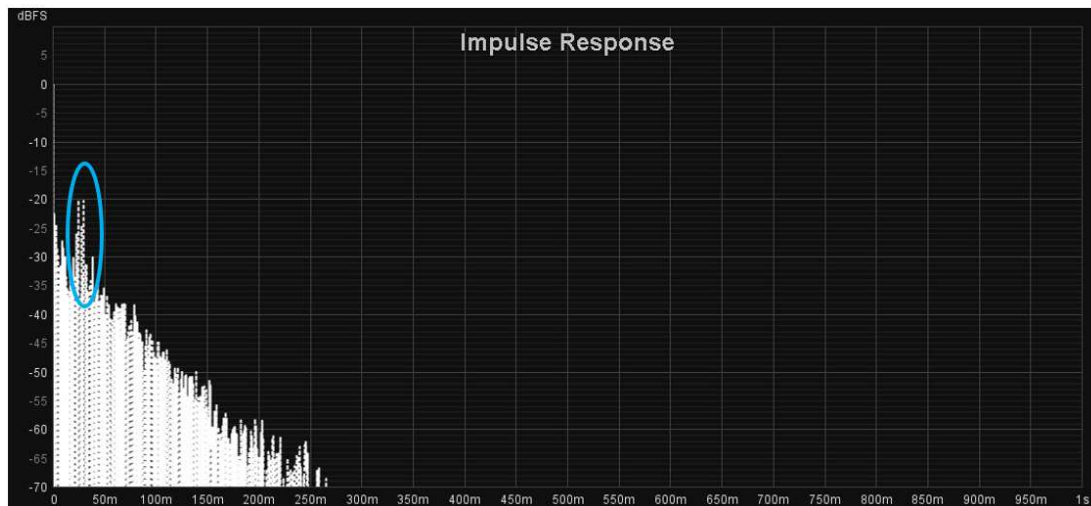


Figura 75 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B”

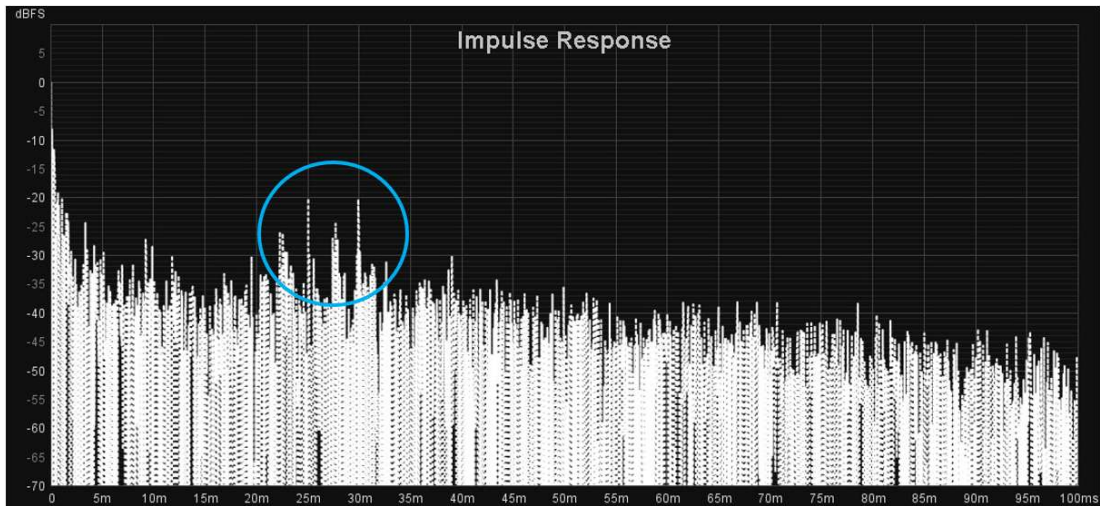


Figura 76 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Analisando o par MON L – SS é possível verificar na Figura 75 a existência de algumas reflexões que se destacam da restante energia correspondente ao normal decaimento do campo reverberante da sala. Na Figura 76, pode-se verificar existe energia associada a reflexões especulares entre os 22 ms e 30 ms.

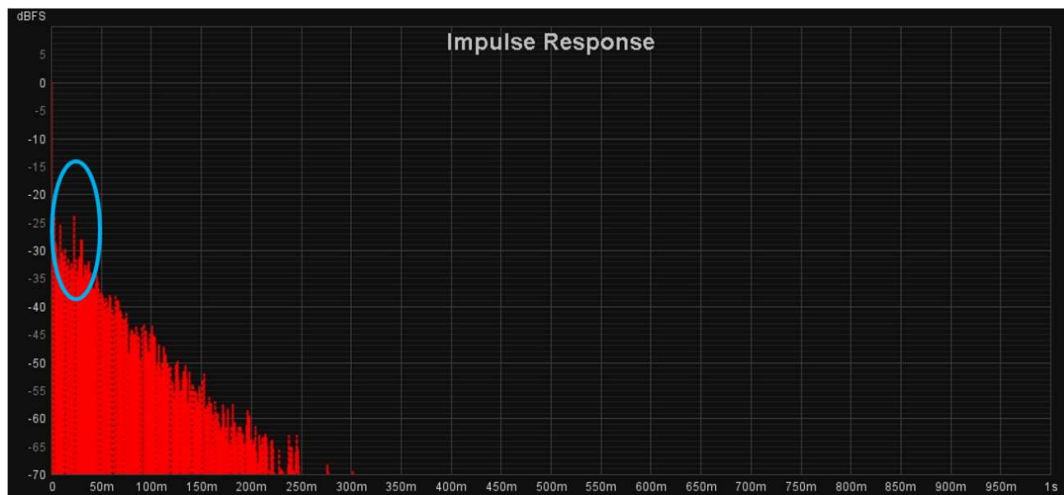


Figura 77 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B”

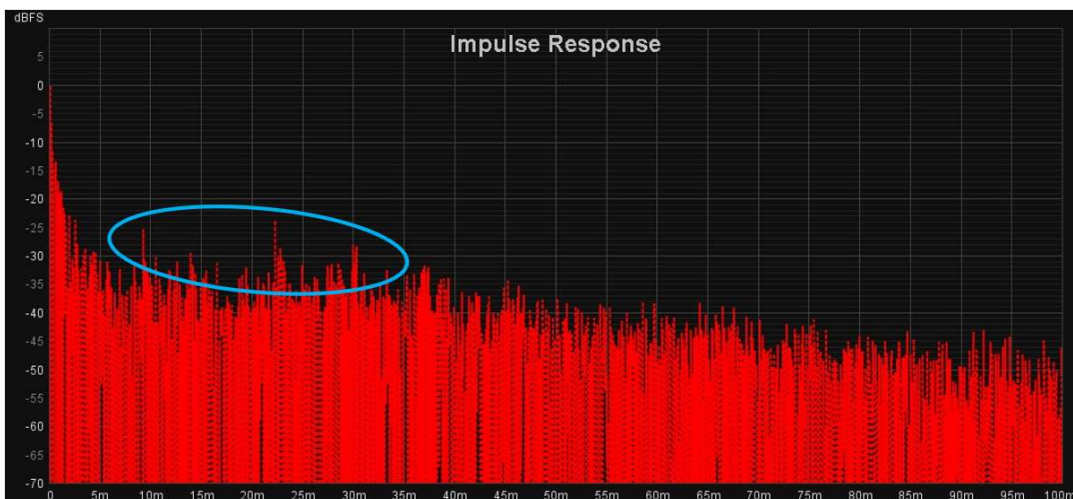


Figura 78 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Para o par MON R – SS, o comportamento das reflexões especulares é diferente de MON L – SS, com as reflexões identificadas (Figura 78) a apresentarem um maior espaçamento entre si. As reflexões identificadas estão contidas entre 9 ms e 30 ms após o impulso inicial.

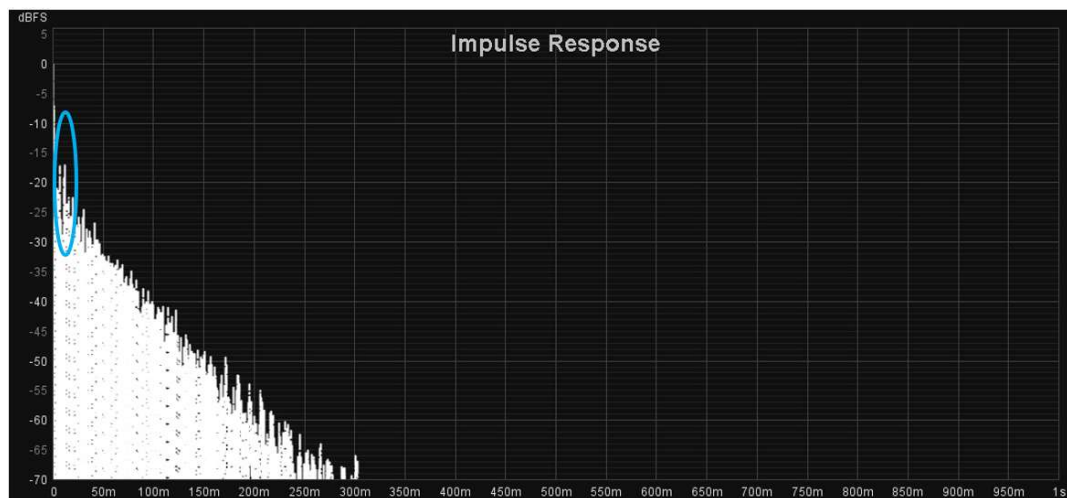


Figura 79 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Estúdio B”

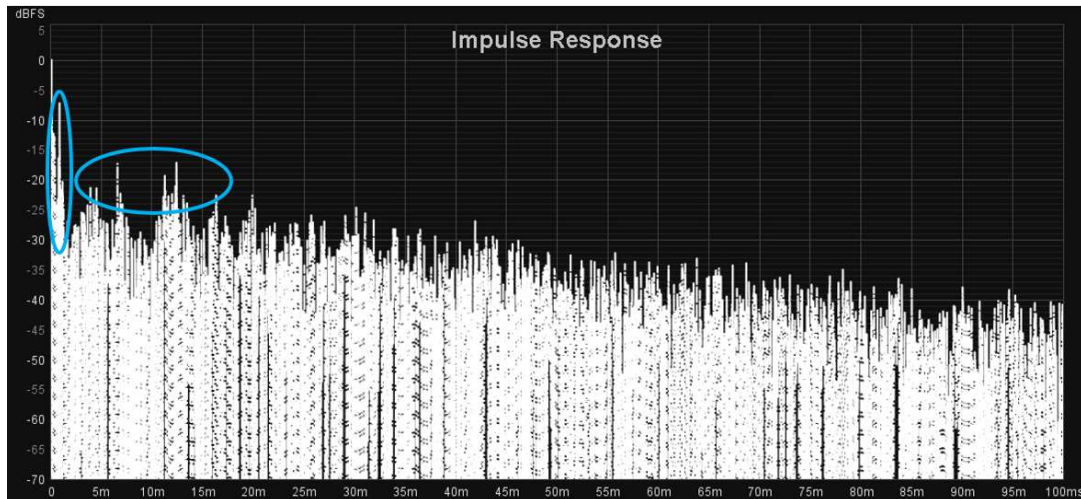


Figura 80 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento com algumas diferenças em relação ao ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 80, são mais próximas ao impulso inicial quando comparadas com as analisadas no ponto SS, e deverão ter proveniência da porta da sala, que se apresenta como uma superfície refletora, mais próxima do ponto de medição BACK.

### 12.2.6 Initial Time Delay Gap (ITDG)

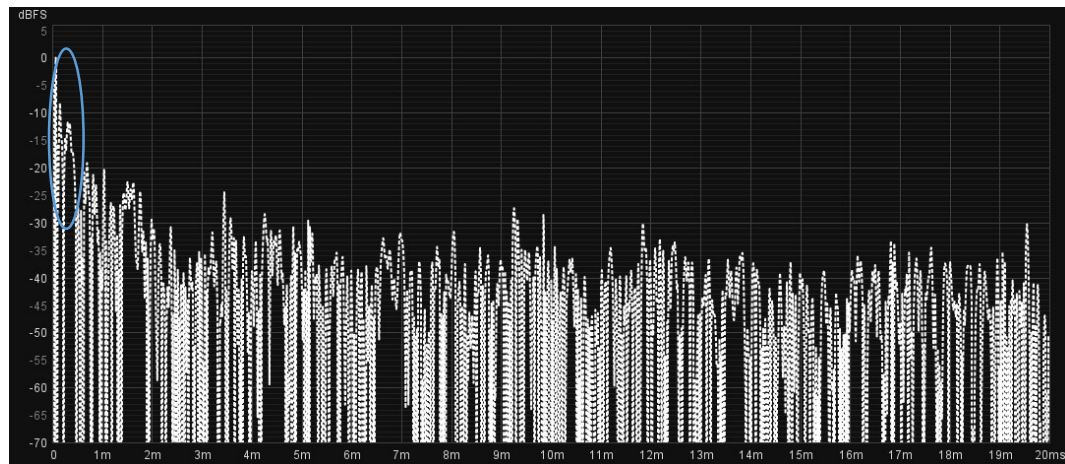


Figura 81 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Estúdio B”

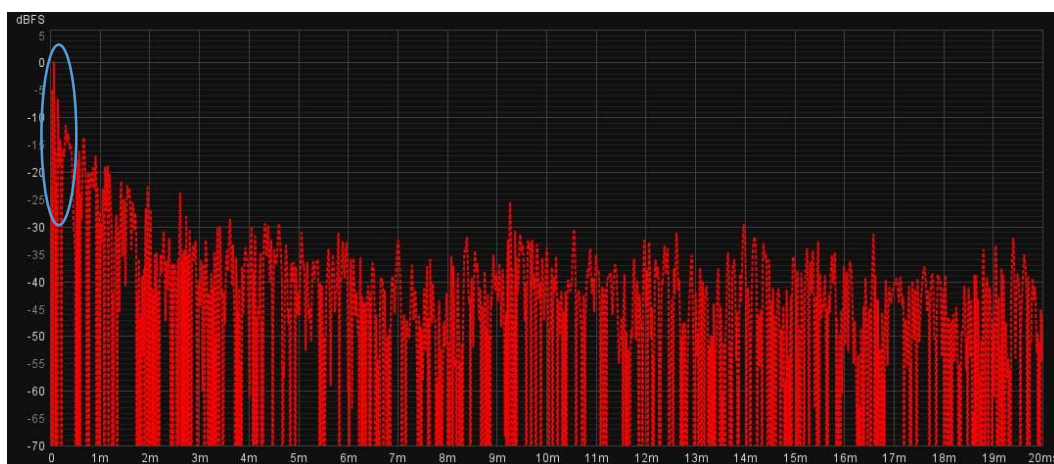


Figura 82 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Para os pares MON L – SS (Figura 81) e MON R – SS (Figura 82) é possível identificar alguma energia, junto do impulso inicial, com cerca de -8 dB e -6dB, respetivamente.

### 12.2.7 Análise Modal

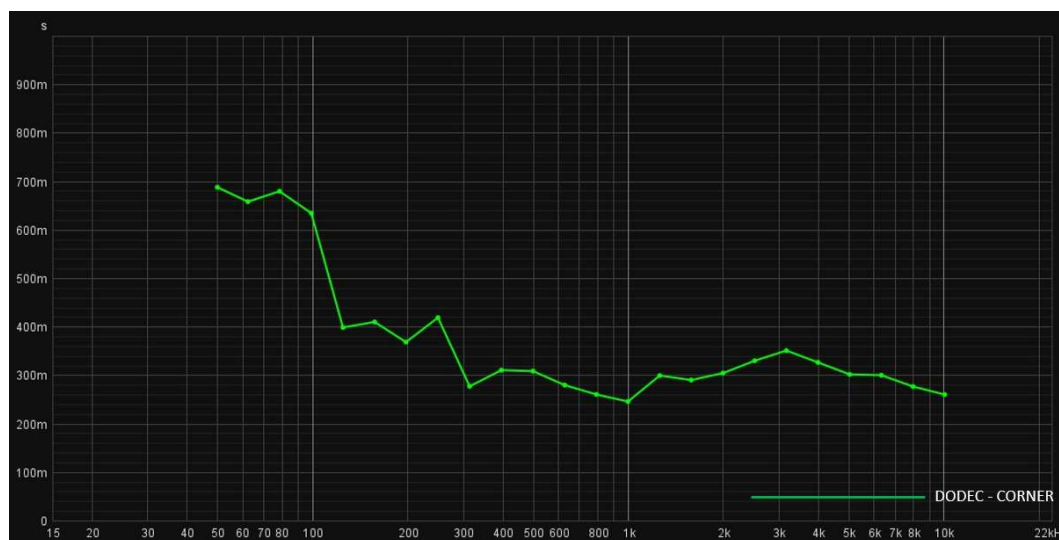


Figura 83 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Estúdio B”.

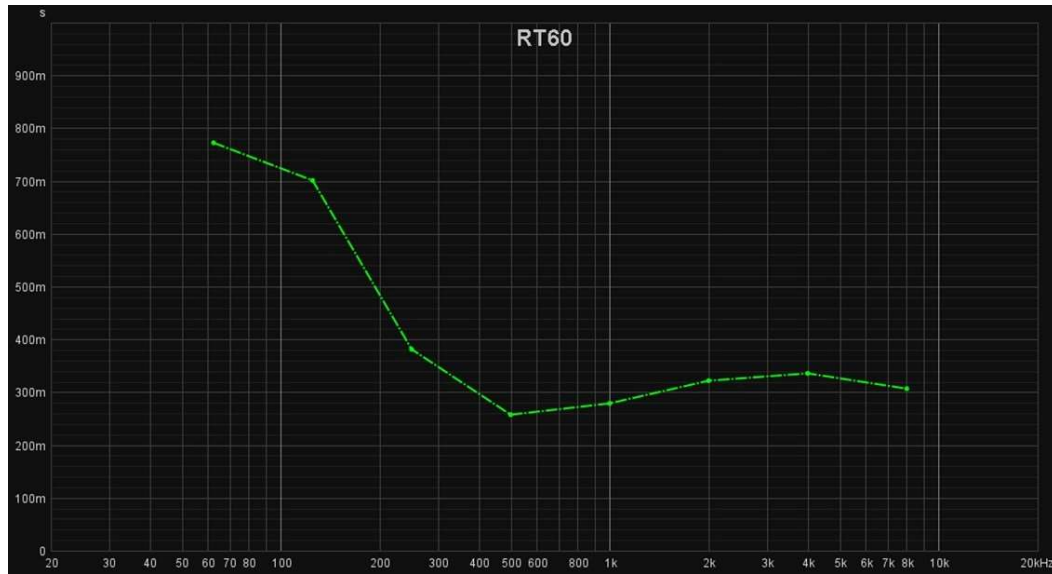


Figura 84 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 83 e Figura 84 representam a T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas frequências abaixo de 300 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* bastante acima de 1, como será abordado no capítulo 14.2.9.

A gama de frequências contida na região modal, para a sala “ESMAE – Estúdio B” é dependente das dimensões do espaço e, no caso do seu limite superior, também pelo tempo de reverberação.

Frequência de Não-Suporte	27 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,421seg.))	119 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1122 Hz

Tabela 6 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “ESMAE – Estúdio B”

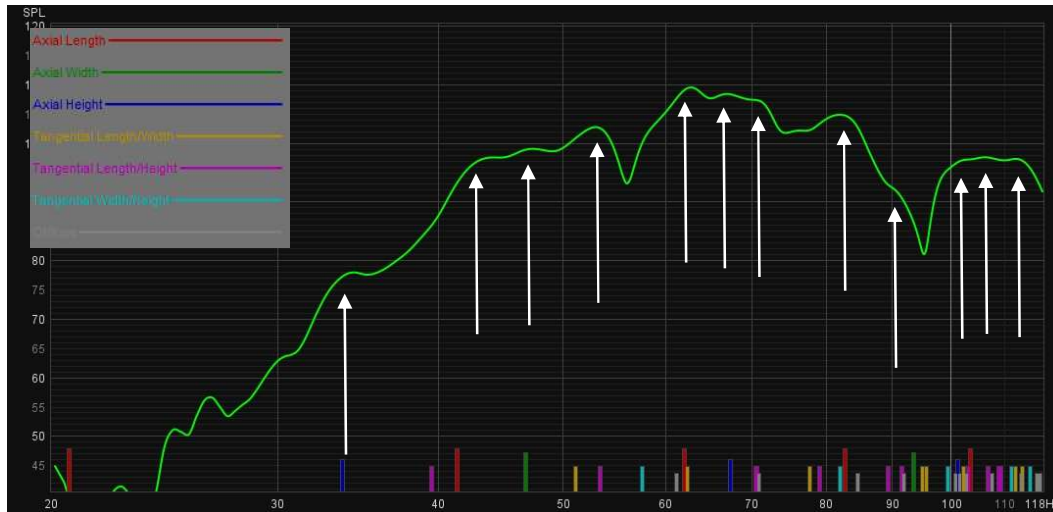


Figura 85 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Estúdio B”, considerando o comprimento de 6,42 m

Na Figura 85, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 119 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço.

Pelo gráfico (Figura 85), é possível observar que para muitas das frequências de atividade modal calculadas pelo *software* REW, existem pontos de pressão coincidentes, ou próximos na medição DODEC – CORNER.

As discrepâncias devem-se ao facto de o modelo de cálculo teórico não considerar aberturas nas fronteiras do espaço (portas e janelas), ou comportamentos diferentes dos materiais que compõem as fronteiras do espaço; todos os materiais são considerados totalmente refletoras para todo o espectro. No caso da sala “ESMAE – Estúdio B”, a antecâmara está separada do espaço principal por uma porta cuja densidade não é elevada, pelo que é possível que, para algumas bandas de frequência, esta deixa de se comportar como um limite fronteiro do espaço, o que resulta nas dimensões da antecâmara a influenciar o comportamento modal do espaço.

No gráfico estão identificados (com setas brancas) 12 pontos de pressão, que correspondem às reais frequências modais do espaço.

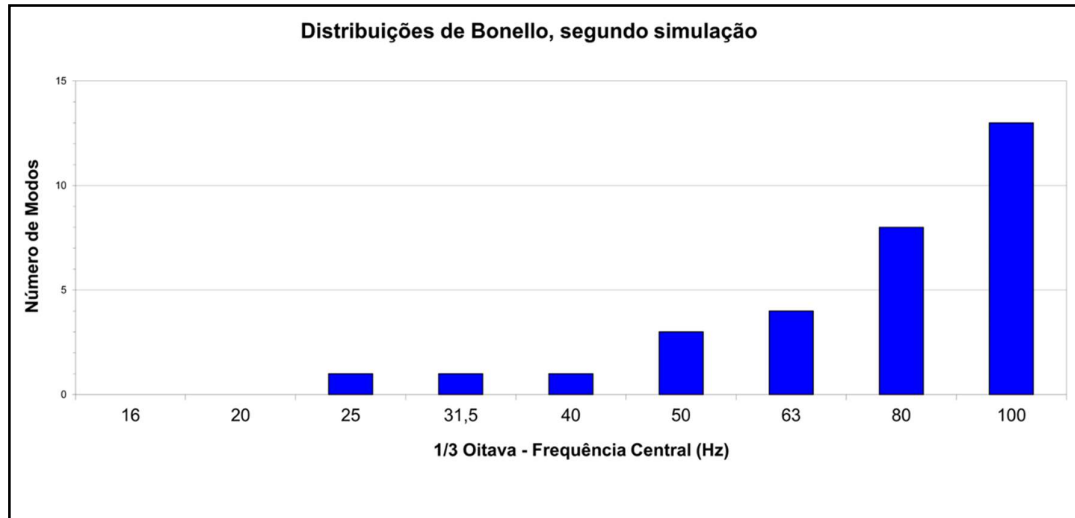


Figura 86 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Estúdio B”, considerando as dimensões de 6,42 m x 3,67 m x 3,09 m

A Figura 86 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura (que não incluem a antecâmara). Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração”, uma vez que cada banda tem um número superior, ou pelo menos igual de modos associados em relação à banda anterior.



Figura 87 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 87 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A área

destacada trata-se da região modal calculado para o espaço, sendo que os picos e vales são maioritariamente coincidentes. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

Também é possível observar conjuntos de picos e cancelamentos acima da região assinalada (zona modal) até cerca dos 200 Hz.

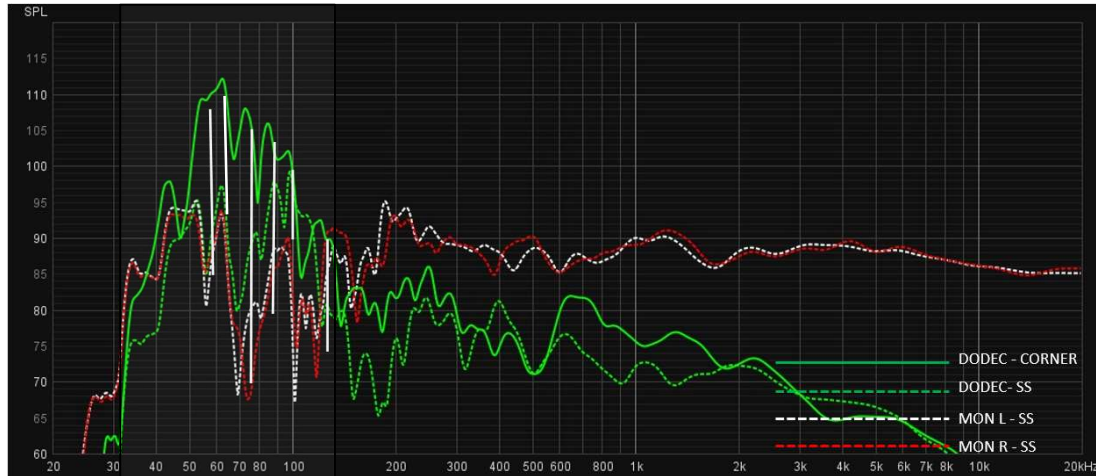


Figura 88 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

Na Figura 88 é feita uma comparação entre os pares MON L / MON R e DODEC – SS com o par DODEC – CORNER, de forma a tentar identificar coincidências entre os pontos de pressão encontrados na medição DODEC – CORNER (frequências de atividade modal) e as restantes fontes no ponto SS. Foi possível identificar 6 pontos de pressão no par DODEC – CORNER, que se manifestam como picos ou cancelamentos na resposta em frequência de MON L e MON R. A maioria dessas irregularidades na resposta de MON L e MON R no ponto SS também podem ser verificados no par DODEC – SS, o que prova que as mesmas não são resultado da resposta dos monitores em questão, ou do posicionamento dos mesmos.

O gráfico da Figura 89 apresenta apenas os pares DODEC – CORNER e MON L – SS, de forma a facilitar a visualização da coincidência dos pontos de pressão em DODEC – CORNER, com os picos/cancelamentos da resposta medida em MON L – SS.



Figura 89 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

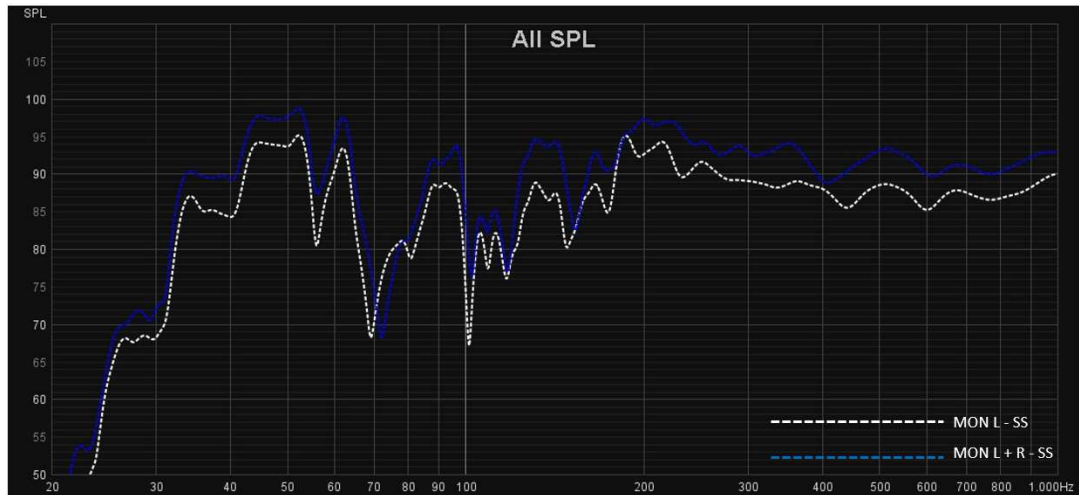


Figura 90 - Comparação entre pontos de pressão a resposta em frequência no ponto SS da fonte MON L e MON L+R, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

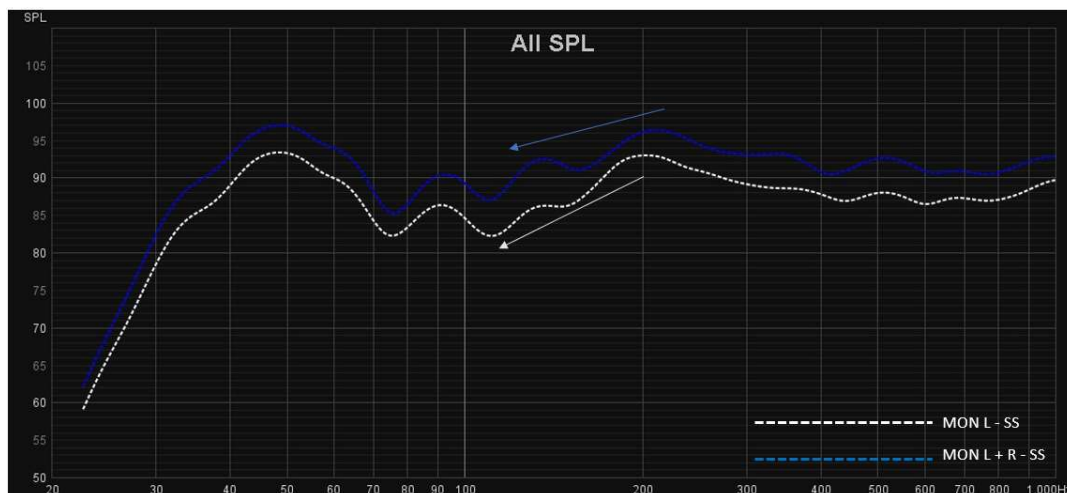


Figura 91 - Comparação entre pontos de pressão a resposta em frequência, com *smoothing* de 1/3 de oitava no ponto SS da fonte MON L e MON L+R, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 91 e Figura 91 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L+R – SS, com a Figura 43 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e ligeiras diferenças. Pode-se afirmar, pela análise visual da Figura 90 que a pressão sonora medida nas bandas perto dos 90 Hz e 150 Hz, no par MON L + R, está mais perto dos valores apresentados pelas frequências acima dos 200 Hz, quando comparado com o par MON L – SS.

### 12.2.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente, a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 203$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 102$  Hz (1º cancelamento).

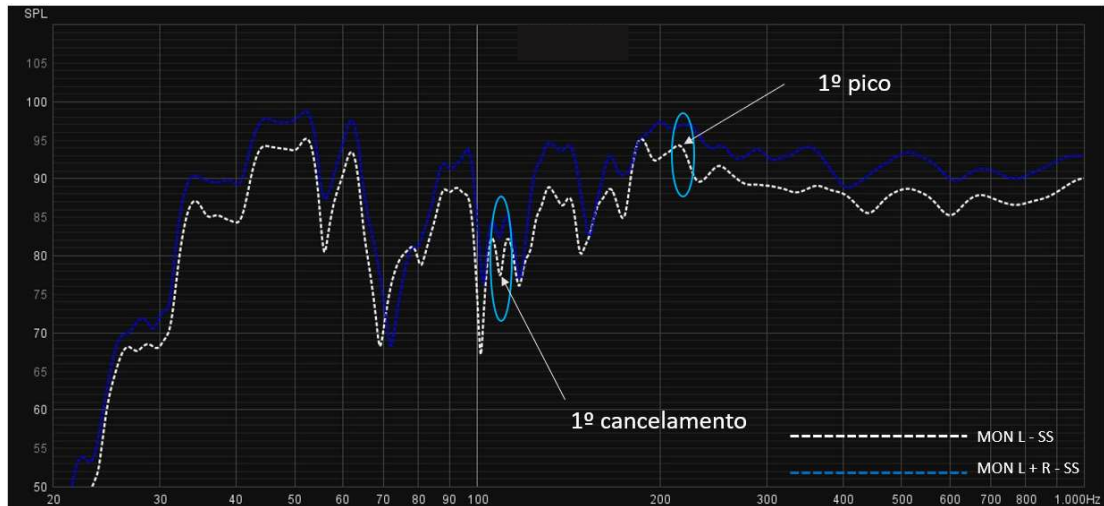


Figura 92 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

Na Figura 92 estão identificados os pontos afetados pela reflexão do chão, sendo que o resultado dos cálculos é análogo a cortes e picos encontrados no gráfico apresentado de MON L – SS e MON L + R – SS. Também é possível verificar que os efeitos de cancelamento são menos vincados na medição MON L + R – SS.

### 12.2.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

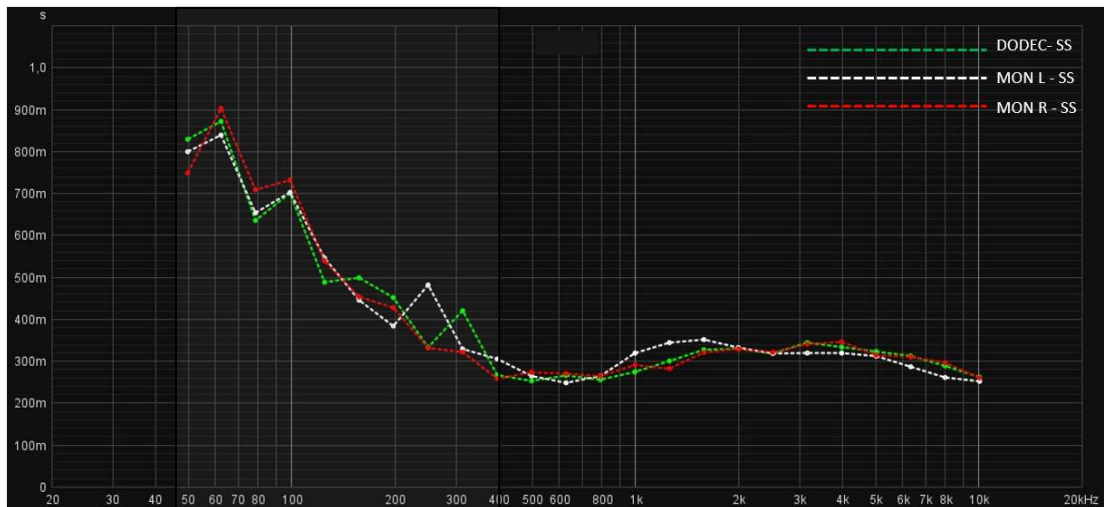


Figura 93 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala " ESMAE – Estúdio B "

A análise da Figura 93, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 400 Hz, na qual se verifica um aumento substancial do tempo de reverberação. Este comportamento é justificado pela presença de elementos de absorção na sala, cuja densidade não é suficiente para garantir a absorção de energia às baixas frequências, apenas às médias e altas.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

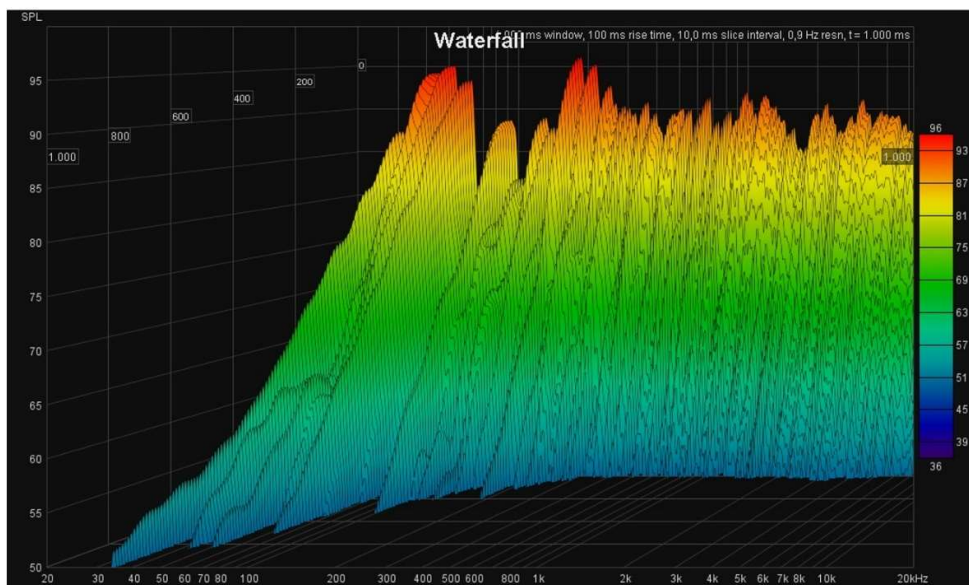


Figura 94 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B”

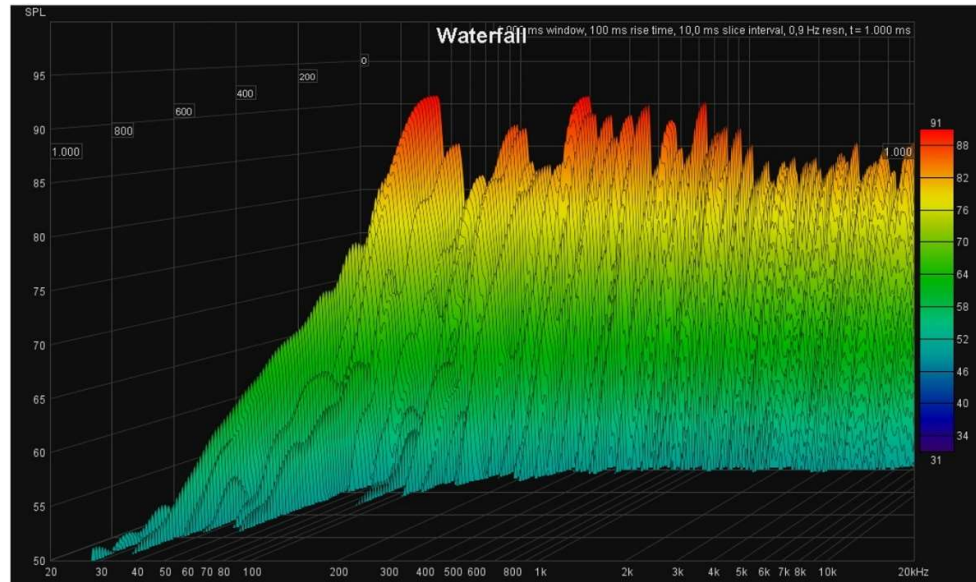


Figura 95 - Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Comparando os decaimentos de MON L - SS (Figura 94) e MON L - BACK (Figura 95), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar.

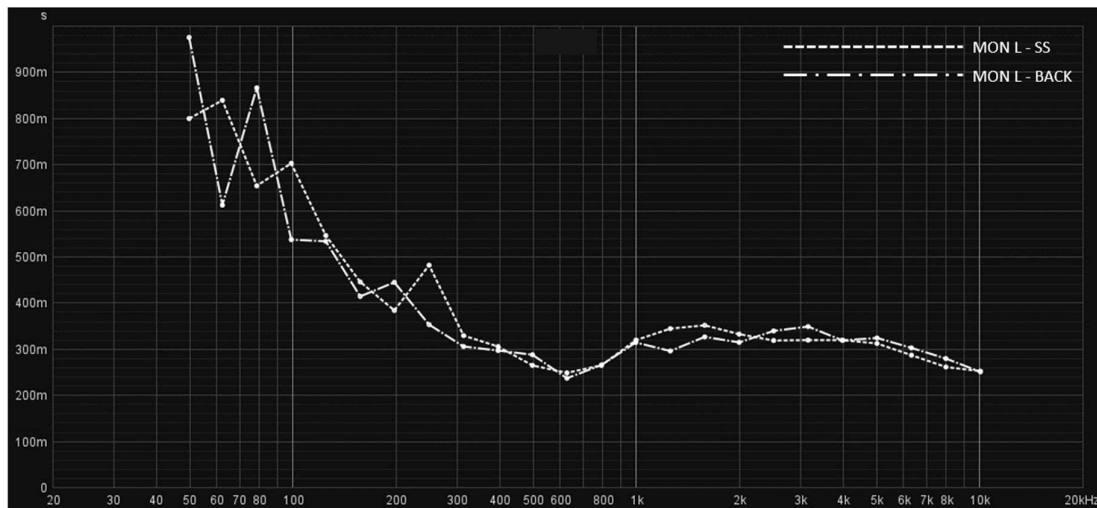


Figura 96 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

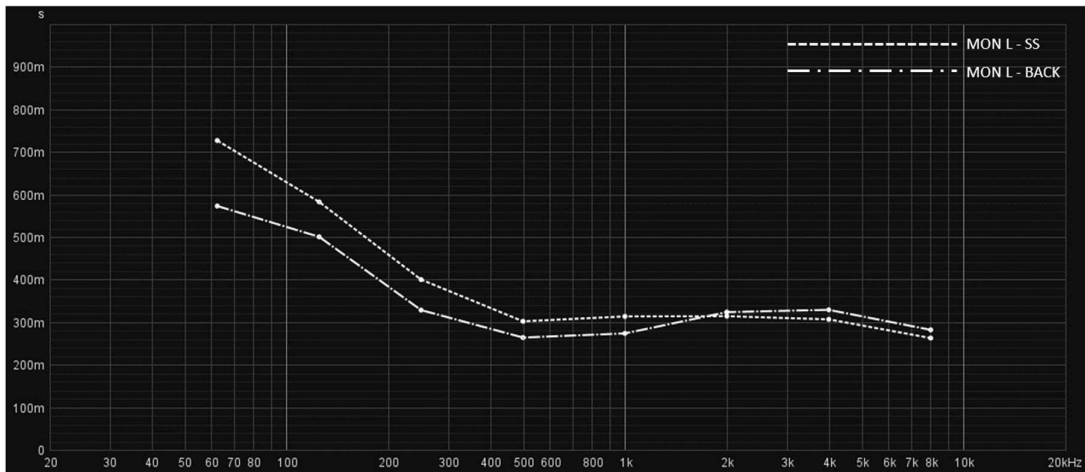


Figura 97 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 96 e Figura 97 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro, quando comparados MON L – SS e MON L – BACK.

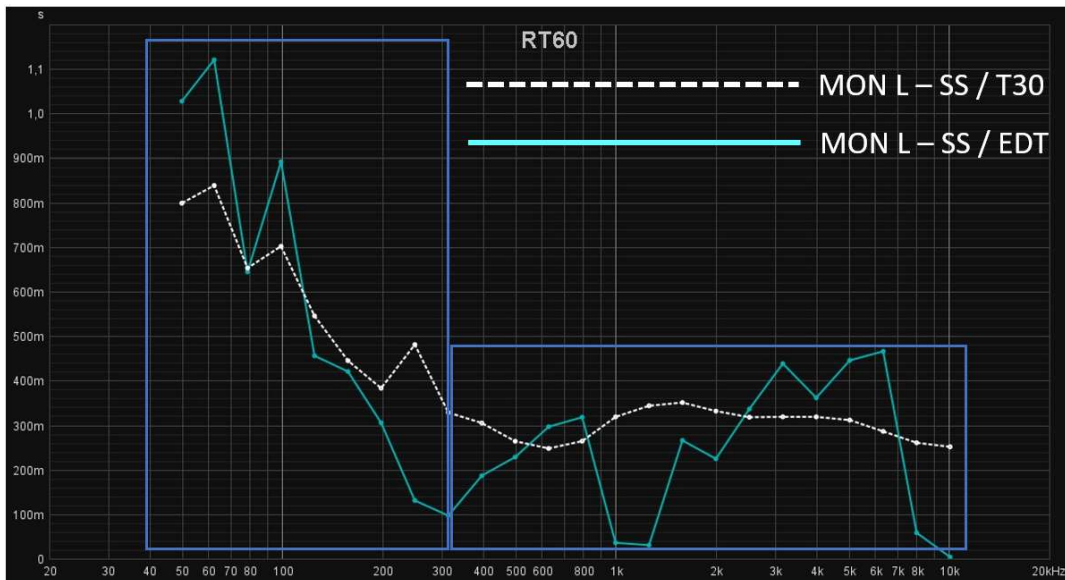


Figura 98 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ESMAE – Estúdio B”

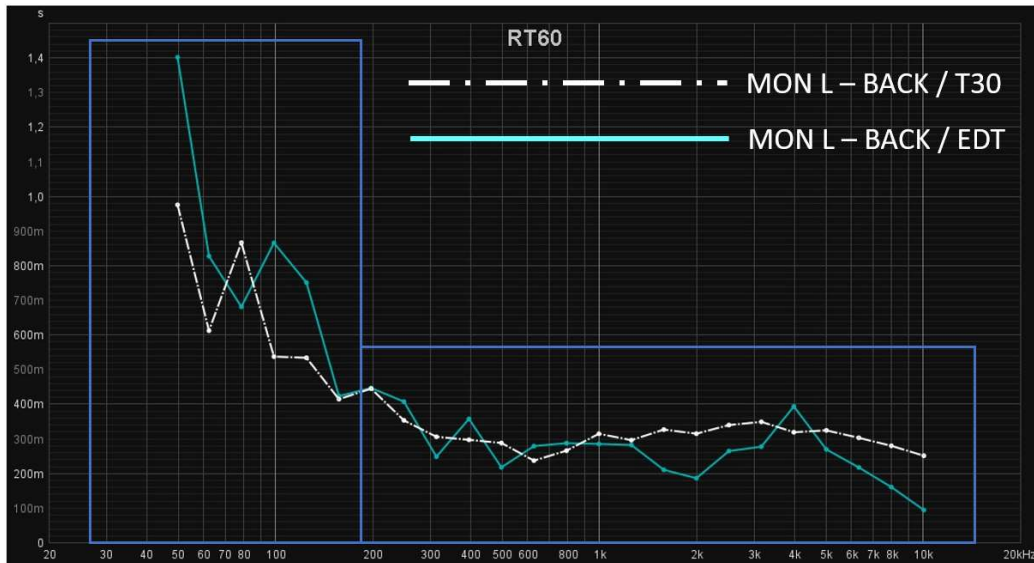


Figura 99 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Espaço Doméstico”.

A análise da Figura 98 (MON L – SS) permite identificar algumas regiões como por exemplo perto dos 300 Hz, 1000 Hz e dos 10.000 Hz, nas quais se verifica um valor de EDT marcadamente inferior a T30, o que pode indicar um tempo de decaimento inicialmente rápido nestas regiões, mas mais lento quando medido em intervalos de tempo mais longos.

A Figura 99 (MON L – BACK) apresenta valores mais próximos entre EDT e T30, o que indicia um decaimento linear, ao longo de todo o espectro.

### 12.2.10 Bass Ratio

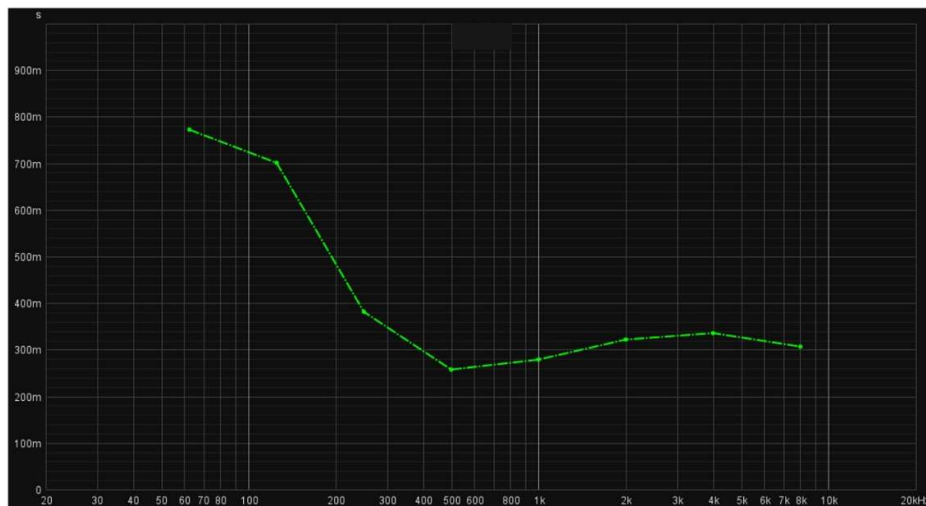


Figura 100 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ESMAE – Estúdio B”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC - SS = 2,18
- *Bass Ratio* – MON L - BACK = 2

A consulta da Figura 100 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação das frequências graves (abaixo dos 250 Hz), quando comparado com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,279 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0,541 seg.
- 63 Hz – RT60 = 0,772seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 93% RT (comparado com 1000 Hz);
- 63 Hz + 177% RT (comparado com 1000 Hz).

Considerando os valores de referência de um aumento de 20% do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz e 80% na banda de oitava de 63Hz, em relação à banda de 1000 Hz, verifica-se que apenas as bandas de 63Hz e 125 Hz está acima dos valores propostos.

### 12.2.11 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

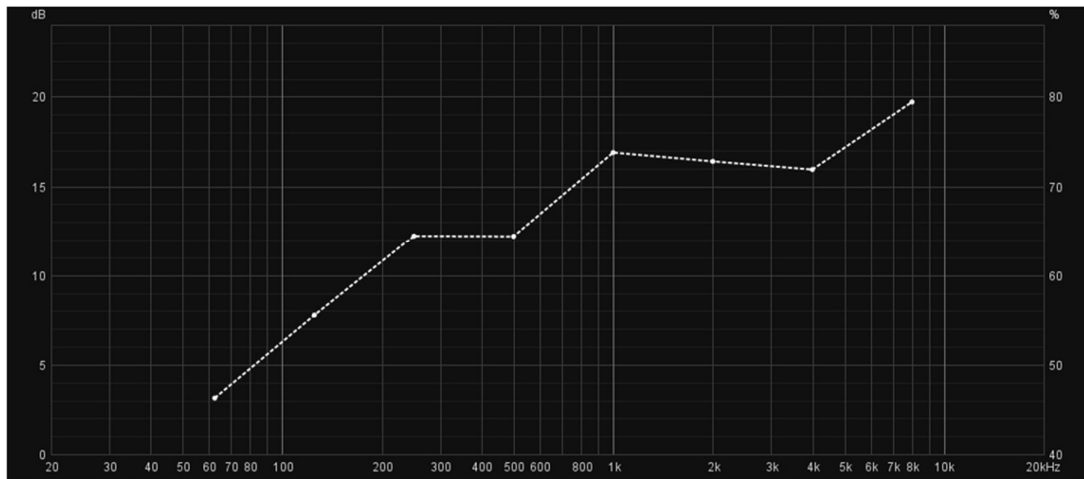


Figura 101 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

Os valores de C50, apresentados na Figura 101, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 15,35 dB, para o par MON L – SS. No entanto, reconhecendo a necessidade de uma escuta que abranja todo o espectro audível e com a necessidade de valores de clareza em toda a gama de frequências, pode-se verificar que, abaixo da banda de 250 Hz, os valores são mais baixos e inferiores ao valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5.

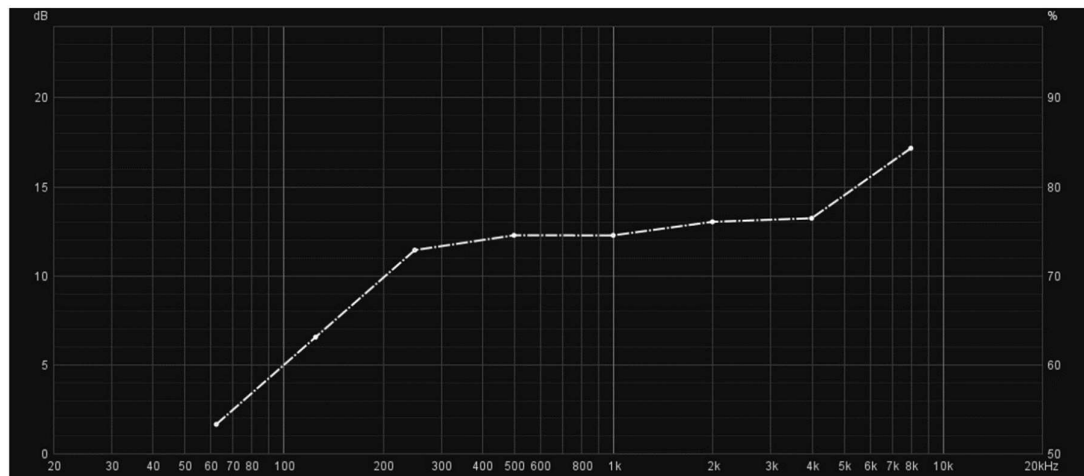


Figura 102 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

O gráfico da Figura 102, que representa os valores de C50 para o par MON L – BACK. O valor médio de C50 para as bandas entre os 500 Hz e 4000 Hz é de 12,67 dB. Este valor é mais baixo, quando comparado com o par MON L – SS.

Tal como no par MON L – SS, os valores de C50 são mais baixos nas de oitava de 63 HZ e 125 Hz.

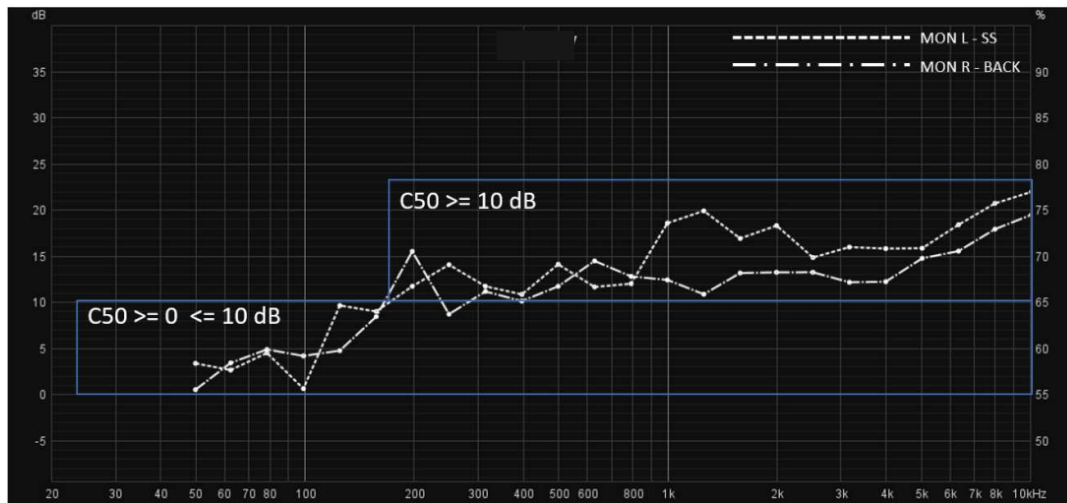


Figura 103 –Gráfico de C50 com as regiões acima e abaixo de 10dB destacadas, para os pares MON L – SS e MON L – BACK, para a sala “ESMAE – Estúdio B”

A Figura 103 apresenta os valores de C50 para os pares MON L – SS e MON L – BACK, com as zonas de destaque a demarcarem as regiões abaixo e acima dos 10 dB. A região abaixo dos 180 Hz apresenta toda ela valores de C50 inferiores a 10dB, enquanto é possível verificar valores de C50 superiores a 10 dB na restante extensão do espectro.

### 12.2.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

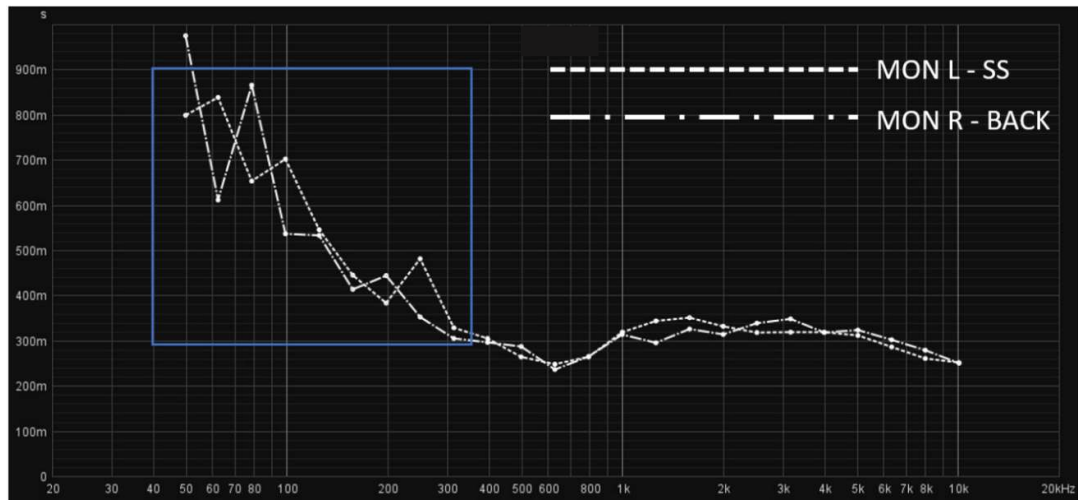


Figura 104 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

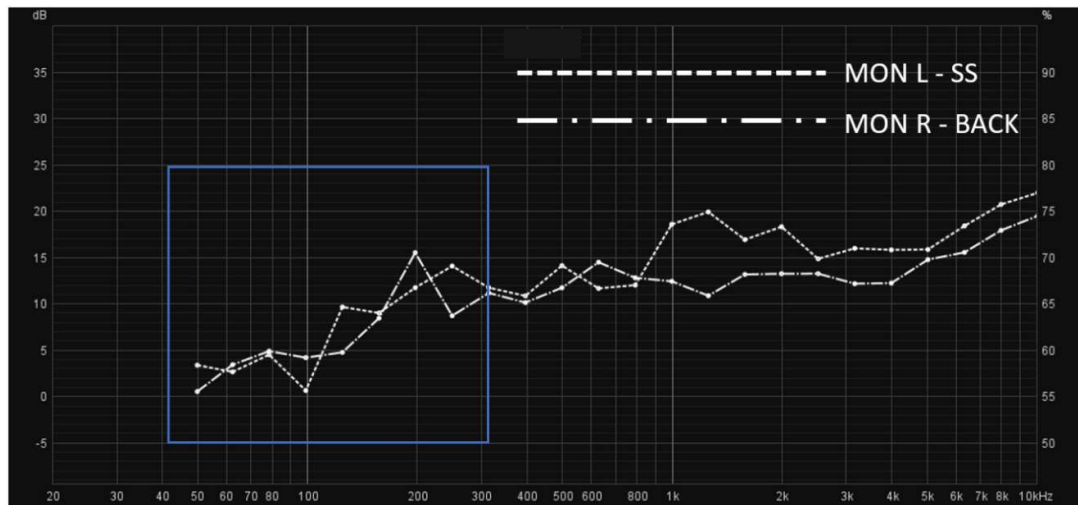


Figura 105 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

Consultando a Figura 104 e a Figura 105, é possível verificar que região abaixo dos 300 Hz o aumento do T30, tem uma relação direta com a diminuição do parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave.

### 12.3.13 Resposta em Frequência

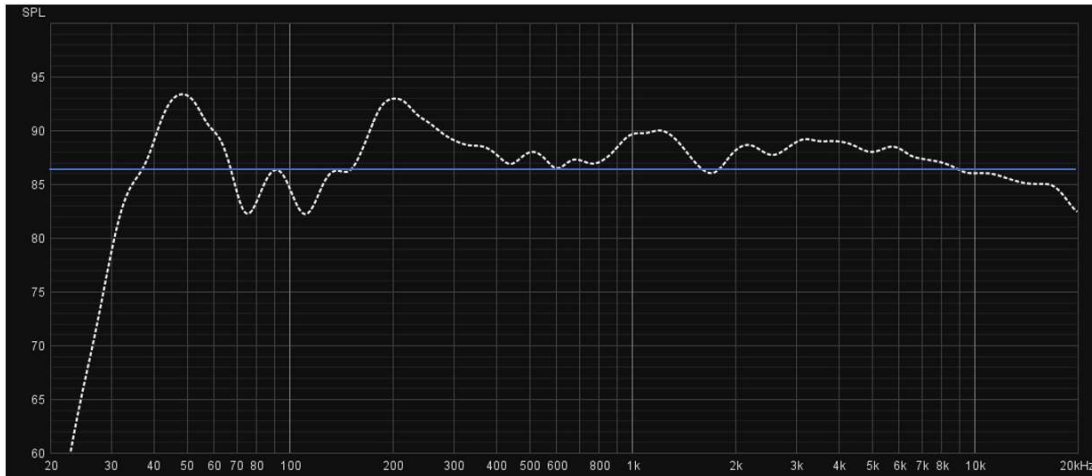


Figura 106 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B”

A resposta em frequência apresentada na Figura 106, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 86,80 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,69 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 18,70 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,09 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,52 dB

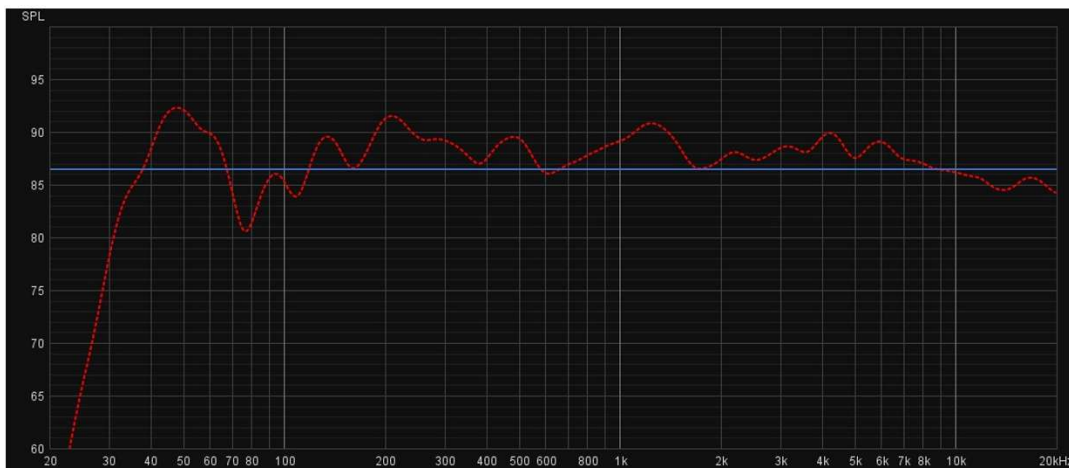


Figura 107 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Estúdio B”

A resposta em frequência apresentada na Figura 107, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 86,75 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,70 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 21,05 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,08 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,40 dB

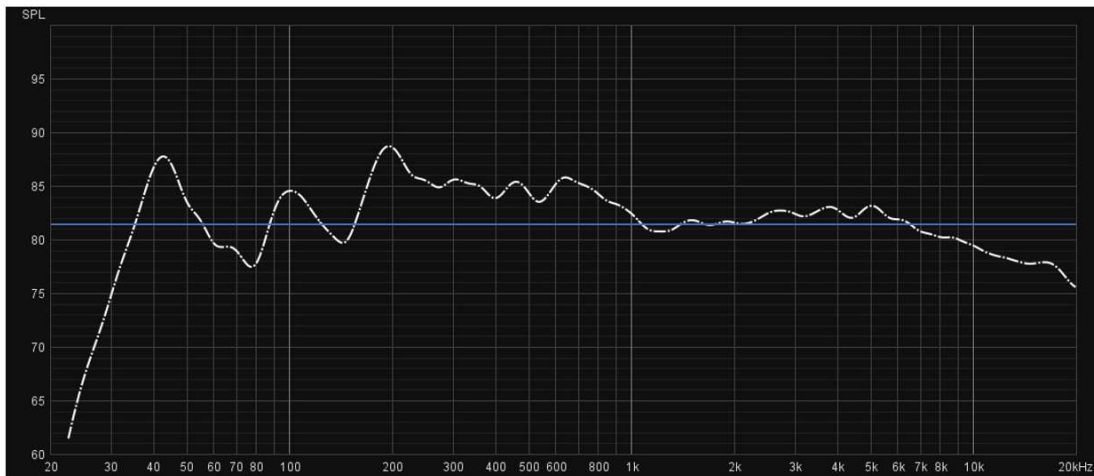


Figura 108 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

A resposta em frequência apresentada na Figura 108, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 81,58 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,87 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 14,68 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,45 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,52 dB

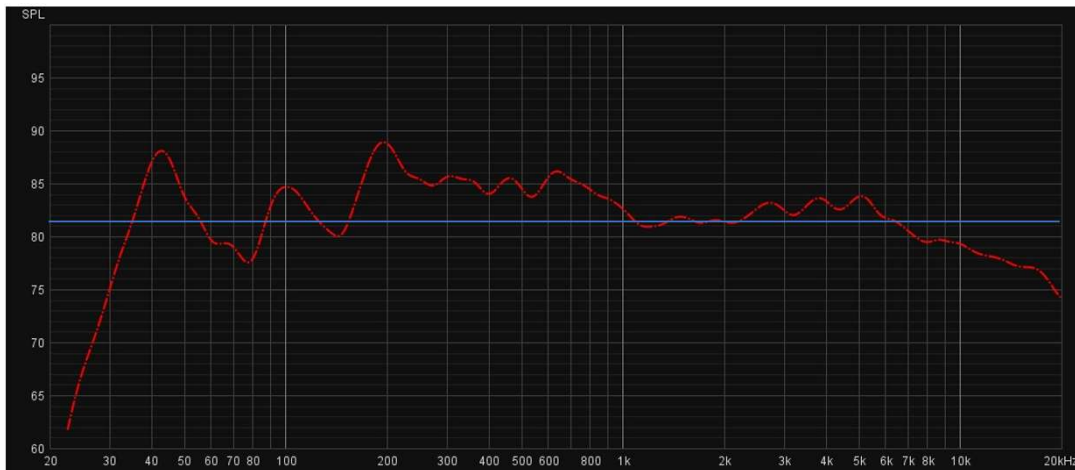


Figura 109 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Estúdio B”

A resposta em frequência apresentada na Figura 109, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 81,56 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,14 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 14,68 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,45 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,52 dB

## 12.3 ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica

### 12.3.1 Caracterização do Espaço

- Considerando fronteiras estruturais:
- Comprimento: 5,99 m
- Largura: 3,63 m
- Altura: 4,75 m
- Volume: 103,28 m<sup>3</sup>

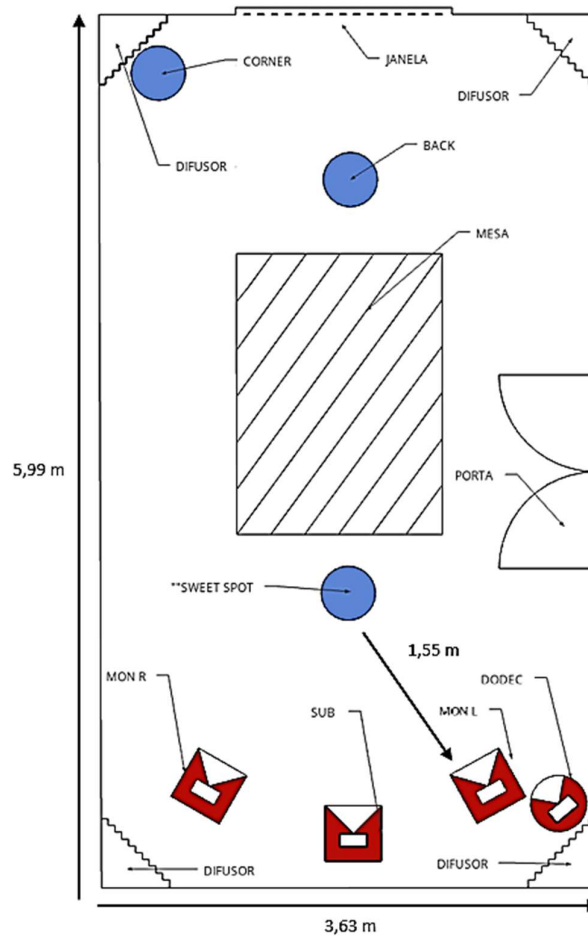


Figura 110- Visão planta da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica"

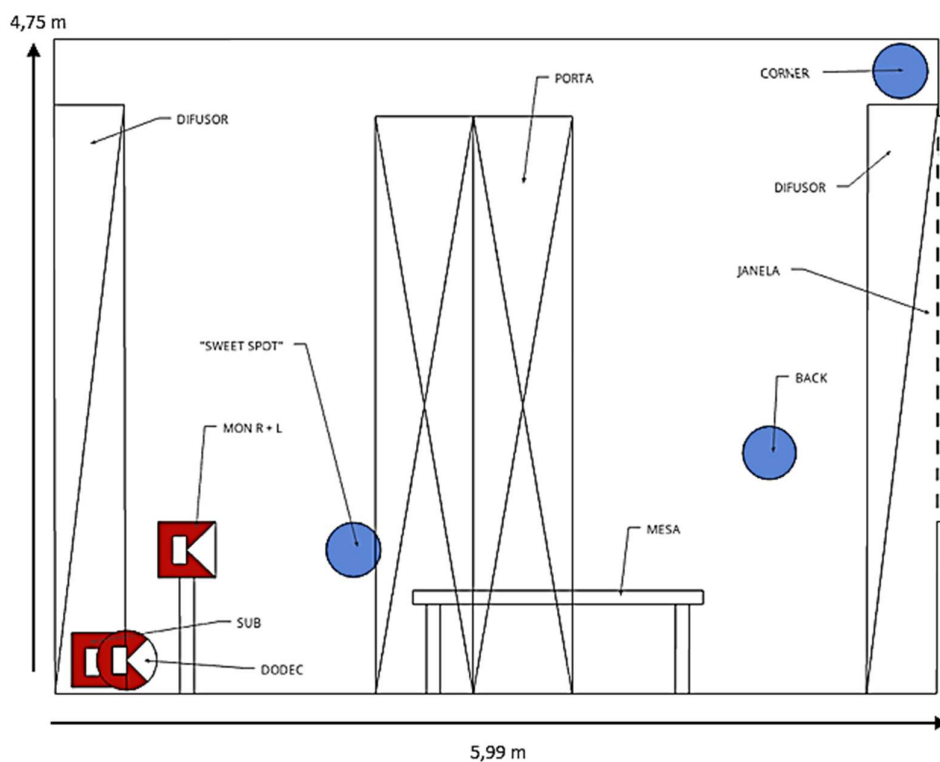


Figura 111 - Visão em corte da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica"

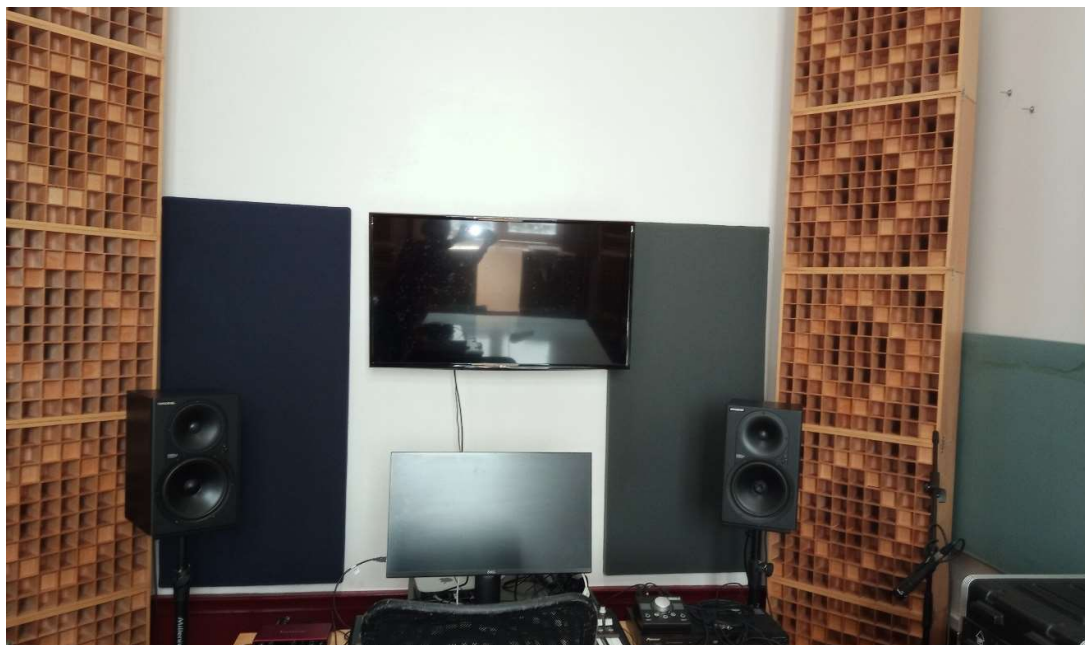


Figura 112 - Fotografia 1 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço



Figura 113 - Fotografia 2 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica"

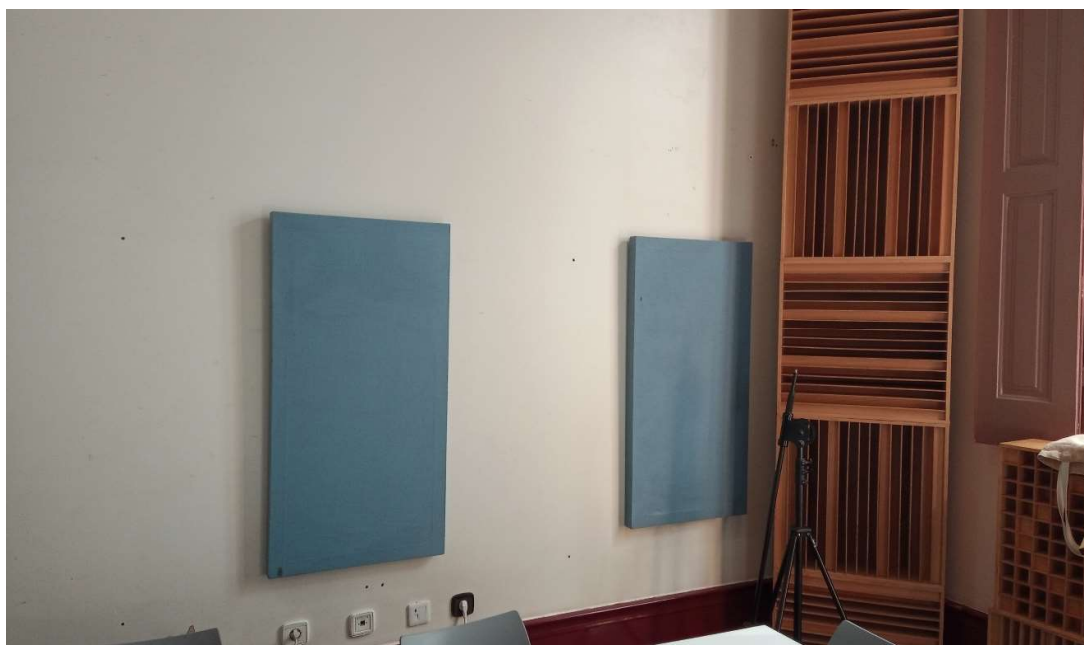


Figura 114 - Fotografia 3 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica"

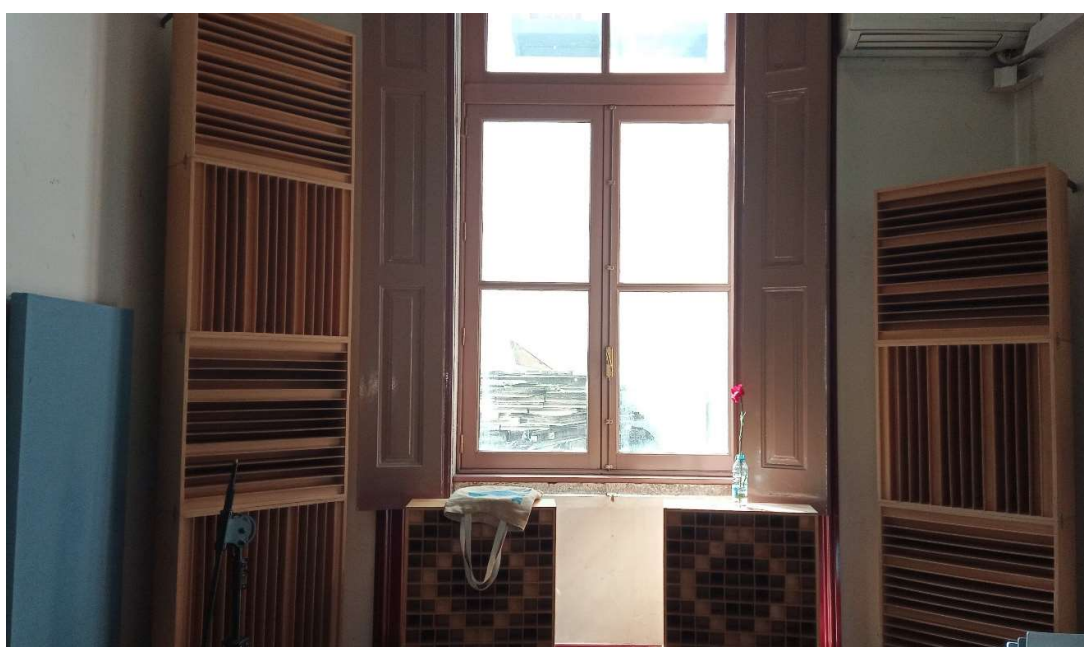


Figura 115 - Fotografia 4 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica"

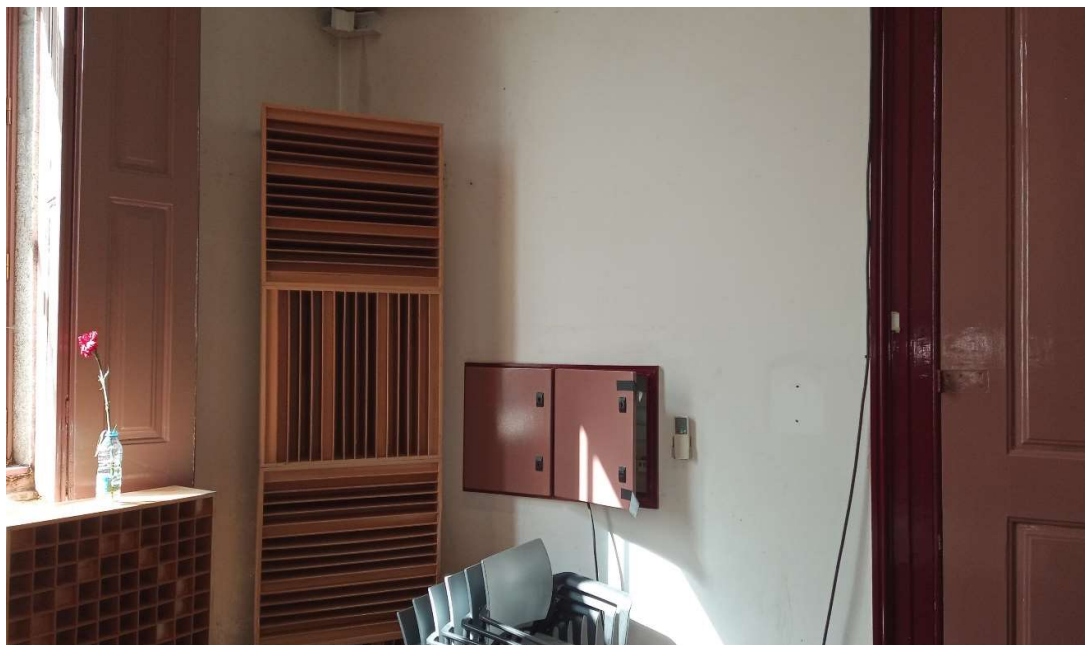


Figura 116- Fotografia 5 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica"

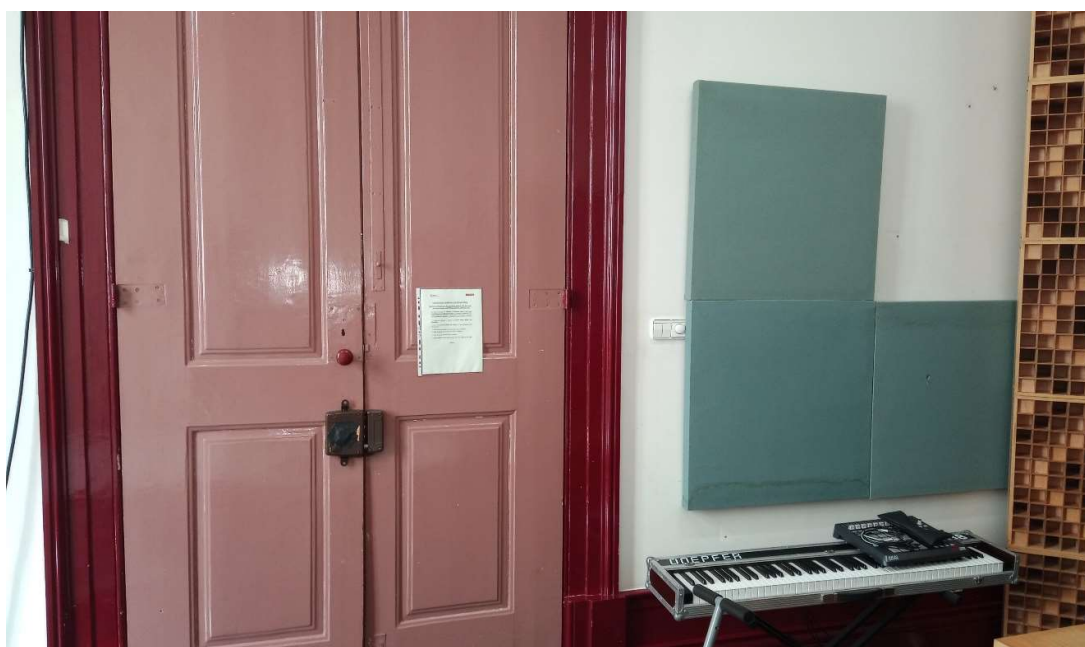


Figura 117 - Fotografia 6 da sala "ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica"

- As paredes visíveis são as paredes estruturais;
- Estúdio situado numa zona movimentada de uma escola (ESMAE);
- 1 janela, localizada atrás do sweet spot;
- Aparelho de ar condicionado;

- Painéis com cerca de 5 cm de espessura nas paredes frontais (atrás dos altifalantes) e laterais;
- Difusores nos cantos e parede traseira, abaixo da janela;
- Teto exposto (sem tratamento acústico);
- Porta à esquerda do Sweet Spot (dupla folha).

### 12.3.2 Áreas e Volumes

Área bruta m <sup>2</sup>	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
21,74 m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>	9,2 %

Tabela 7 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Volume bruto m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
103,28 m <sup>3</sup>	5,75 m <sup>3</sup>	5,6 %

Tabela 8 – Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

### 12.3.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, estão disponíveis no Anexo 3 e Anexo 4. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: Mackie HR824\*
  - Sistema de colunas bi-amplificado de duas vias;
  - Woofer de 8,75”
  - Tweeter de 1”
  - Radiador passivo elíptico de 6” x 12”
  - Resposta em frequência: 39 Hz - 20 kHz ( $\pm 1,5$  dB)
- \*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R
- Subwoofer Focal CMS Sub
  - Sistema de colunas bi-amplificado de duas vias;
  - Woofer de 11”
  - Bass Reflex (*front ported*)
  - Resposta em frequência: 30 Hz - 250 Hz ( $\pm 3$  dB)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R.

\*\*O Subwoofer é considerado uma extensão de MON L e MON R e como tal, parte integrante dos mesmos.

\*\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espaco acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 1,55m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 30 Hz
- $Distância^2 = 2,4$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 3,6$

### 12.3.4 Função de Resposta ao Impulso

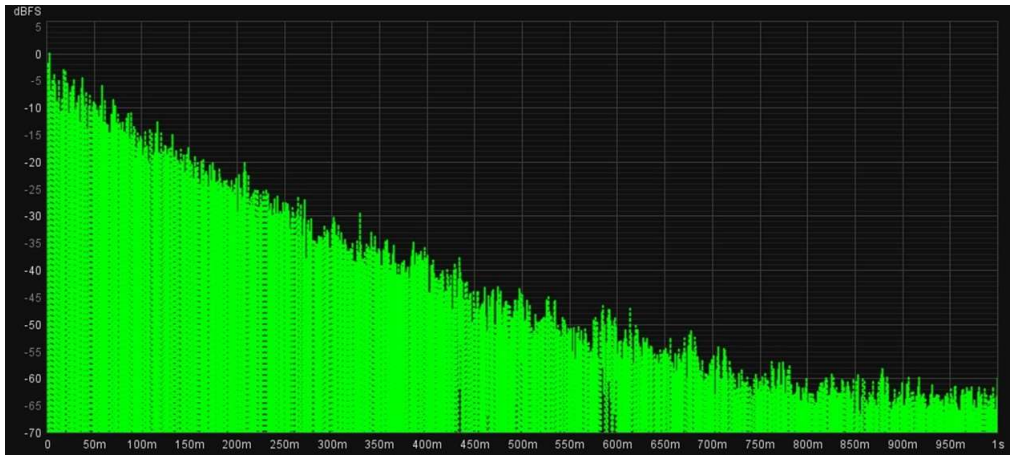


Figura 118 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

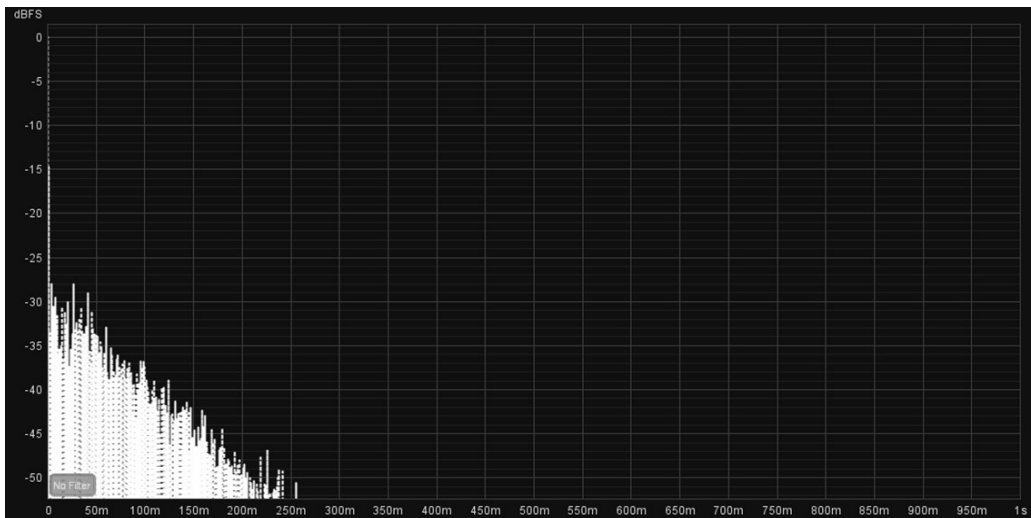


Figura 119- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”



Figura 120 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

A Figura 118, Figura 119 e Figura 120 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

### 12.3.5 Análise das Reflexões Especulares

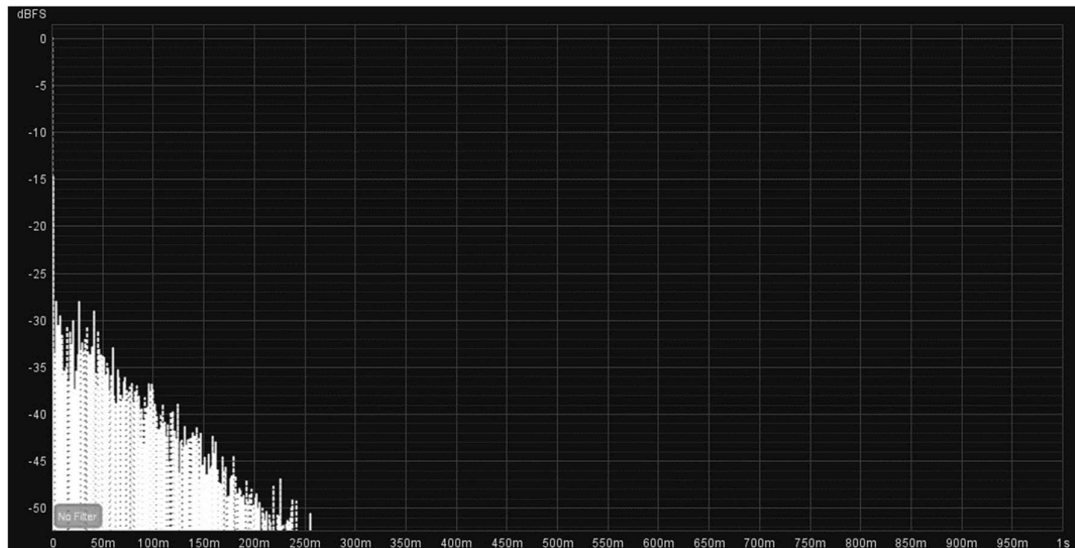


Figura 121 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

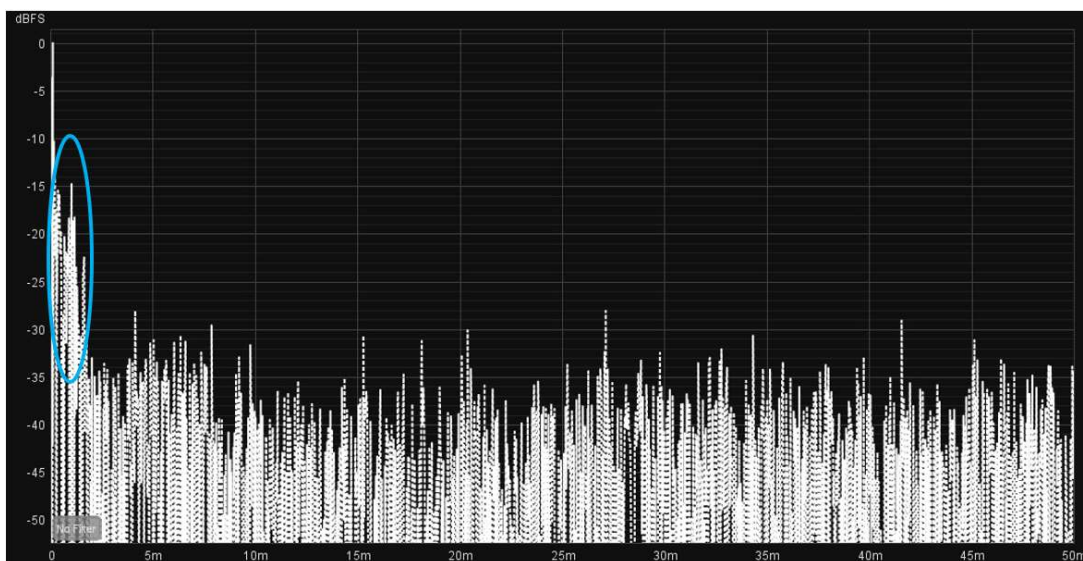


Figura 122 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Analisando o par MON L – SS é possível verificar, na Figura 121, a existência de algumas reflexões que se destacam da restante energia correspondente ao normal decaimento do campo reverberante da sala. Na Figura 122, pode-se verificar existe energia associada a reflexões especulares concentradas nos primeiros 3 ms, com cerca de -15 dB em relação ao impulso inicial.

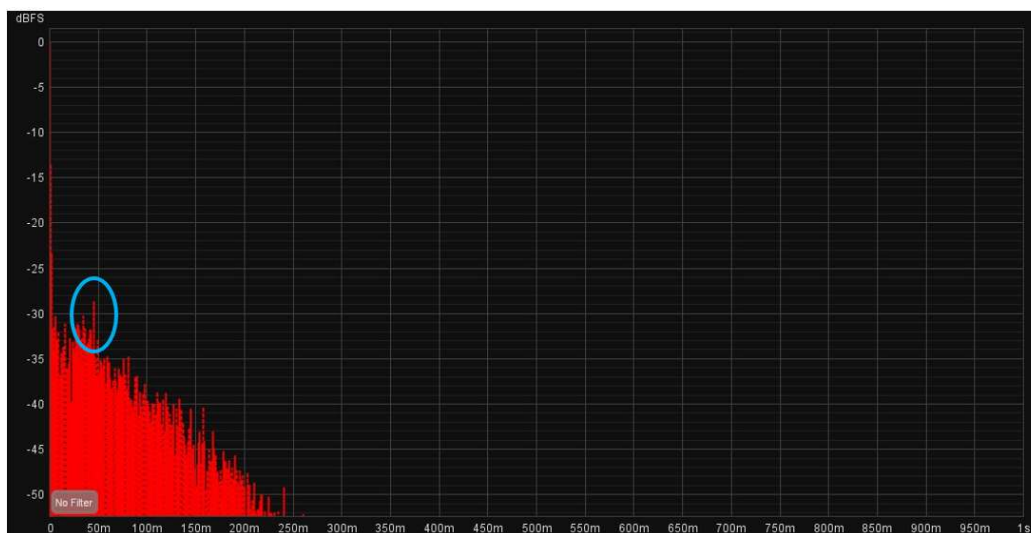


Figura 123 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Na Figura 123, está identificada alguma energia que se destaca do restante decaimento da energia na sala. Estas reflexões tardias têm um atraso de cerca de 48 ms. A sua energia está cerca de -28 dB abaixo do impulso inicial.

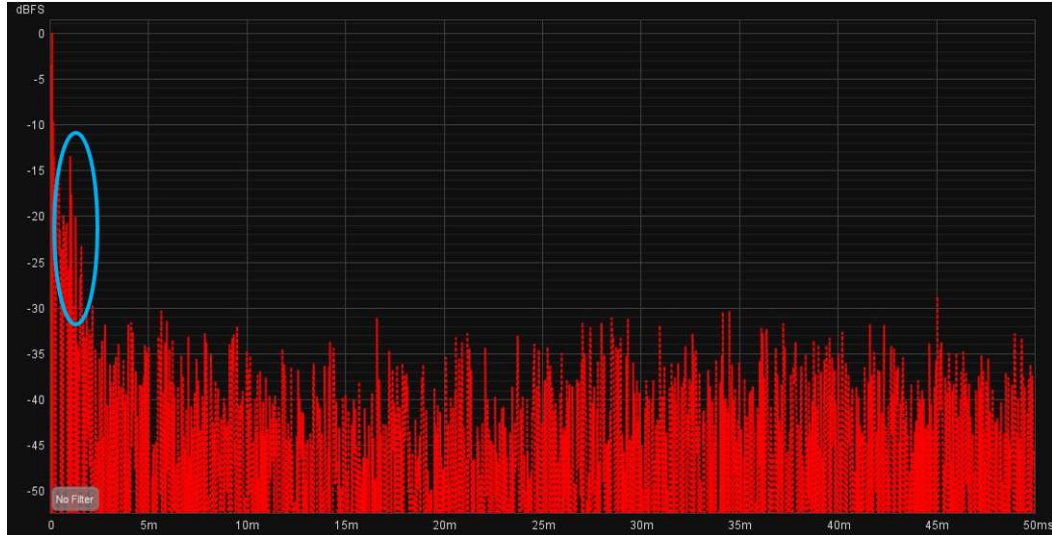


Figura 124 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Analisando de forma mais detalhada o par MON R – SS, o comportamento das reflexões especulares é similar ao de MON L – SS, com as reflexões identificadas (Figura 124), cerca de 2 ms após o impulso inicial, com cerca de -15 dB em relação ao mesmo.

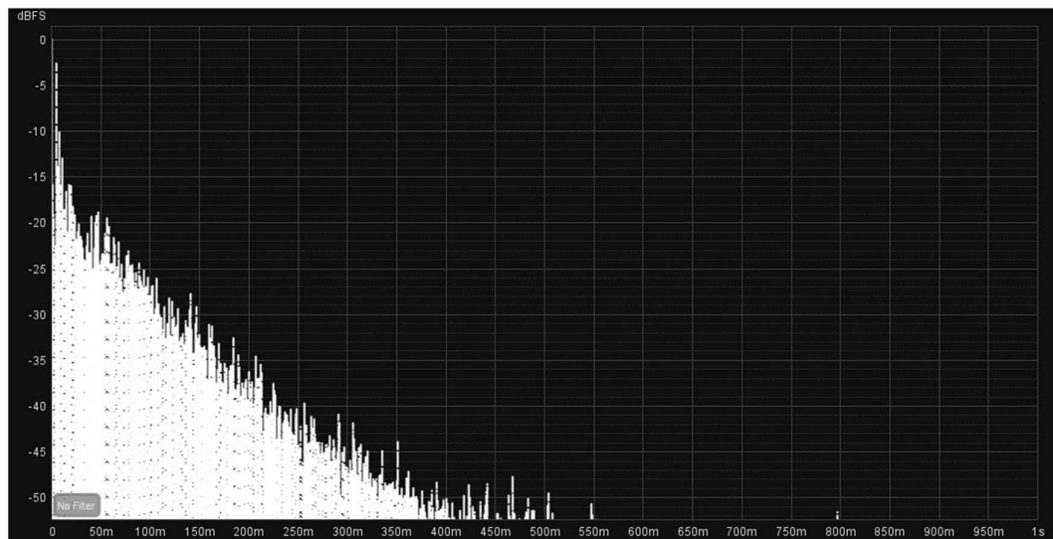


Figura 125 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

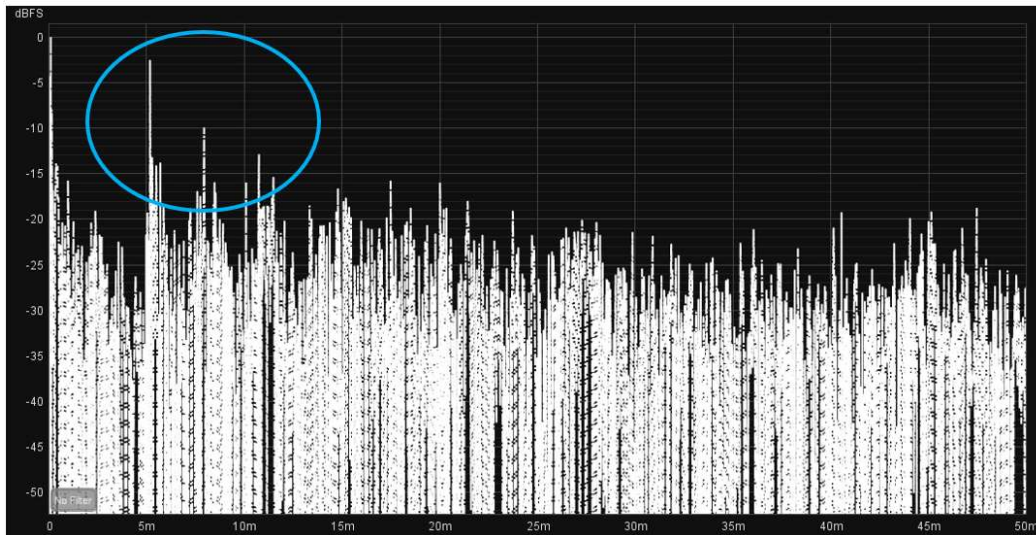


Figura 126 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento com algumas diferenças em relação ao ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 126, são mais afastadas em relação ao impulso inicial, distribuídas entre 5 ms e 12 ms, quando comparadas com as analisadas no ponto SS. Estas reflexões apresentam entre -3 dB e -15 dB de energia em relação ao impulso inicial.

### 12.3.6 *Initial Tima Delay Gap (ITDG)*

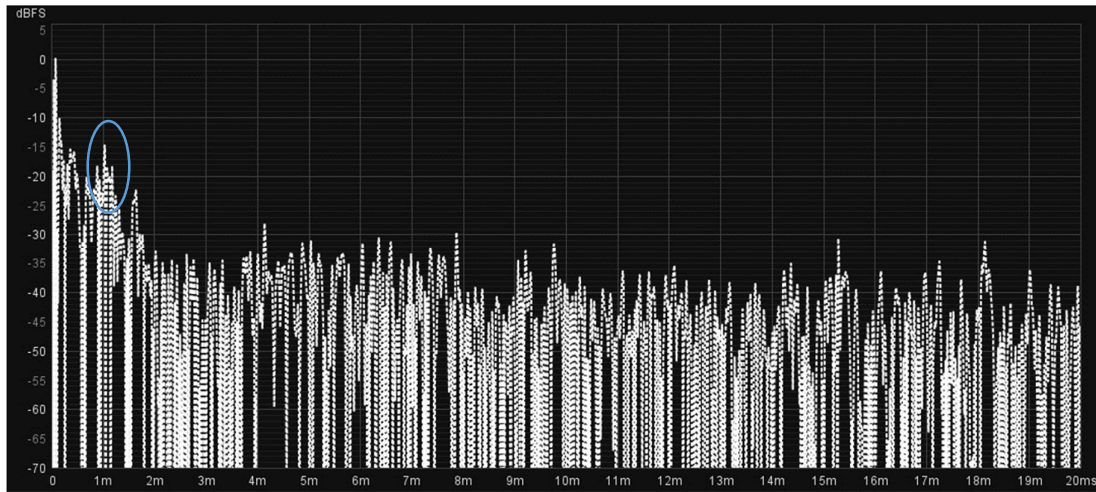


Figura 127 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Na Figura 127 é possível identificar de forma clara uma reflexão com 1,04 ms de atraso e -14,8 dB de energia em relação ao impulso inicial no par MON L – SS.

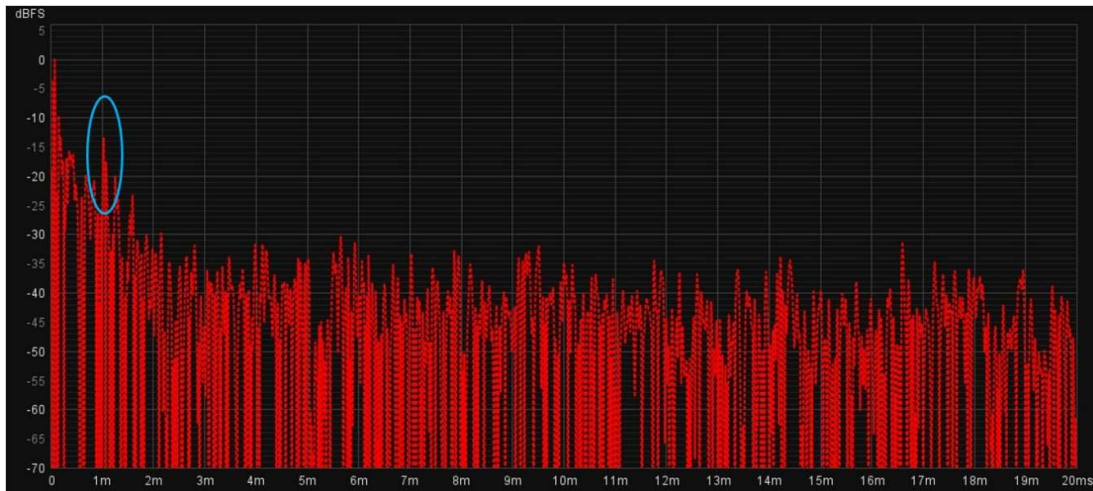


Figura 128 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Na Figura 128 é possível identificar de forma clara uma reflexão com 1,02 ms de atraso e -13,5 dB de energia em relação ao impulso inicial, no par MON R – SS.

### 12.3.7 Análise Modal



Figura 129 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

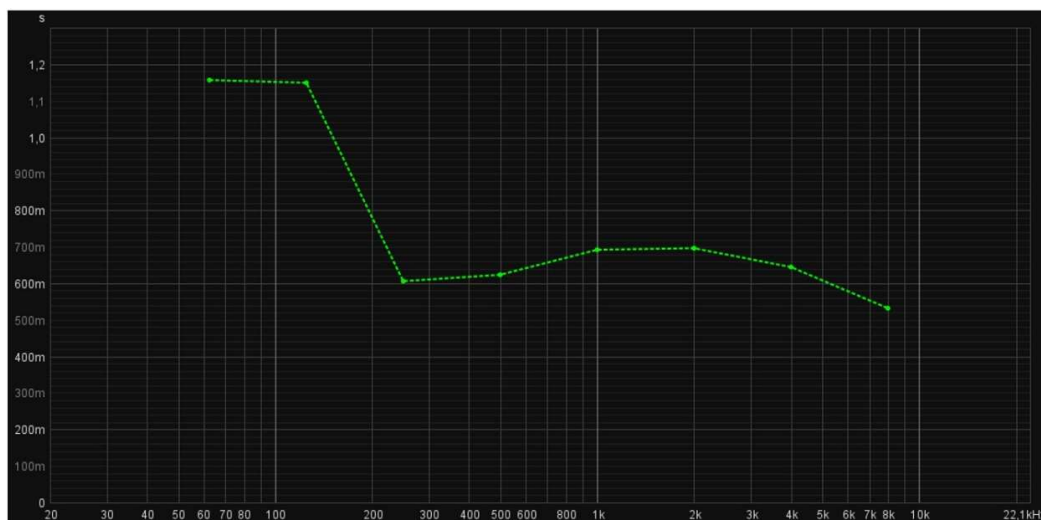


Figura 130 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A Figura 129 e Figura 130 representam a T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas frequências abaixo de 250 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* bastante acima de 1, como será abordado no capítulo 14.3.9.

A gama de frequências contida na região modal, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” é dependente das dimensões do espaço e, no caso do seu limite superior, pelo tempo de reverberação.

Frequência de Não-Suporte	29 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,763seg.))	172 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1134 Hz

Tabela 9 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

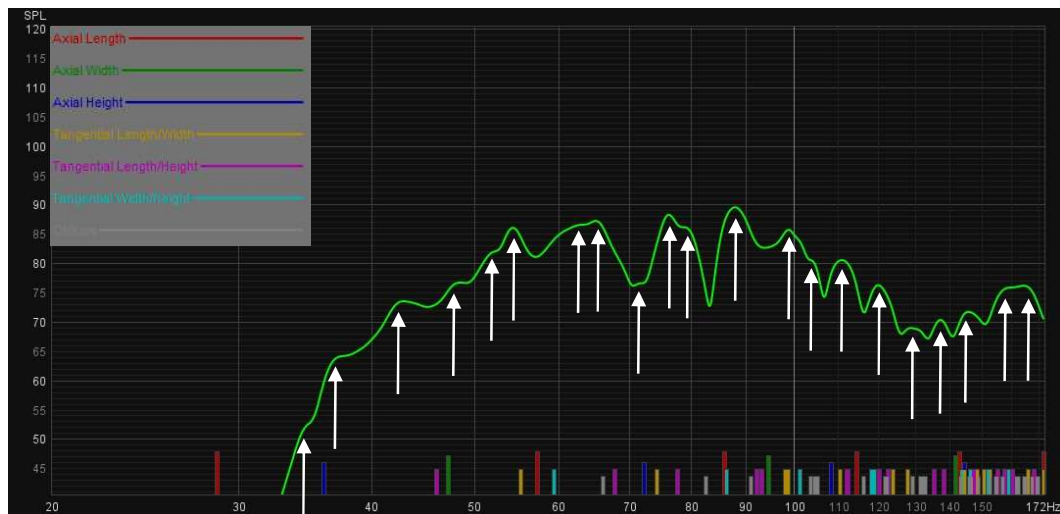


Figura 131 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Na Figura 85, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 172 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. Pelo gráfico (Figura 85), é possível observar que existem alguns modos cujo cálculo segundo a fórmula apresentada pela Equação 3 não coincidem com os pontos de pressão identificados no gráfico. As discrepâncias devem-se ao facto de o modelo de cálculo teórico não considerar aberturas nas fronteiras do espaço (portas e janelas), ou comportamentos diferentes dos materiais que compõem as fronteiras do espaço; todos os materiais são considerados totalmente refletores para todo o espectro.

No gráfico estão identificados (com setas brancas) 21 pontos de pressão, que correspondem às reais frequências modais do espaço. Acima dos 90 Hz, os pontos de pressão identificados correspondem à soma de vários modos, com a técnica utilizada a não deixar identificar os modos isolados que provocam os aumentos de pressão identificados no gráfico.

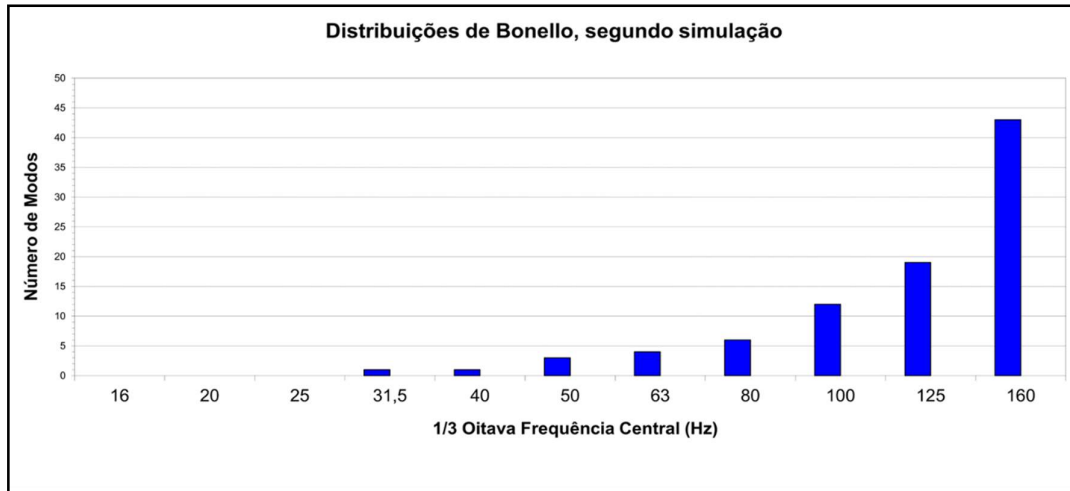


Figura 132 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”, considerando as dimensões de 5,99 m x 3,63 m x 4,75 m

A Figura 132 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura (que não incluem a antecâmara). Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração” “uma vez que cada banda tem um número superior, ou pelo menos igual de modos associados em relação à banda anterior.

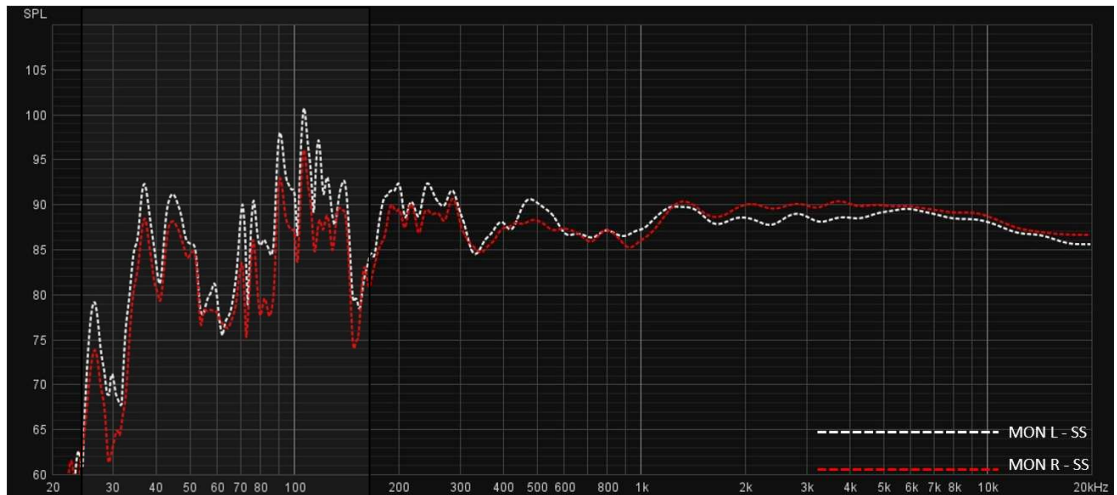


Figura 133 – Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A Figura 133 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A área destacada trata-se da região modal calculado para o espaço, sendo que os picos e vales são maioritariamente coincidentes. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

Também é possível observar conjuntos de picos e cancelamentos acima da região assinalada (zona modal) até cerca dos 200 Hz.

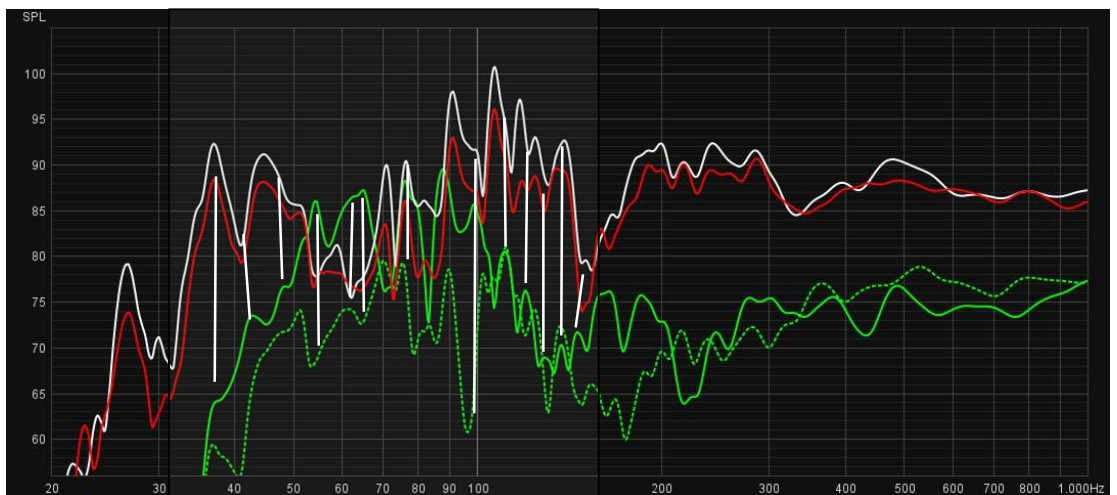


Figura 134 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Na Figura 134 é feita uma comparação entre os pares MON L / MON R e DODEC – SS com o par DODEC – CORNER, de forma a tentar identificar coincidências entre os pontos de pressão encontrados na medição DODEC – CORNER (frequências de atividade modal) e picos/vales na resposta das restantes fontes no ponto SS. Foi possível identificar 13 pontos de pressão no par DODEC – CORNER, que se manifestam como picos ou cancelamentos na resposta em frequência de MON L e MON R. A maioria dessas irregularidades na resposta de MON L e MON R no ponto SS também podem ser verificados no par DODEC – SS, o que prova que as mesmas não são resultado da resposta dos monitores em questão, ou do posicionamento dos mesmos.

O gráfico da Figura 135 apresenta apenas os pares DODEC – CORNER e MON L – SS, de forma a facilitar a visualização da coincidência dos pontos de pressão em DODEC – CORNER, com os picos/cancelamentos da resposta medida em MON L – SS.

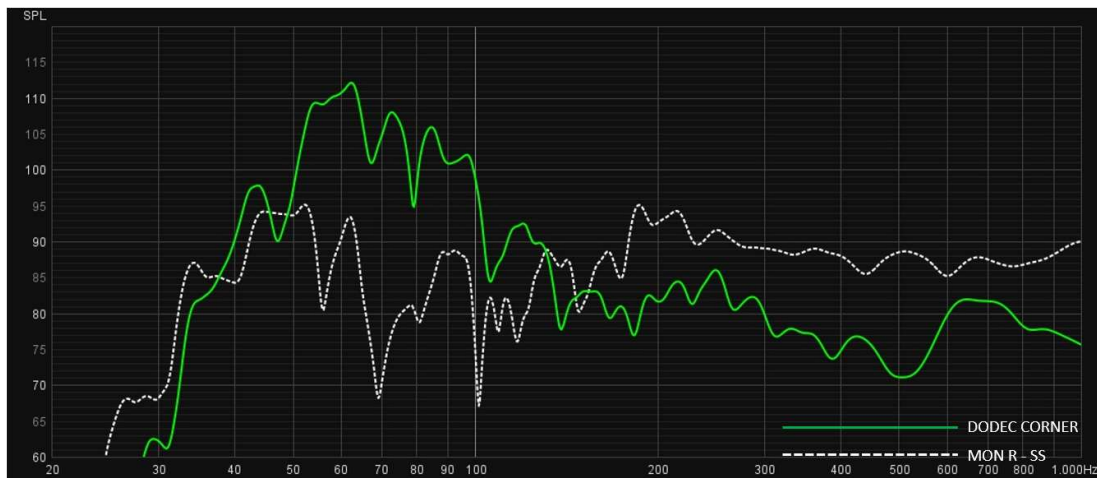


Figura 135 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “Espaço Doméstico”

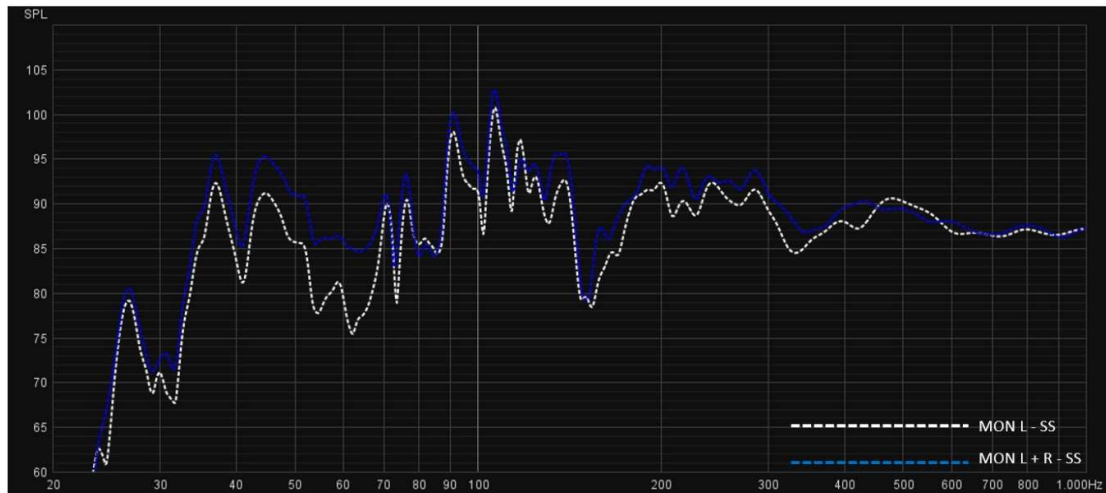


Figura 136 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

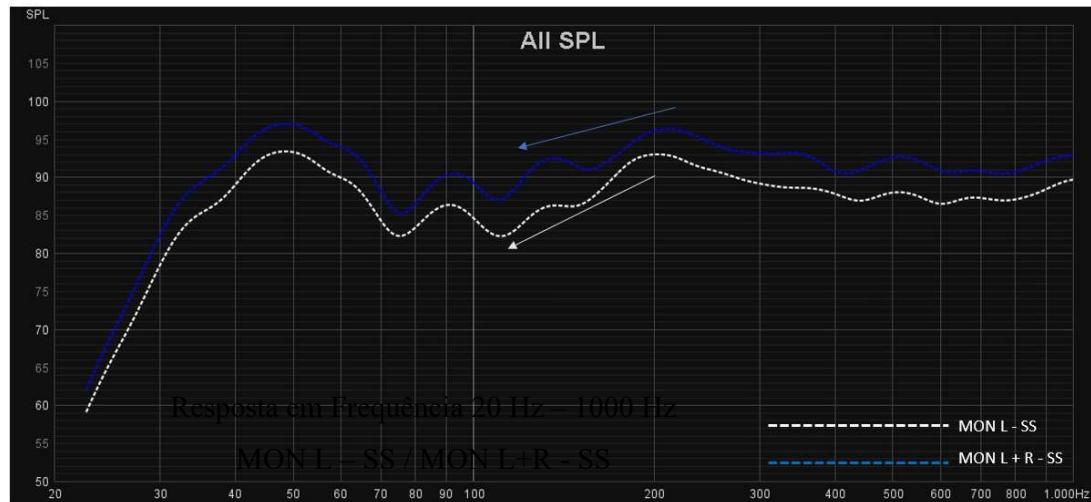


Figura 137 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A Figura 136 e Figura 137 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L+R – SS, com a Figura 43 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois alto-falantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e ligeiras diferenças. Destaca-se a recuperação de energia no vale detetado na região dos 60 Hz para o par MON L – SS, que se demonstra menos profundo no par MON L+R – SS.

### 12.3.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 223$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 112$  Hz (1<sup>o</sup> cancelamento).

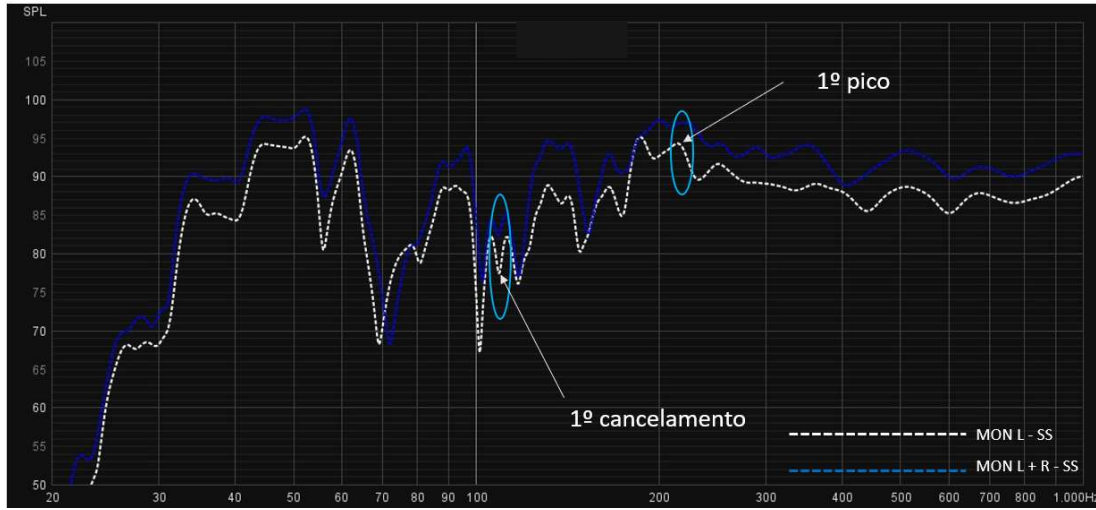


Figura 138 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R – SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Na Figura 138 estão identificados os pontos afetados pela reflexão do chão, sendo que o resultado dos cálculos é análogo a cortes e picos encontrados no gráfico da Figura 138. Também é possível verificar que os efeitos de cancelamento são menos vincados na medição MON L + R – SS.

### 12.3.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

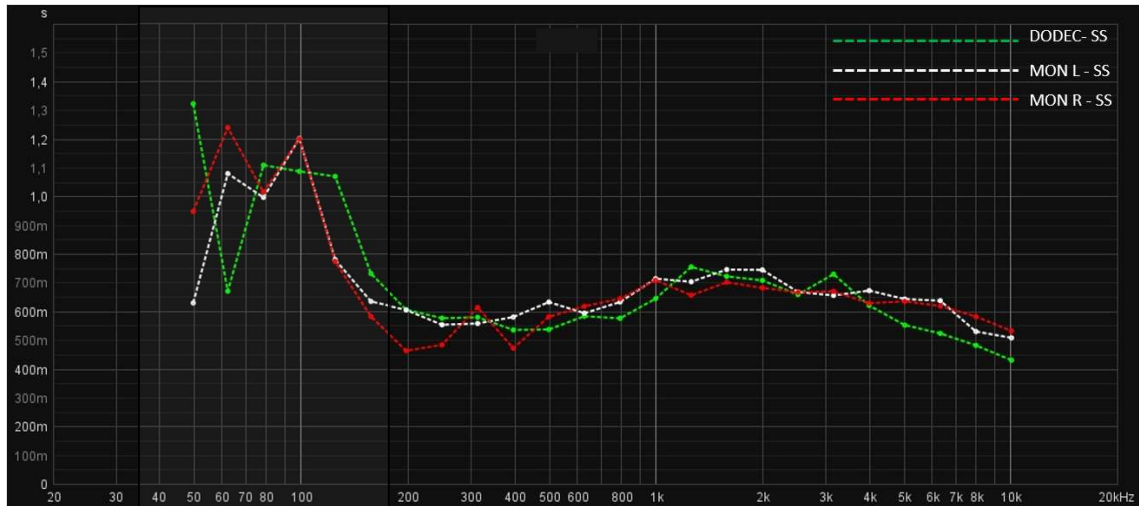


Figura 139 – Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A análise da Figura 139, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 200 Hz, na qual se verifica um aumento substancial do tempo de reverberação. Este comportamento é justificado pela presença de elementos de absorção na sala, cuja densidade não é suficiente para garantir a absorção de energia às baixas frequências, mas apenas às médias e altas.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

Os tempos de reverberação tendencialmente mais longos que os medidos na sala “ESMAE – Estúdio B”, cujas dimensões e acondicionamento acústico apresentam parencas, deverá dever-se utilização de elementos difusores no lugar das Bass Traps (elementos absorventes).

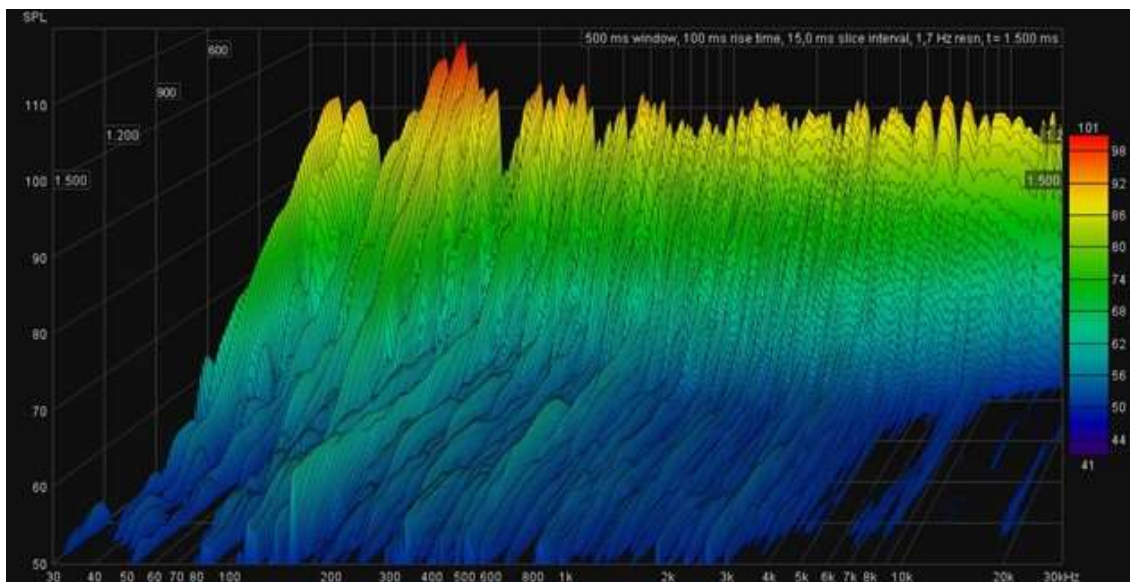


Figura 140 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

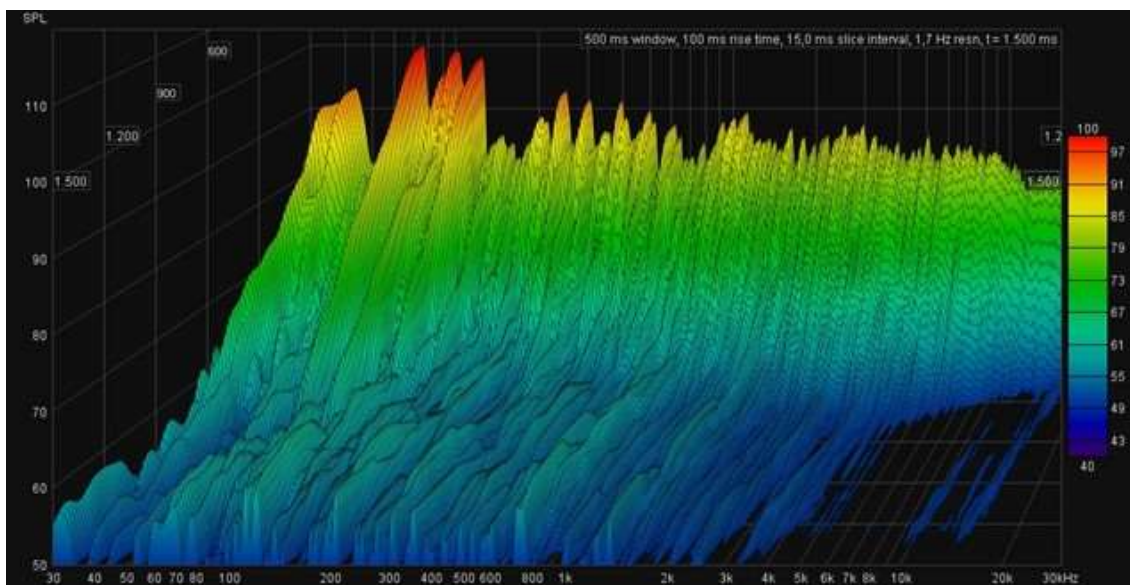


Figura 141 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Comparando dos decaimentos de MON L – SS (Figura 140) e MON L – BACK (Figura 141), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar.

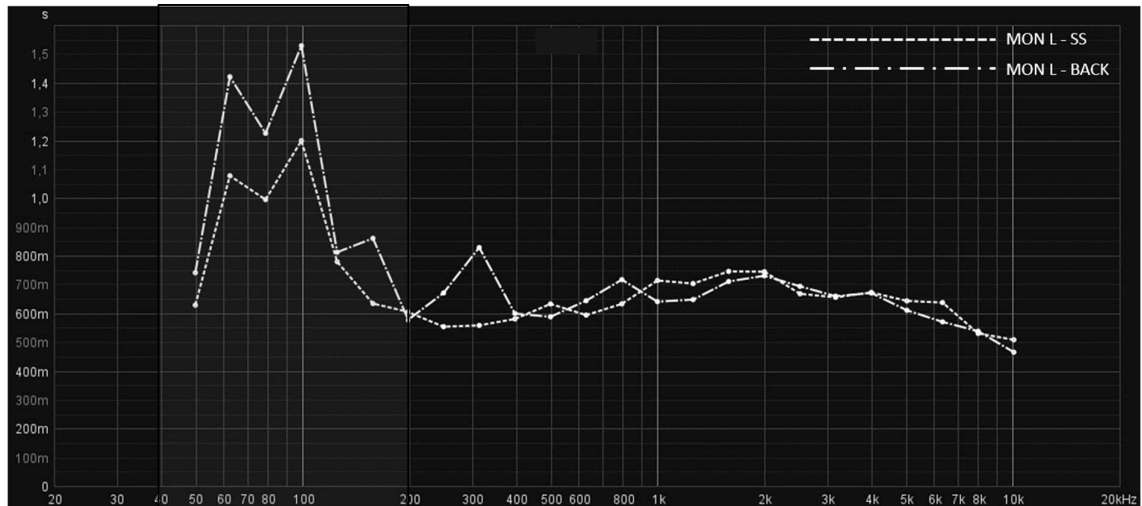


Figura 142 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

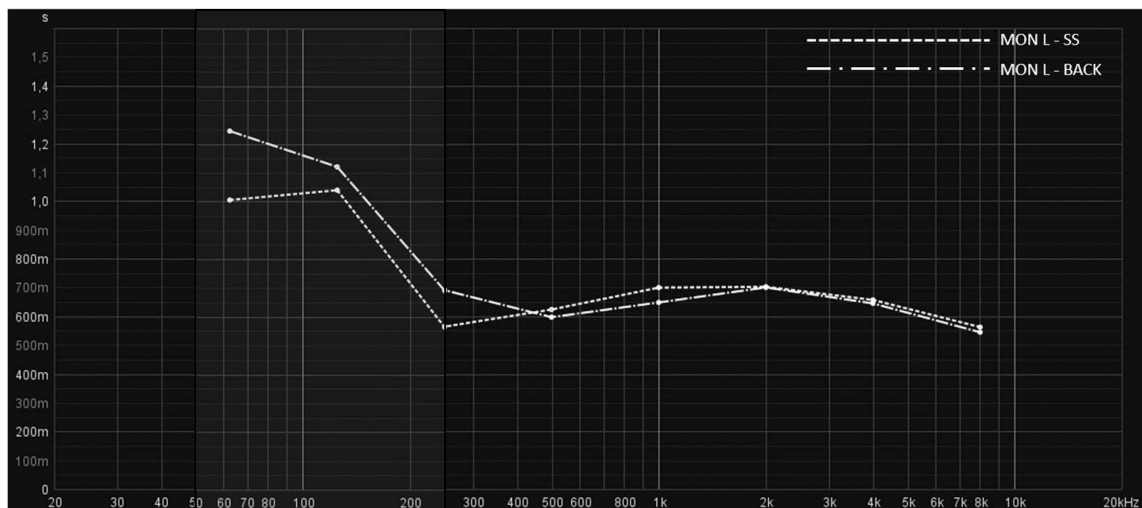


Figura 143 – T30 em bandas de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A Figura 142 e Figura 143 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro, quando comparados MON L – SS e MON L – BACK.

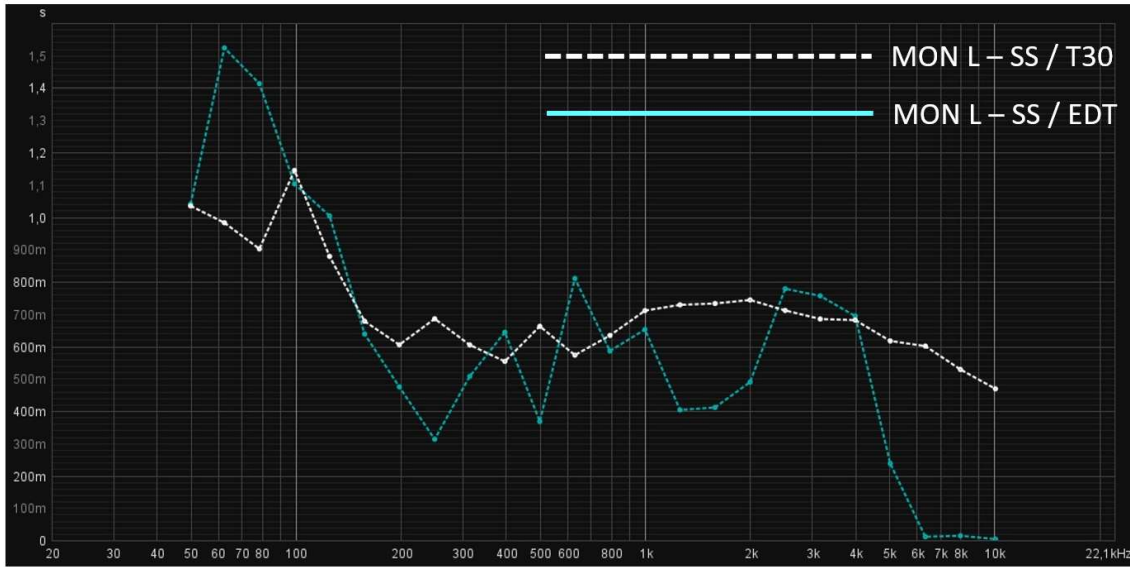


Figura 144 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

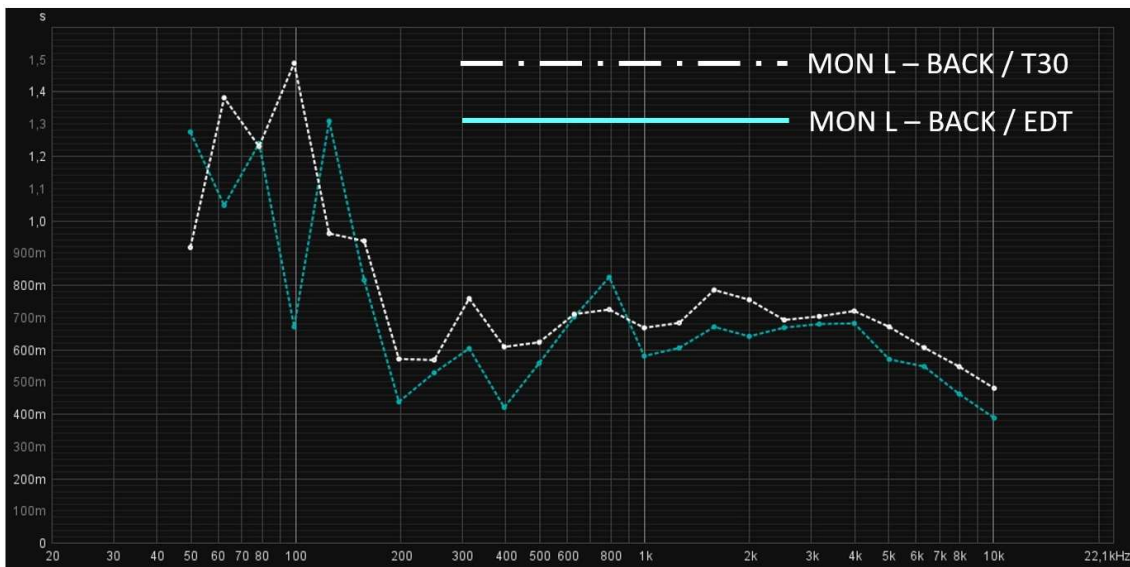


Figura 145 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Na Figura 144 é possível identificar algumas regiões nas quais o EDT é muito mais curto que o T30. Este comportamento sugere que alguns dos painéis com material absorvente presentes no espaço, próximos do ponto SS, são eficazes a eliminar reflexões de superfícies próximas ao ponto de medição SS, na gama de frequências média-aguda e aguda. Na Figura 145, podemos verificar que os valores de EDT e T30 são mais próximos, o que sugere que,

na ausência de elementos de absorção, os tempos de EDT e T30 tendem a valores mais similares, ou seja, o decaimento é mais linear.

### 12.3.10 *Bass Ratio*

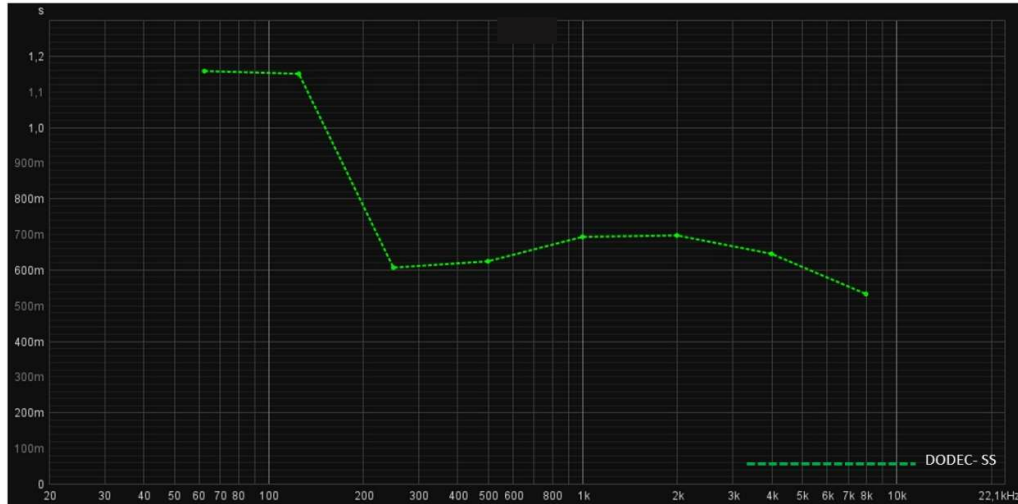


Figura 146 – T30 em bandas de oitava para o par DODEC – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC – SS = 1,44
- *Bass Ratio* – MON L – BACK = 1,5

A consulta da Figura 146 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação das frequências graves (abaixo dos 250 Hz), quando comparado com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,692 seg.
- 125 Hz – RT60 = 1,149 seg.
- 63 Hz – RT60 = 1,157 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 66% RT (comparado com 1000 Hz);
- 63 Hz + 67% RT (comparado com 1000 Hz).

Considerando os valores de referência de um aumento de 20% do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz e 80% na banda de oitava de 63Hz, em relação à banda de 1000 Hz, verifica-se que apenas a banda de 125 Hz está acima dos valores propostos. Segundo a referência apresentada, o tempo de reverberação na banda de 63 Hz está adequada, considerando os valores de 1000 Hz.

### 12.3.11 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

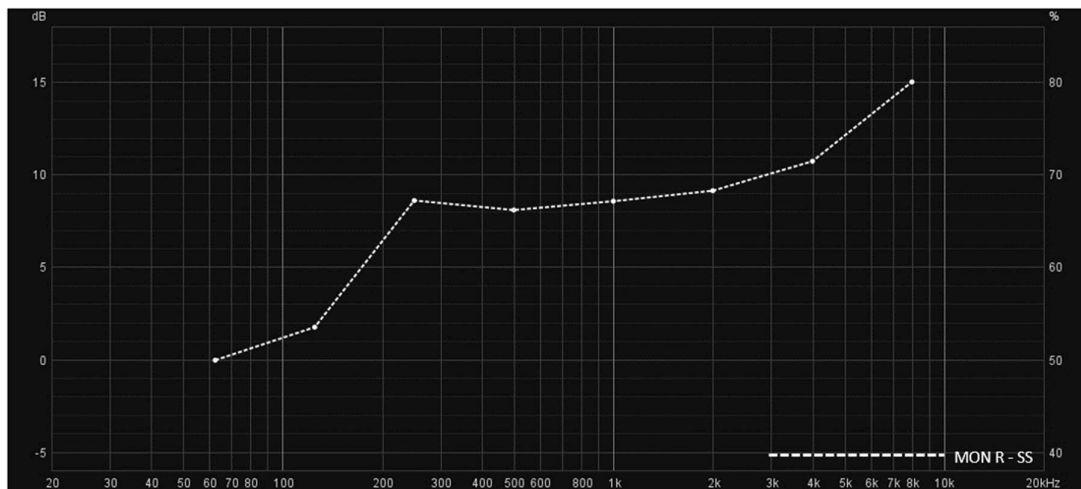


Figura 147 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

Os valores de C50, apresentados na Figura 147, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 9,13 dB, para o par MON L – SS. Estes valores, estão abaixo da referência de 9,63 dB referida no capítulo 6.5, aproximando-se de 0, na banda de oitava de 63Hz.

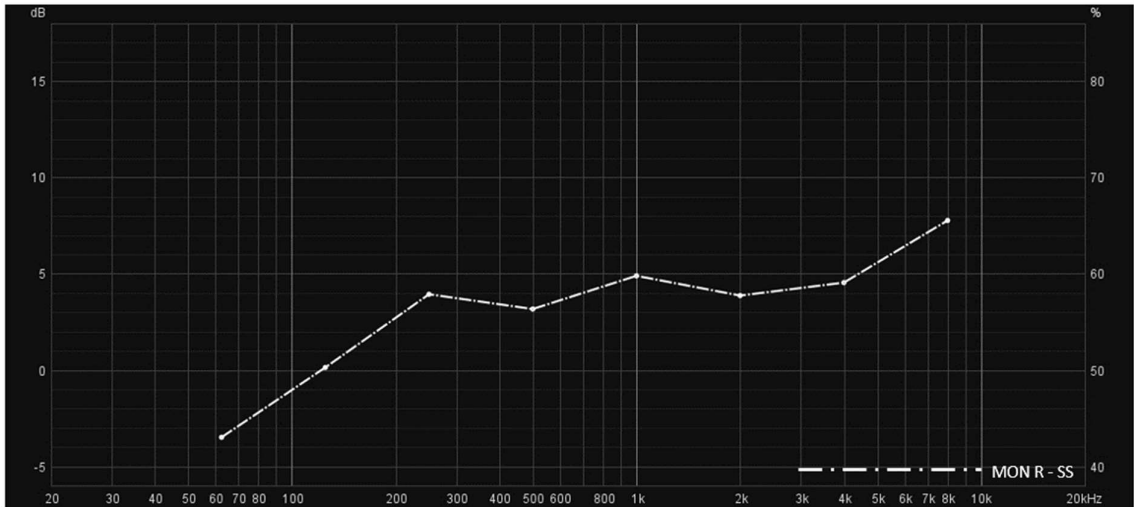


Figura 148 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

O gráfico da Figura 148, que representa os valores de C50 para o par MON L – BACK. O valor médio de C50 para as bandas entre os 500 Hz e 4000 Hz é de 4,14 dB. Este valor é mais baixo, quando comparado com o par MON L – SS.

Destaca-se que na banda de oitava de 63 Hz, o valor de C50 é negativo.

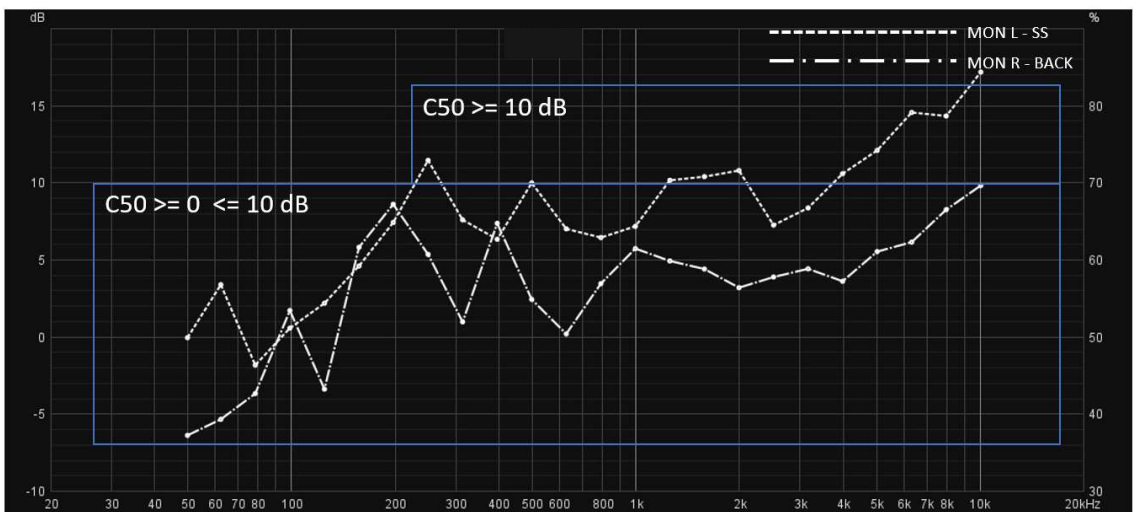


Figura 149 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

A Figura 149 apresenta os valores de C50 para os pares MON L – SS e MON R – SS, com as zonas de destaque a demarcarem as regiões abaixo e acima dos 10 dB. Para o par MON L – BACK o valor de C50 é inferior a 10 dB ao longo de todo o espectro. O par MON

L – SS apresenta um C50 superior a 10 dB apenas na gama de frequências acima de 3000 Hz.

### 12.3.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

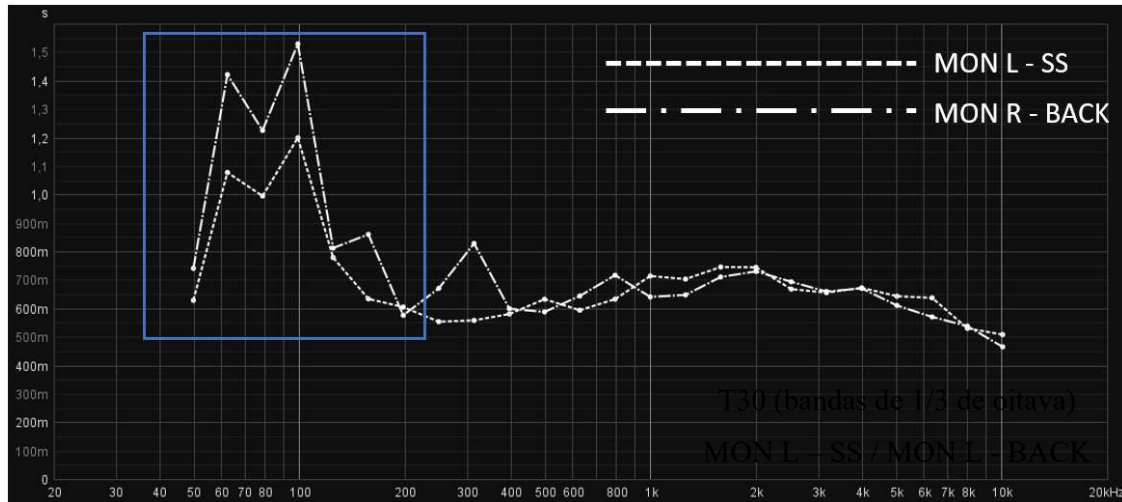


Figura 150 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

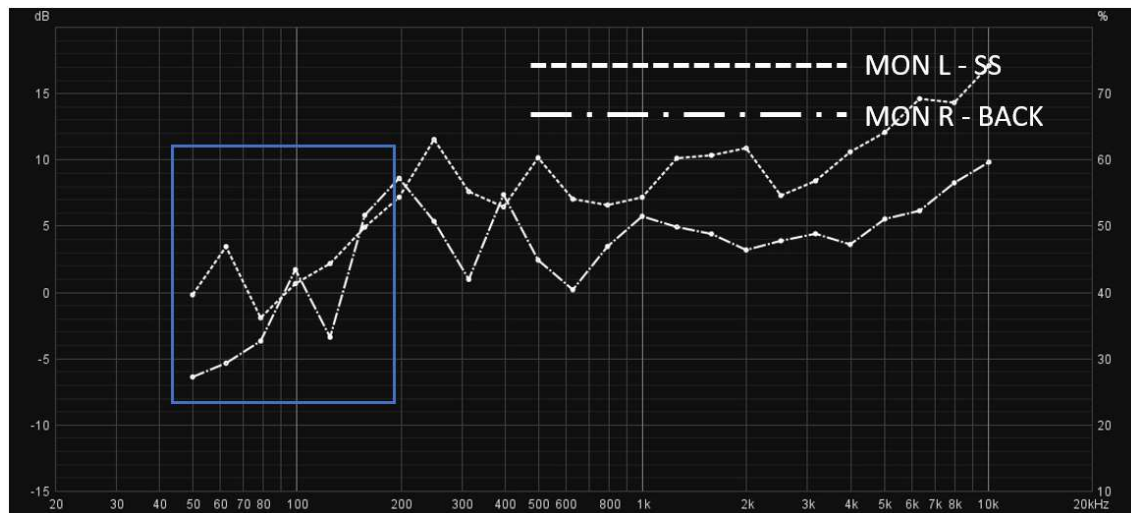


Figura 151 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”

Consultando a Figura 150 e a Figura 151, é possível verificar que região abaixo dos 200 Hz o aumento do T30, tem uma relação direta com a diminuição do parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave.

Para o espaço “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica” os tempos de reverberação são os mais longos quando comparados com os restantes espaços analisados no presente estudo. Os níveis de C50 medidos indicam que existe uma quantidade de energia 50 ms após o impulso inicial muito próxima da quantidade de energia nos primeiros 50 ms. Na posição BACK, nas 3 bandas de 1/3 de oitava mais graves, a energias contido no intervalo pós 50 ms é superior à energia contida no nos primeiros 50 ms, ou seja o campo reverberante tem mais energia que o campo direto.

### 12.3.13 Resposta em Frequência

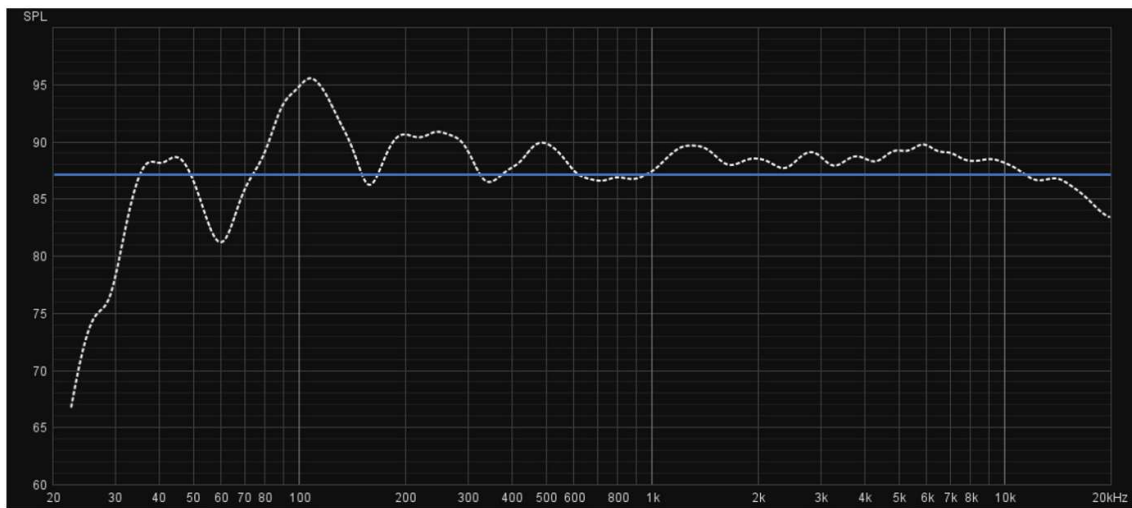


Figura 152 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A resposta em frequência apresentada na Figura 152, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 87,40 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,41 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 14,64 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 0,84 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 2,45 dB

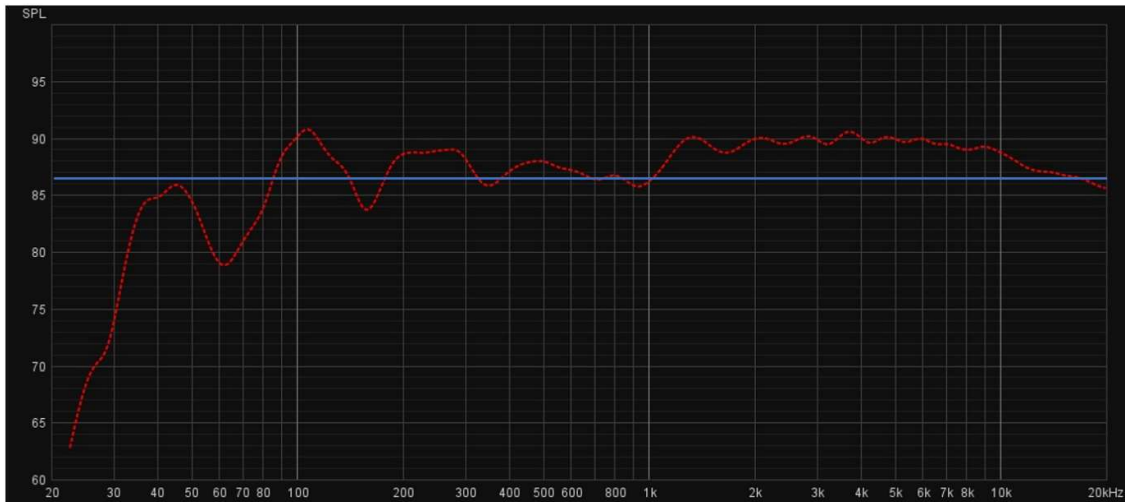


Figura 153 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A resposta em frequência apresentada na Figura 153, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 86,29dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,09 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 18,19 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,22 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 2,14 dB

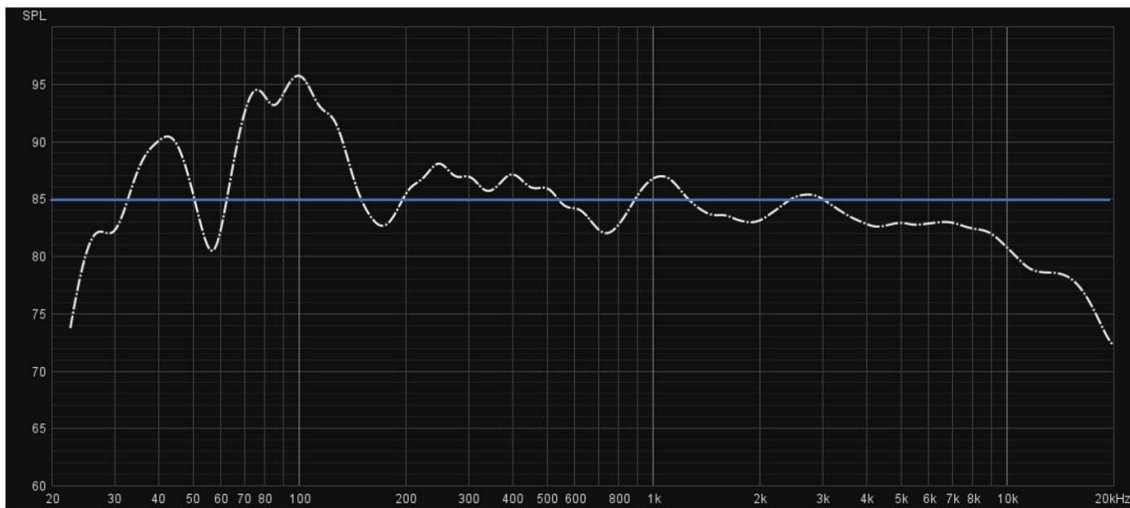


Figura 154 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A resposta em frequência apresentada na Figura 154, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 85,14 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,24 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 12,34 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,32 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 2,86 dB

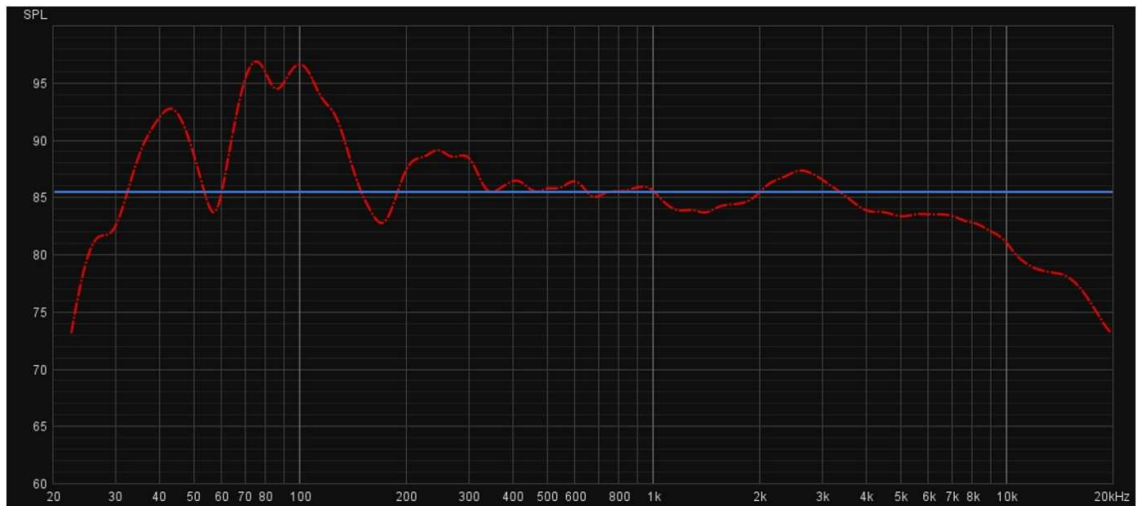


Figura 155 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”

A resposta em frequência apresentada na Figura 155, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 85,43 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,59 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 12,23 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,07 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 3,21 dB

## **12.4 ESMAE – Régie A**

### **12.4.1 Caracterização do Espaço**

- Considerando fronteiras visíveis:
  - Comprimento: 6,19 m
  - Largura: 4,09 m
  - Altura: 3,30 m
  - Volume: 83,54 m<sup>3</sup>
- 
- Considerando fronteiras estruturais:
  - Comprimento: 7,46 m
  - Largura: 4,09 m
  - Altura: 4,75 m
  - Volume: 144,93 m<sup>3</sup>

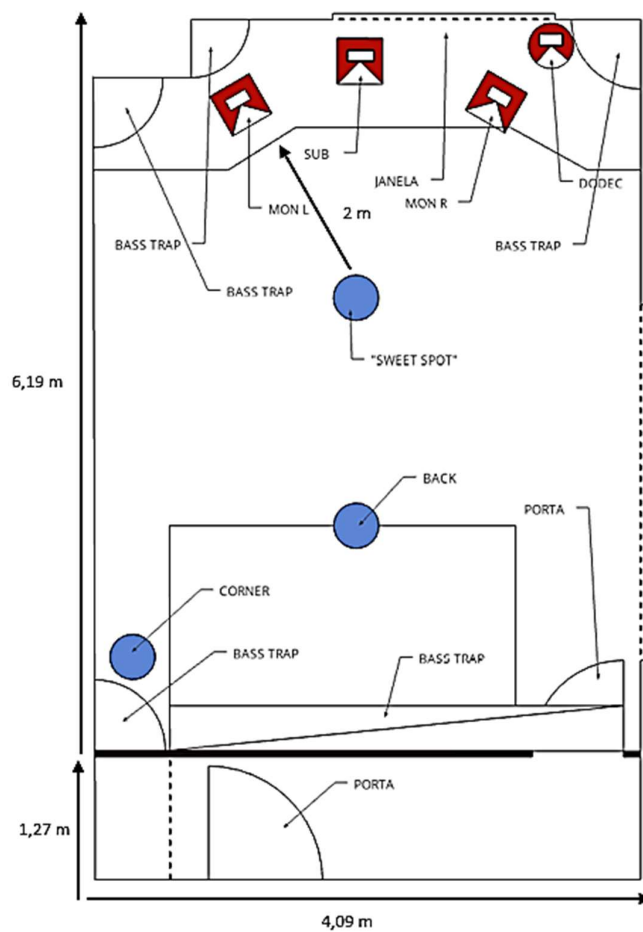


Figura 156-Visão em planta da sala “ESMAE – Régia A”

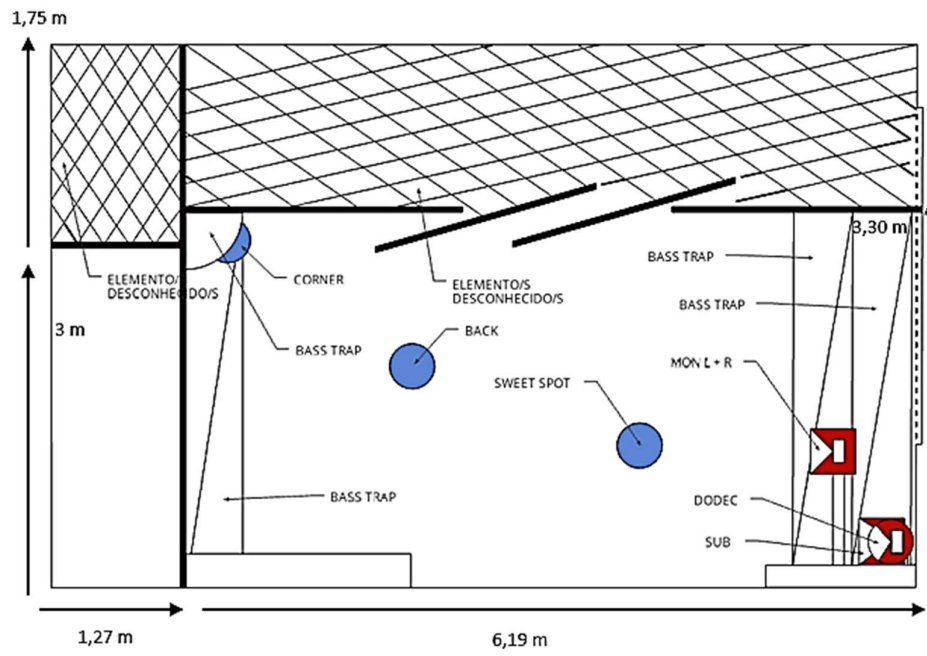


Figura 157 – Visão em corte da sala “ESMAE – Régia A”

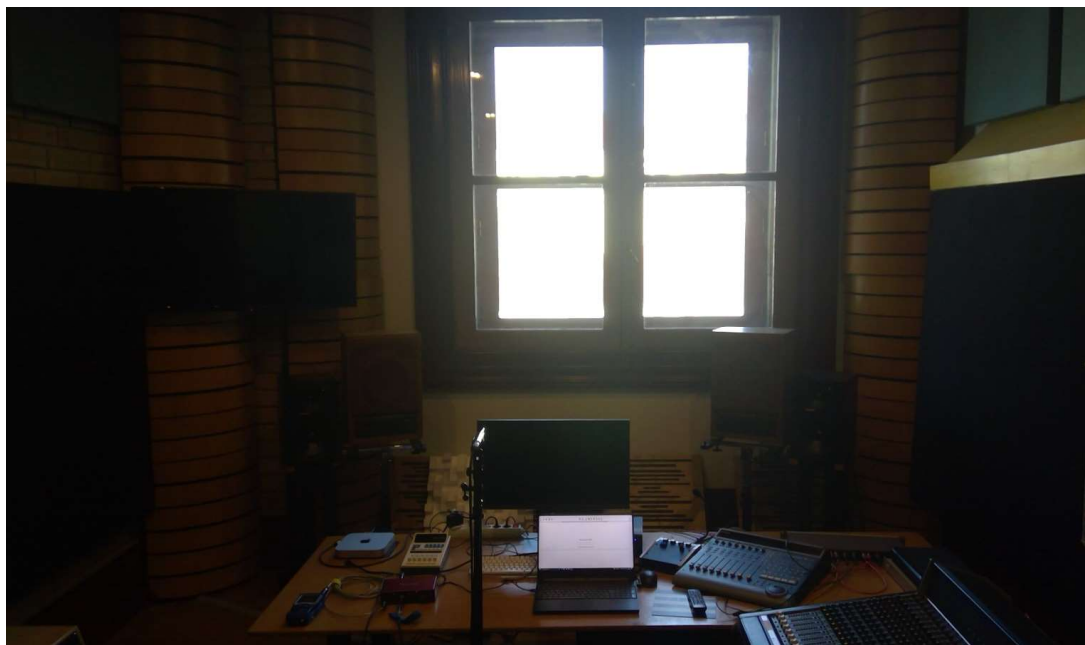


Figura 158 – Fotografia 1 da sala “ESMAE – Régia A”. Visão frontal do sistema de reprodução do espaço



Figura 159 – Fotografia 2 da sala “ESMAE – Régia A”

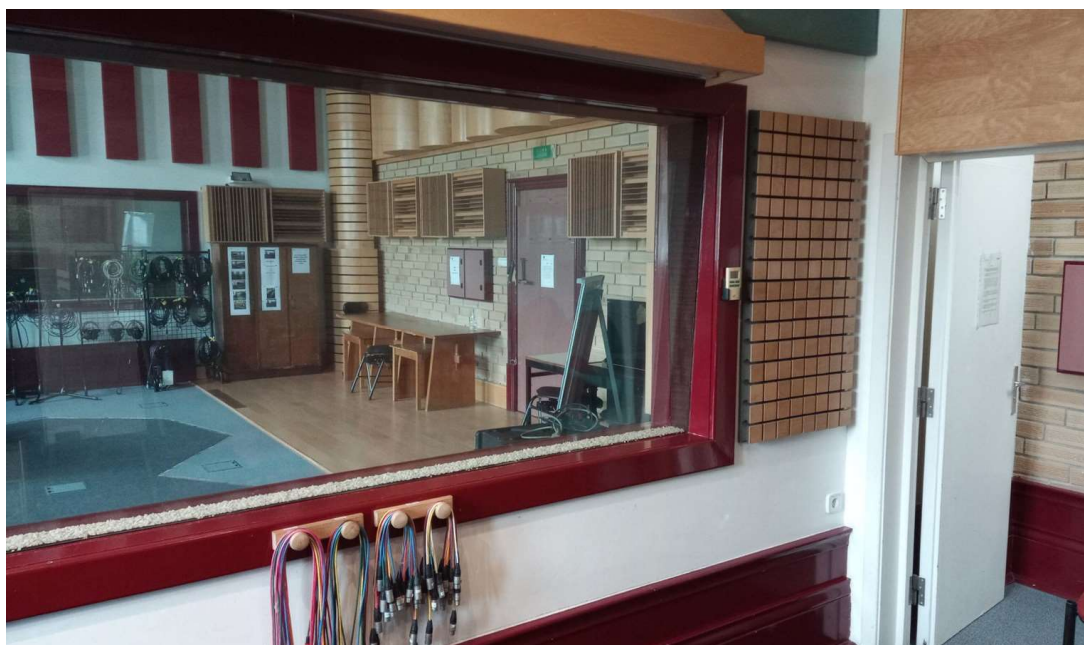


Figura 160 – Fotografia 3 da sala “ESMAE – Régia A”

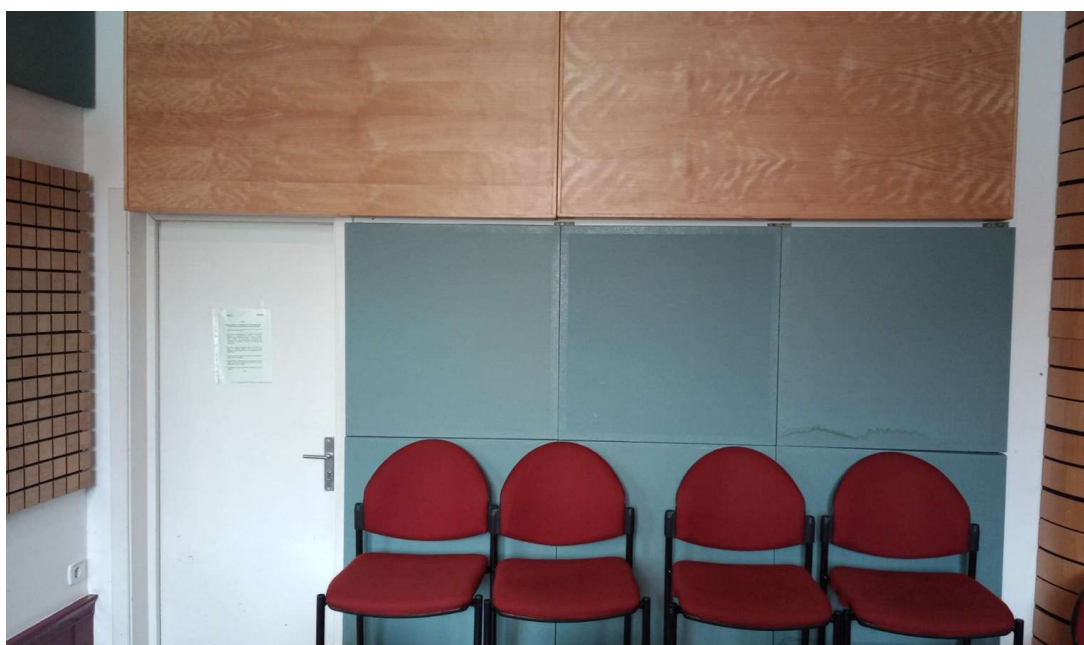


Figura 161 – Fotografia 4 da sala “ESMAE – Régia A”

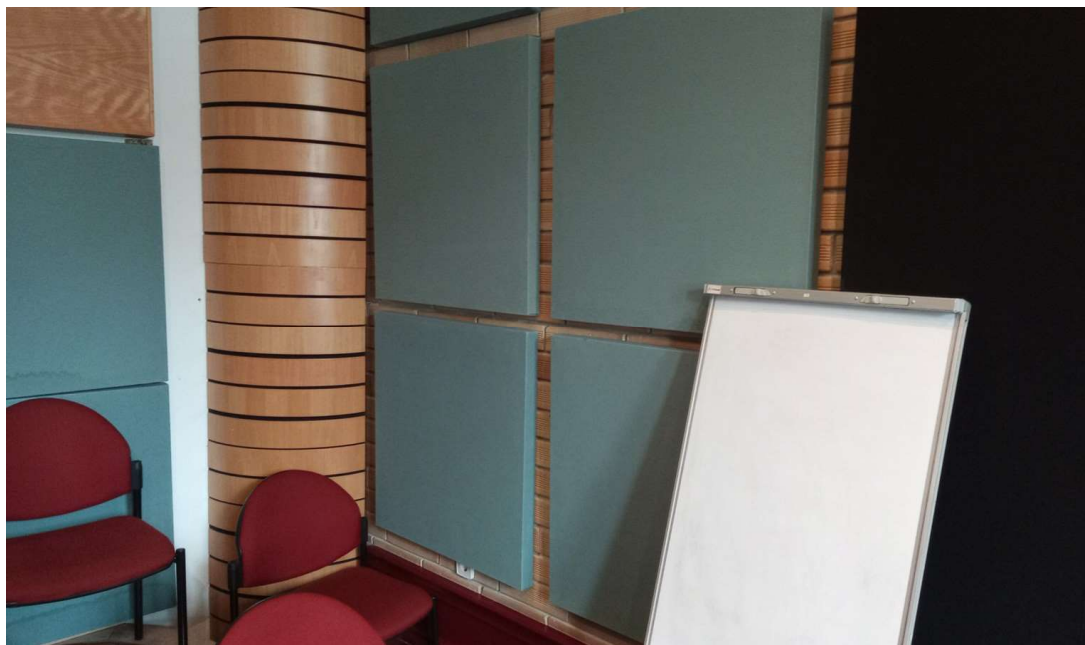


Figura 162- Fotografia 5 da sala “ESMAE – Régia A”

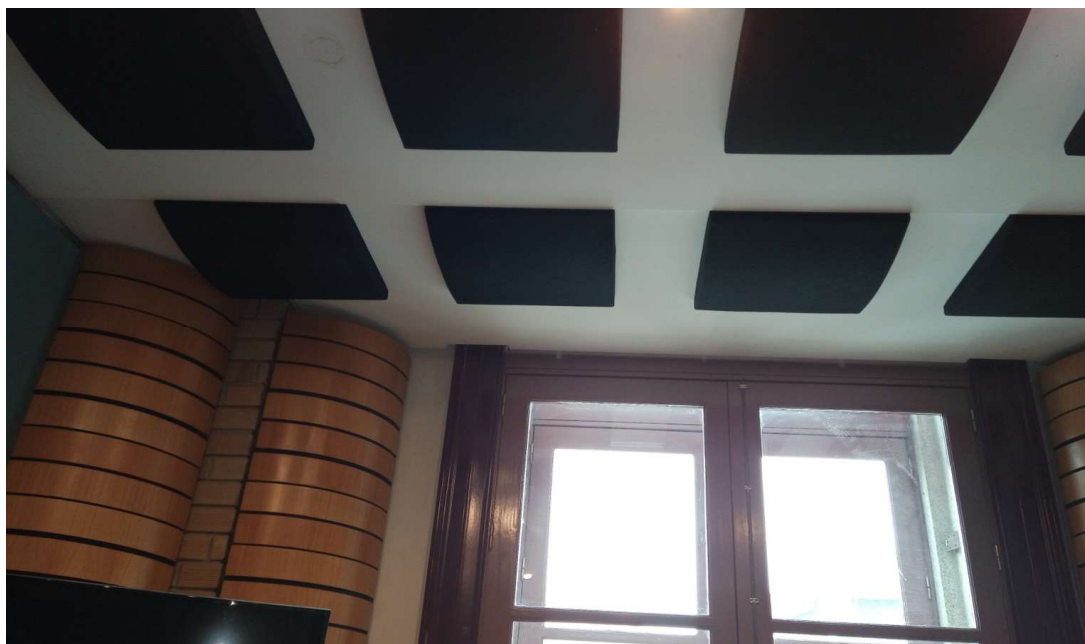


Figura 163 – Fotografia 6 da sala “ESMAE – Régia A”



Figura 164 – Fotografia 7 da sala “ESMAE – Régia A”

- As paredes visíveis são as paredes estruturais, excluindo a parede do fundo da sala (atrás do sweet spot) e o teto;
- O tipo de materiais contidos entre a teto visível e o teto estrutural são desconhecidos;
- Estúdio situado numa zona movimentada de uma escola (ESMAE);
- 2 janelas, uma localizada em frente ao sweet spot, a segunda à direita do sweet spot, coberta parcialmente por painéis absorventes;
- Aparelho de ar condicionado;
- Painéis com cerca de 5 cm de espessura nas paredes, compostos por painéis de material absorvente, painéis de membrana e ressoadores em frente ao sweet spot, abaixo da janela;
- 5 cantos, 4 Bass Traps;
- Teto com material absorvente acima do sweet spot, difusores 3D na secção mais recuada, atrás do sweet spot;
- Porta ao fundo da sala, atrás do sweet spot (uma folha).

### 12.4.2 Áreas e Volumes

Área bruta m <sup>2</sup>	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
30.51 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>	17,6 %

Tabela 10 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Régie A”

Volume bruto m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
144,93 m <sup>3</sup>	51,3 m <sup>3</sup>	35,4 %

Tabela 11 – Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ESMAE – Régie A”

### 12.4.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “ESMAE – Régie A”, estão disponíveis no Anexo 3 e Anexo 5. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: Genelec 1031A\*
  - Sistema de colunas bi-amplificado de duas vias;
  - Woofer de 8”
  - Tweeter de 1”
  - Bass Reflex (*front ported*)
  - Resposta em frequência: 48 Hz – 22 kHz ( $\pm 2$  dB)
- \*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R
- Subwoofer Genelec 1092A
  - Sistema de colunas amplificado de duas vias;
  - Woofers de 2x8”
  - Bass Reflex (*front ported*)
  - Resposta em frequência: 33 Hz – 80 Hz ( $\pm 2,5$  dB)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R.

\*\*O Subwoofer é considerado uma extensão de MON L e MON R e como tal, parte integrante dos mesmos.

\*\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espaco acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 1,55m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 30 Hz
- $Distância^2 = 2,4$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 3,6$

### 12.4.4 Função de Resposta ao Impulso

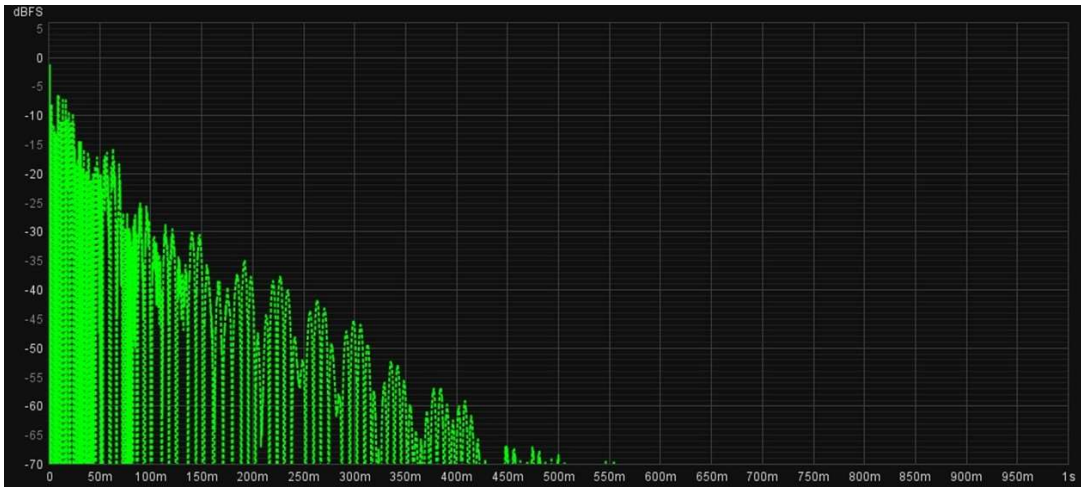


Figura 165 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ESMAE – Régia A”

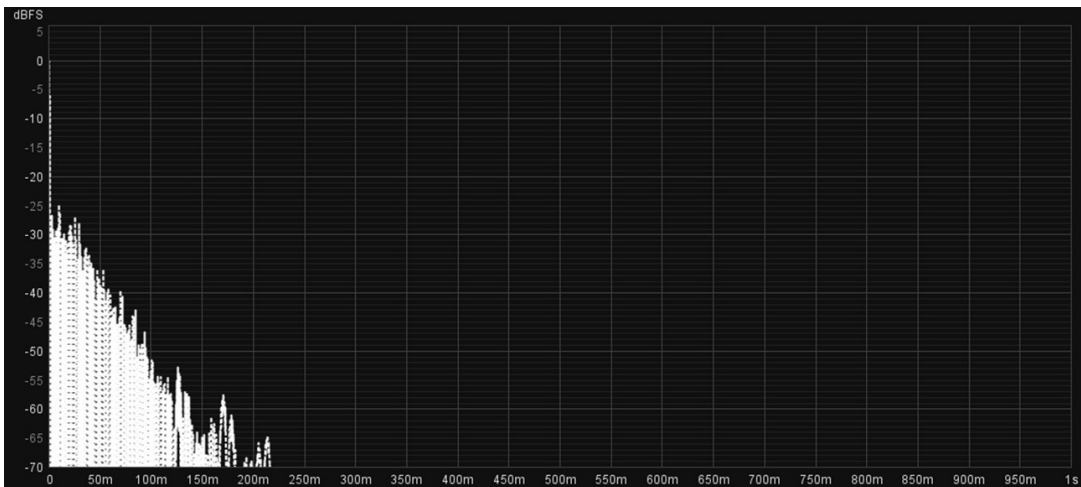


Figura 166- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Régia A”

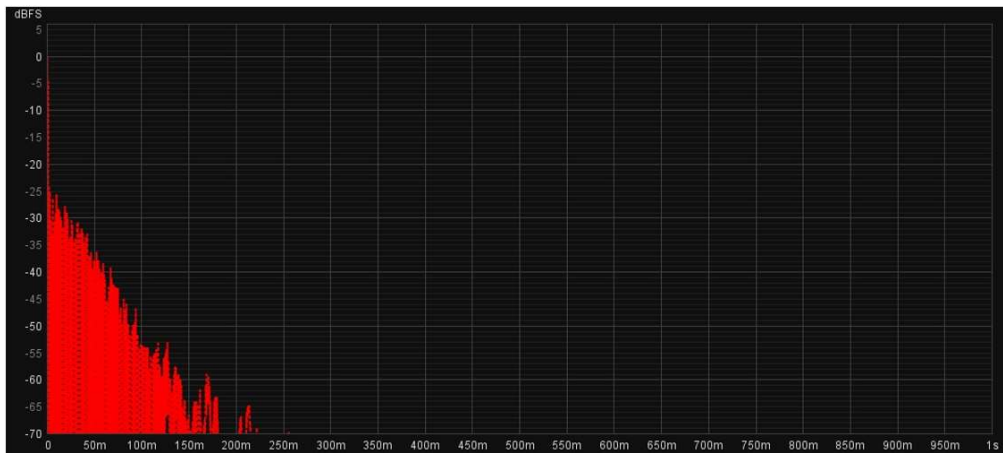


Figura 167 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 165, Figura 166 e Figura 167 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

#### 12.4.5 Análise das Reflexões Especulares

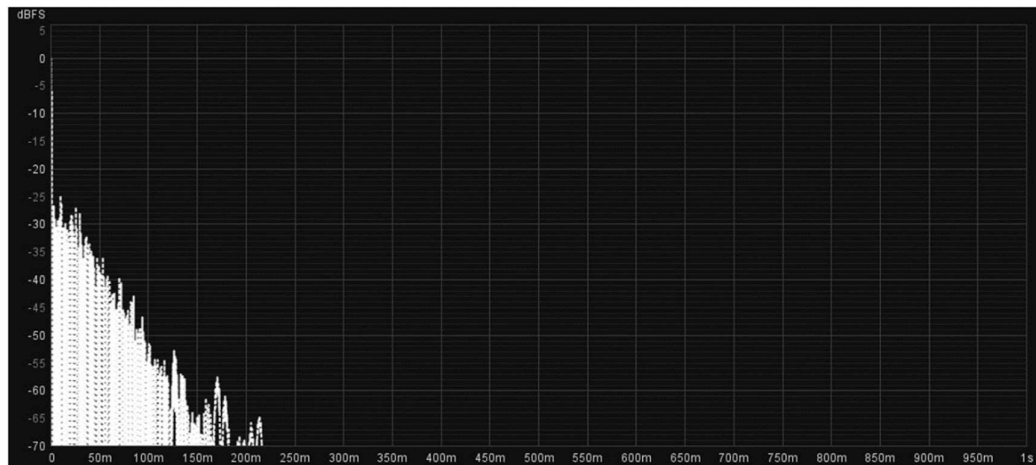


Figura 168 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A”

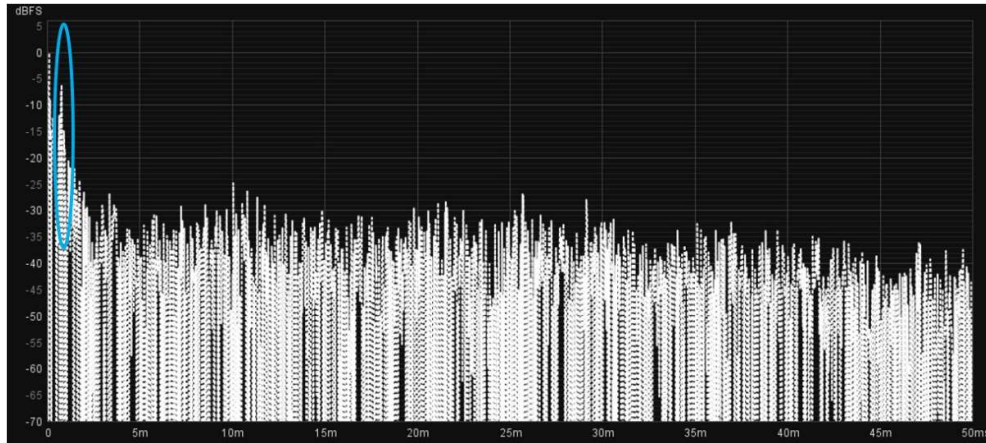


Figura 169 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”

Analisando o par MON L – SS é possível verificar na Figura 169 energia refletida que com cerca de 1 ms de atraso e -7 dB de energia em relação ao impulso inicial.

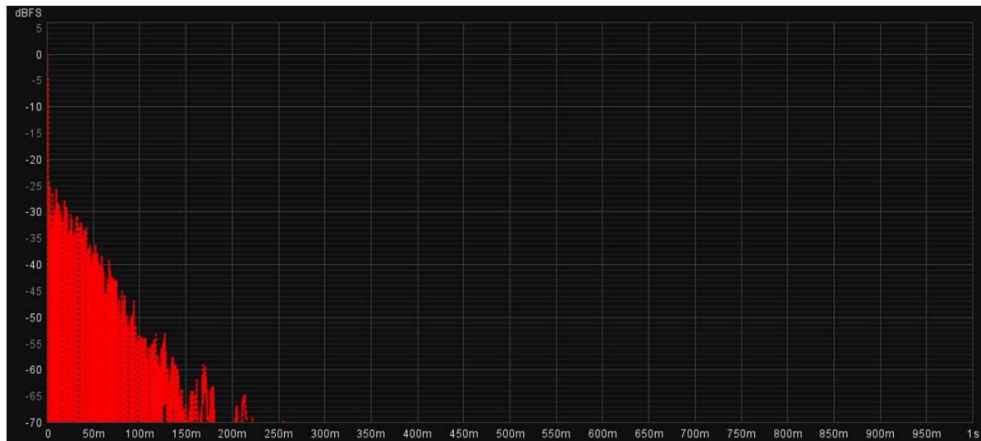


Figura 170 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A”

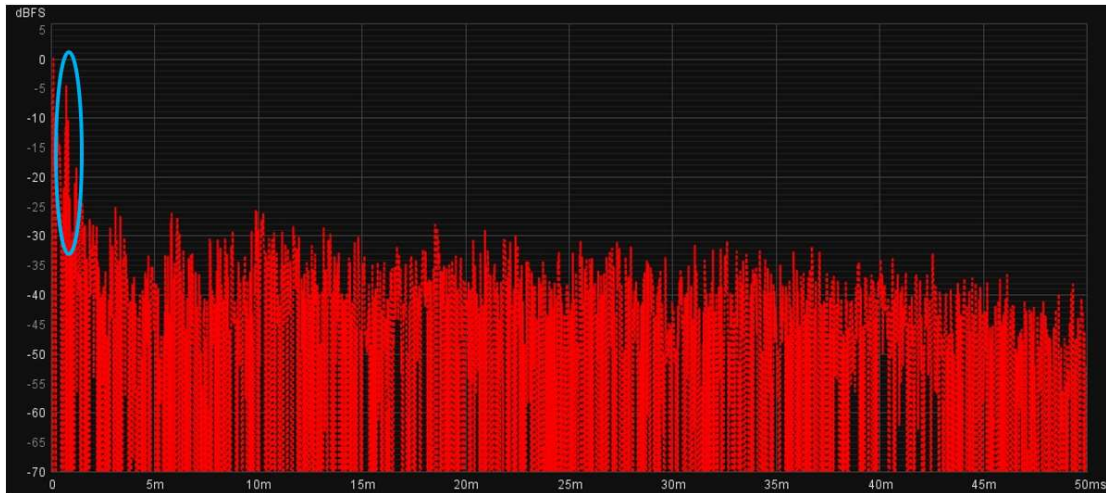


Figura 171 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”

Analisando o par MON L – SS é possível identificar, na Figura 171, energia refletida com 1 ms de atraso e -5 dB de energia em relação ao impulso inicial.

A janela, localizada à direita no ponto SS, não se manifesta em diferenças significativas na análise das reflexões especulares para os pares MON L – SS e MON R – SS. No entanto, é de assinalar que a reflexão detetada em ambos os pares tem mais energia (+2 dB) quando a fonte é MON R, ou seja, quando o impulso é proveniente do monitor da sala mais próximo da janela.

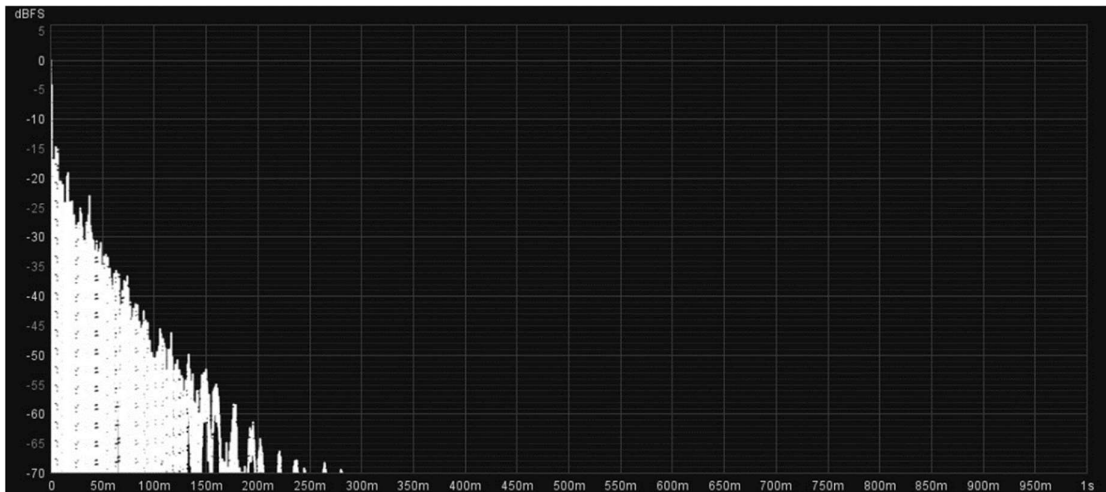


Figura 172 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ESMAE – Régia A”

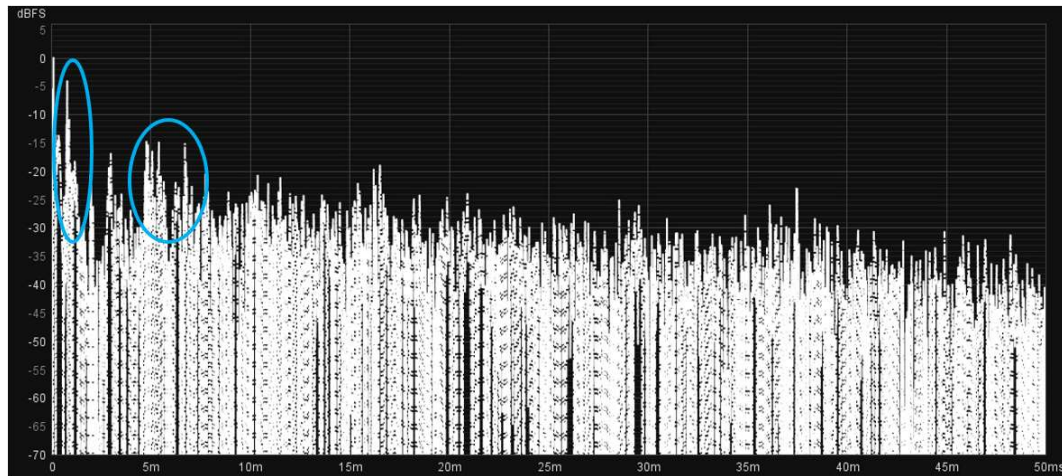


Figura 173 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento com algumas diferenças em relação ao ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 173, caracterizam-se por energia concentrada a 1 ms após o impulso inicial com -4 dB de energia. A reflexão tem um comportamento similar à detetada nos pares MON L – SS e MON R – SS. Na Figura 173, está também assinalado um conjunto de reflexões entre 5 ms e 7 ms após a chegada do impulso inicial e -15 dB de energia.

#### 12.4.6 *Initial Time Delay Gap (ITDG)*

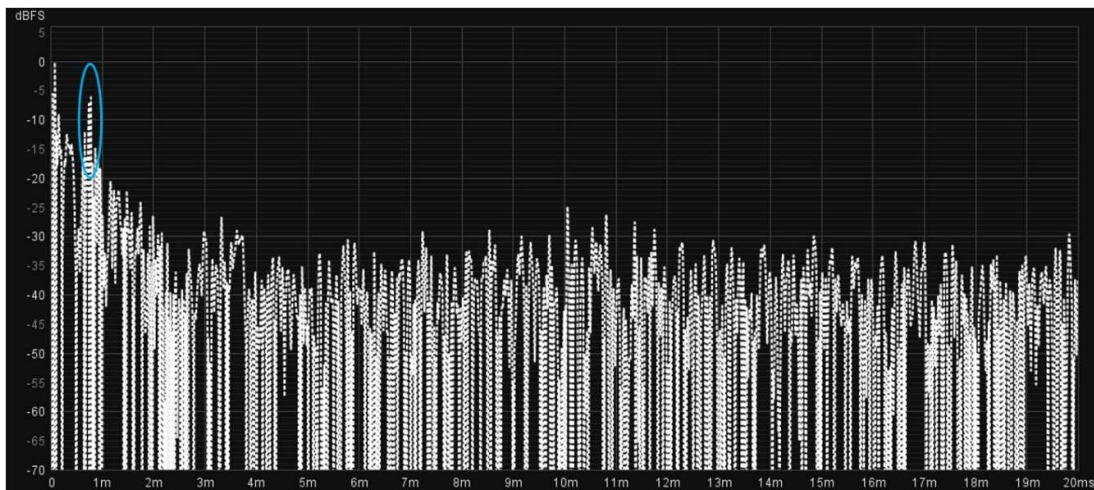


Figura 174 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ESMAE – Régia A”

Analisando Figura 174 é possível aferir que a primeira reflexão localizada anteriormente no primeiro milissegundo após a chegada do impulso inicial, tem exatamente 793  $\mu$ s de atraso. Esta reflexão muito próxima do som direto é, provavelmente, proveniente da reflexão causada pela secretária de trabalho. A energia da reflexão é cerca de -6 dB em relação ao impulso inicial.

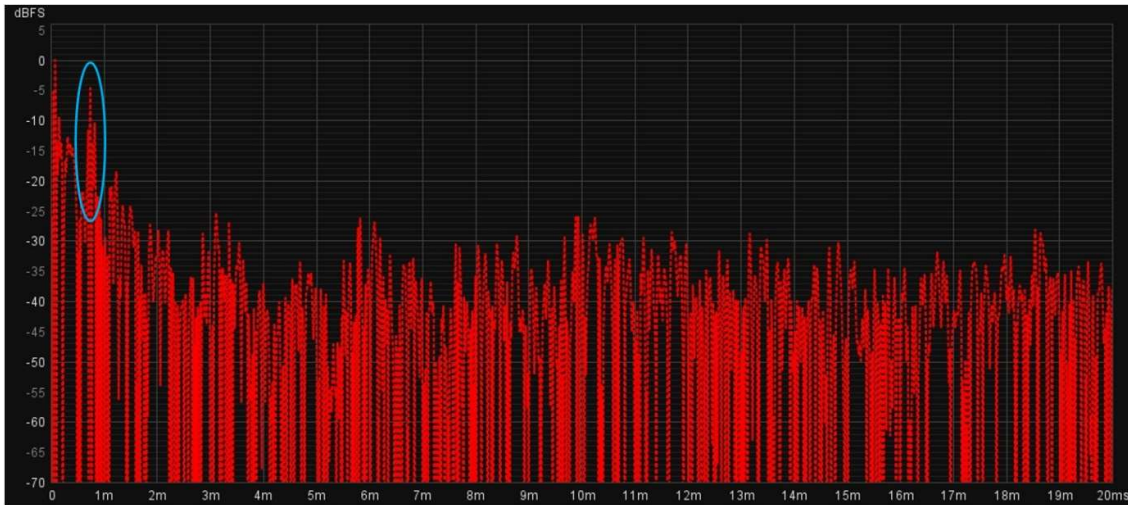


Figura 175 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ESMAE – Régia A”

Analisando Figura 175 é possível aferir que a primeira reflexão localizada anteriormente no primeiro milissegundo após a chegada do impulso inicial, tem exatamente 738  $\mu$ s de atraso. Esta reflexão muito próxima do som direto é, provavelmente, proveniente da reflexão causada pela secretária de trabalho.

A energia da reflexão é cerca de -4 dB em relação ao impulso inicial.

### 12.4.7 Análise Modal

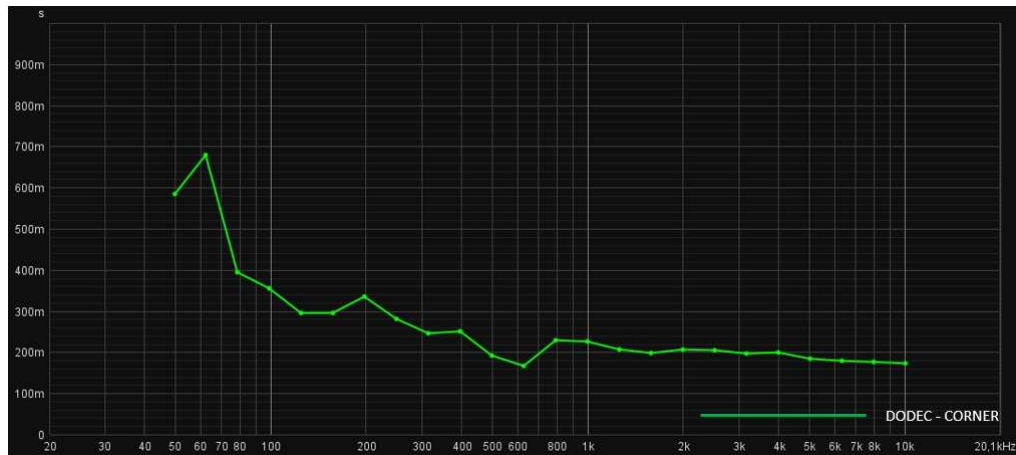


Figura 176 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ESMAE – Régia A”

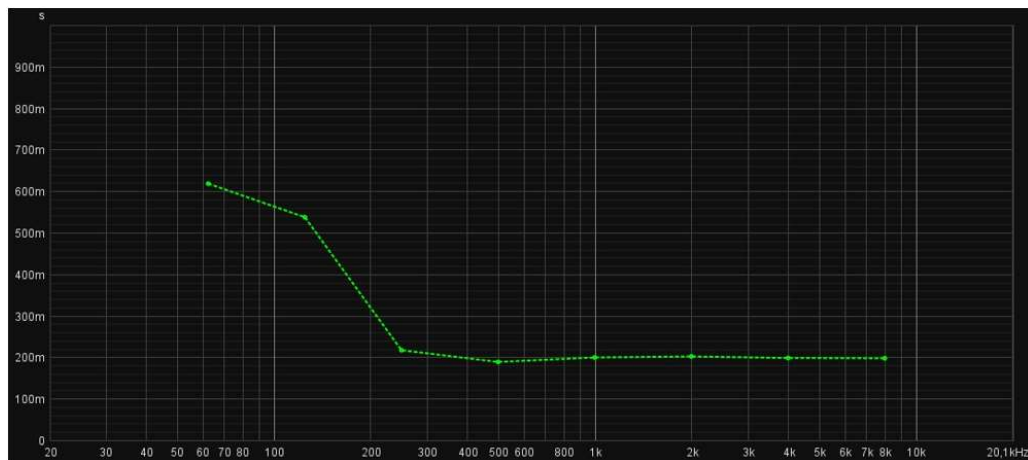


Figura 177 – Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 176 e a Figura 177 representam o T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o par DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas frequências abaixo de 300 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* bastante acima de 1, como será abordado no capítulo 14.4.9.

A gama de frequências contida na região modal, para a sala “ESMAE – Régie A” é dependente das dimensões do espaço e, no caso do seu limite superior, também pelo tempo de reverberação.

Frequência de Não-Suporte (considerando as dimensões limitadas pelas dimensões 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m):	28 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,763seg.))	118 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular (considerando como menor dimensão a altura do teto falso de 3,30 m)	1247 Hz

Tabela 12 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “ESMAE – Régie A”

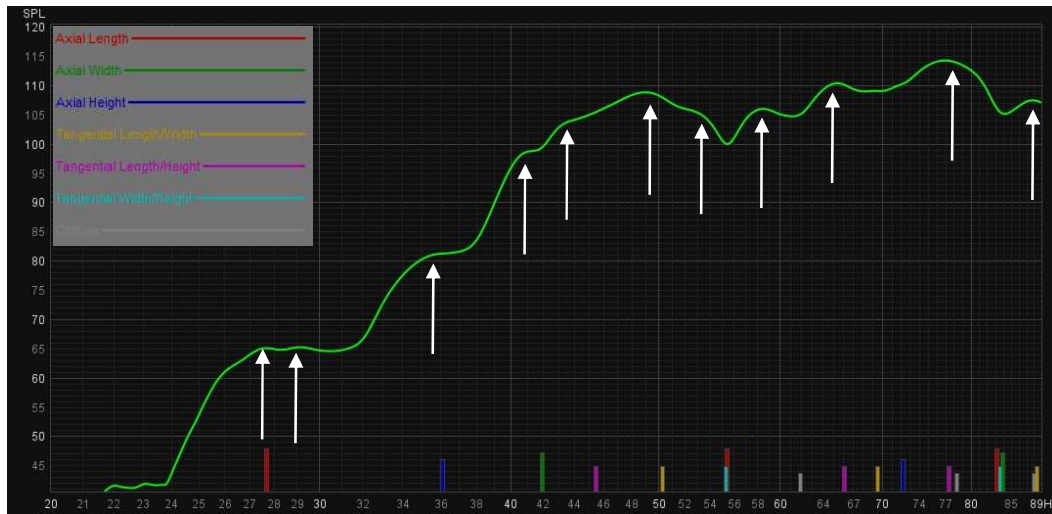


Figura 178 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ESMAE – Régie A”, considerando a dimensão de comprimento de 6,19 m

Na Figura 178, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 118 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. Pelo mesmo gráfico (Figura 178), é possível observar alguns modos cujo cálculo segundo a fórmula apresentada pela Equação 3 coincide com pontos de pressão identificados no gráfico. As discrepâncias devem-se ao facto de o modelo de cálculo teórico não considerar aberturas nas fronteiras do espaço (portas e janelas), ou comportamentos diferentes dos materiais que compõem as fronteiras do espaço; todos os materiais são considerados totalmente refletoras para todo o espectro. No caso da sala “ESMAE – Régie A”, as frequências modais comportam-se de forma mais próxima ao que seria esperado caso as dimensões da antecâmara sejam excluídas nos cálculos.

No gráfico estão identificados (com setas brancas) 11 pontos de pressão, que correspondem às reais frequências modais medidas no espaço.

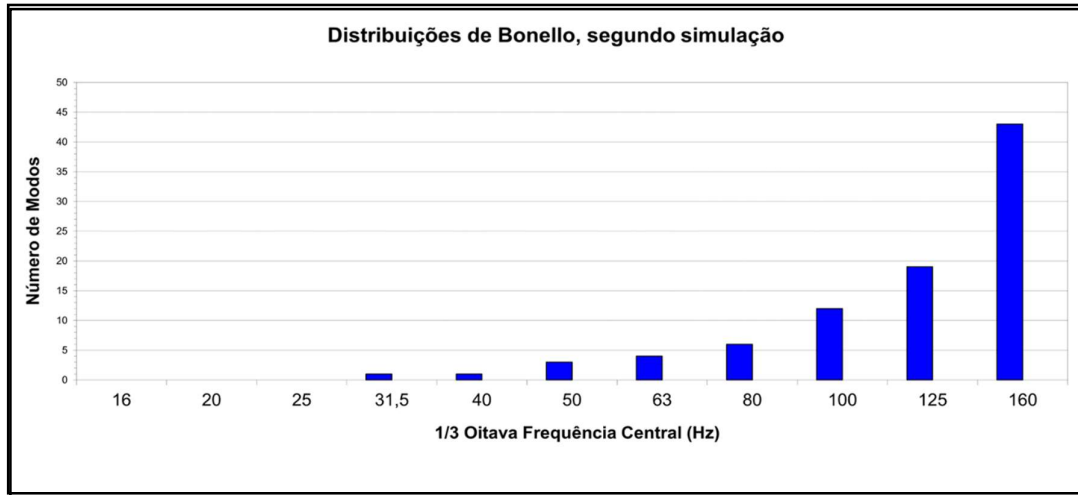


Figura 179 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ESMAE – Régia A”, considerando as dimensões de 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m

A Figura 179 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura (que não incluem a antecâmara). Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração”, uma vez que cada banda tem um número superior, ou pelo menos igual de modos associados em relação à banda anterior.

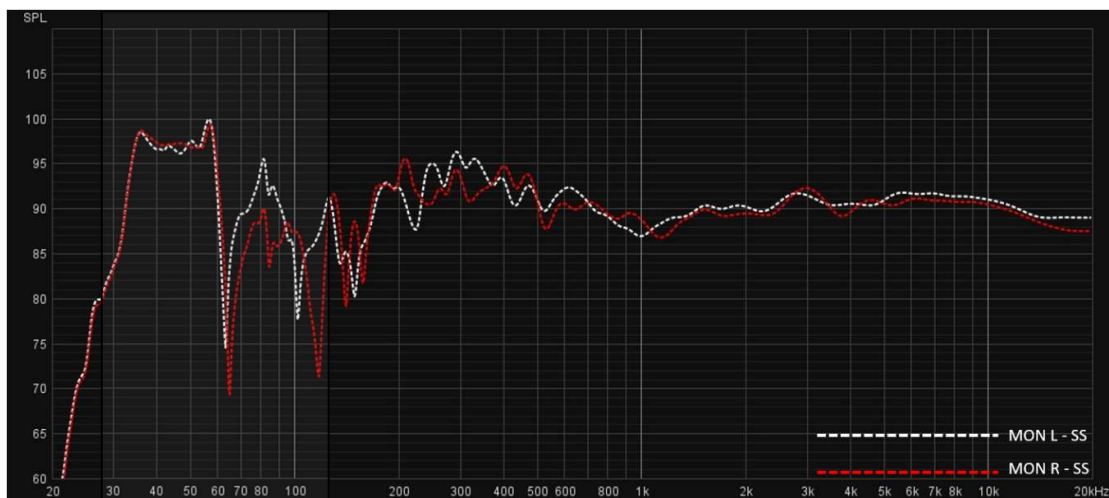


Figura 180 – Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 180 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é similar entre os dois, no entanto também é possível identificar diferenças importantes. A área destacada trata-se da região modal calculada para o espaço, sendo que os picos e vales são maioritariamente coincidentes, mas não na sua totalidade. Também é possível observar conjuntos de picos e cancelamentos acima da região assinalada (zona modal) até cerca dos 160 Hz.

As diferenças mais significativas estão relacionadas com dois cortes localizados nos 65 Hz e 117 Hz, no caso do par MON R – SS, que não se manifestam no par MON - SS. O grau de coincidência entre a resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS é inferior a todos os espaços profissionais (espaços “ARDA – Studio C, “ARDA – Mastering Studio e “Estúdio Miramar”).

A presença de superfícies fronteira lateral diferentes (do lado esquerdo parede, do lado direito janela) e o facto de a sala não ser um paralelepípedo perfeito podem ser fatores que contribuem para as diferenças observadas entre MON L – SS e MON R – SS. A janela da sala “ESMAE – Régie A” não pode ser apresentada como causa definitiva das diferenças referidas, uma vez que a sala “ARDA – Studio C”, também apresenta superfícies laterais diferenciadas, com uma das fronteiras laterais a apresentar uma grande área de vidro, no entanto as diferenças entre as medições de MON L – SS e MON R – SS são muito inferiores.

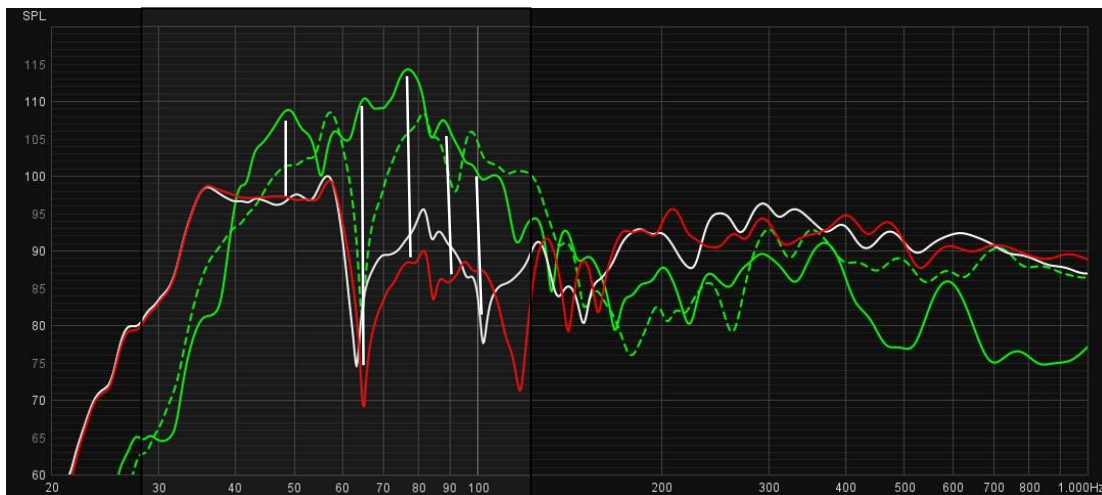


Figura 181 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ESMAE – Régie A”

Na Figura 181 é feita uma comparação entre os pares MON L / MON R e DODEC – SS com o par DODEC – CORNER, de forma a tentar identificar coincidências entre os pontos de pressão encontrados na medição DODEC – CORNER (frequências de atividade modal) e as restantes fontes no ponto SS. Foi possível identificar 5 pontos de pressão no par DODEC – CORNER, que se manifestam como picos ou cancelamentos na resposta em frequência de MON L e MON R. A maioria dessas irregularidades na resposta de MON L e MON R no ponto SS também podem ser verificados no par DODEC – SS, o que prova que as mesmas não são resultado da resposta dos monitores em questão, ou do posicionamento dos mesmos.

O gráfico da Figura 182 apresenta apenas os pares DODEC – CORNER e MON L – SS, de forma a facilitar a visualização da coincidência dos pontos de pressão em DODEC – CORNER, com os picos/cancelamentos da resposta medida em MON L – SS.

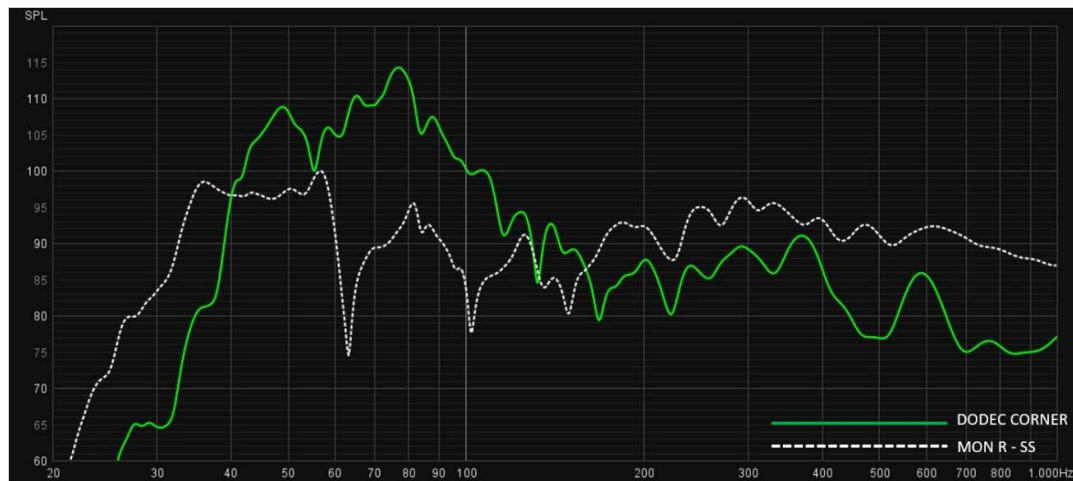


Figura 182 – Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ESMAE – Régia A”

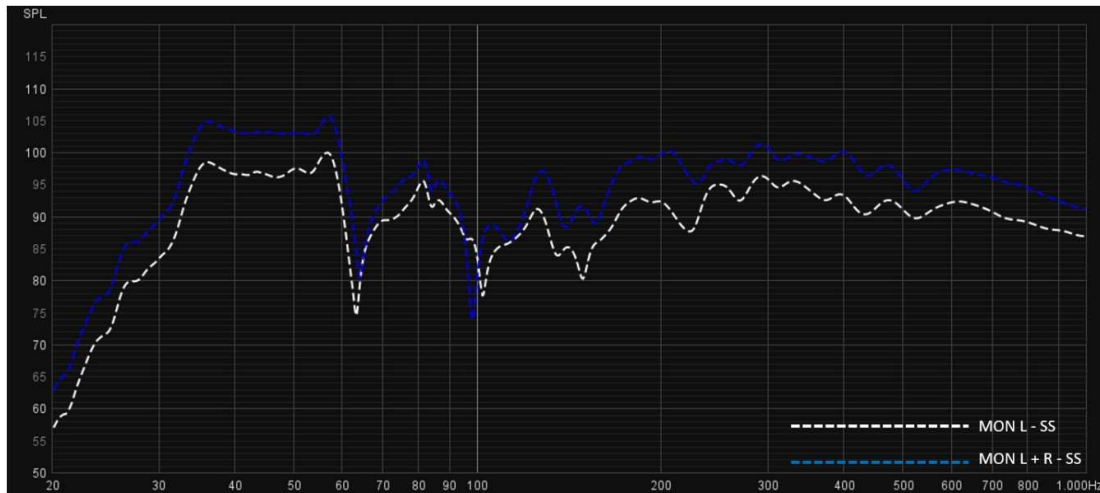


Figura 183 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Régia A”

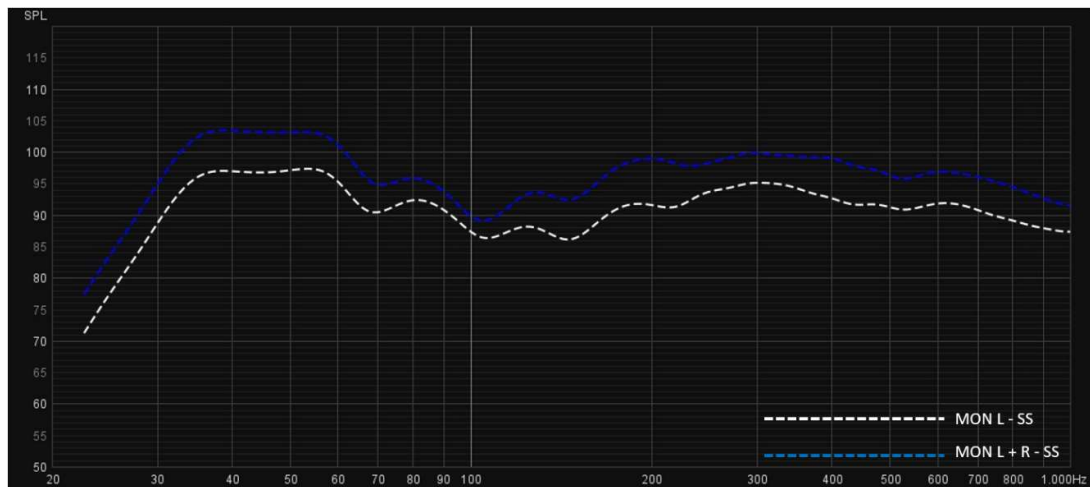


Figura 184 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ESMAE – Régia A”

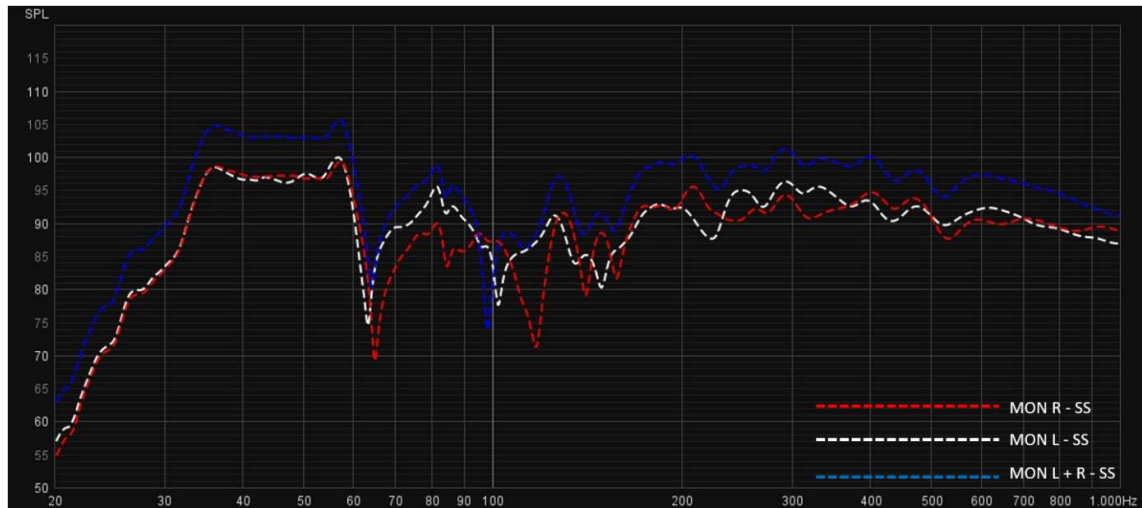


Figura 185 – Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, MON L – SS e MON R – SS, para a sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 183 e Figura 184 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L +R – SS, com a Figura 184 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS). Por fim, a região entre os 95 Hz e os 120 Hz apresenta as diferenças mais significativas, com cortes assinaláveis na resposta em frequência localizados em frequências diferentes para cada fonte.

#### 12.4.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 213$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 107$  Hz (1º cancelamento).



Figura 186 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R – SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ESMAE – Régia A”.

Na Figura 186 estão identificadas as frequências calculadas para o 1º pico e 1º cancelamento, teoricamente, causados pela reflexão do chão. As frequências calculadas e respetivas regiões assinaladas no gráfico não apresentam um corte e pico claros. No entanto, existem corte/s e pico/s junto das frequências calculadas, o que indica que a fórmula utilizada e/ou a assunção da altura de MON L e MON L como 1,25 m podem causar algum desvio nos valores calculados.

### 12.4.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]



Figura 187 – Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala “ESMAE – Régia A”

A análise da Figura 187, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 125 Hz, na qual se verifica um aumento substancial do tempo de reverberação.

Acima da banda de 1/3 de oitava de 125 Hz pode-se verificar que não existem bandas de frequência cujo tempo de decaimento se destaca em relação às restantes, positiva ou negativamente; o campo reverberante é uniforme, no que refere ao tempo de decaimento por banda de frequência.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

Comparando a sala “ESMAE – Régie A” com as salas “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, a subida do tempo de reverberação nas frequências graves começa em frequências mais baixas. A sala “ESMAE – Régie A” apresenta uma quantidade de material dedicado ao acondicionamento acústico da energia às baixas frequências superior às salas “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, sobretudo no teto.

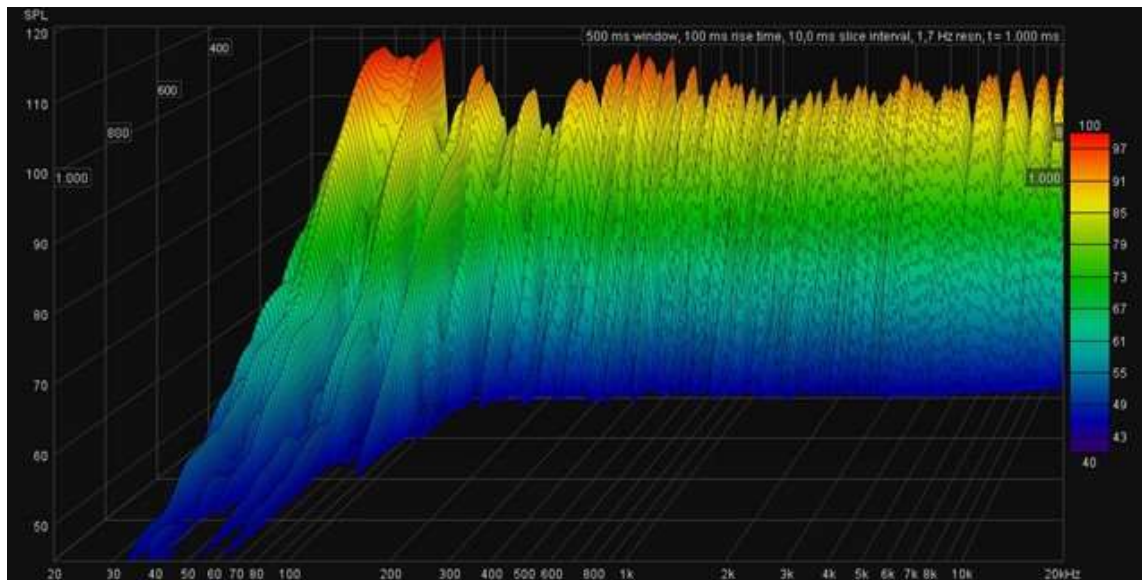


Figura 188 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “ESMAE – Régie A”

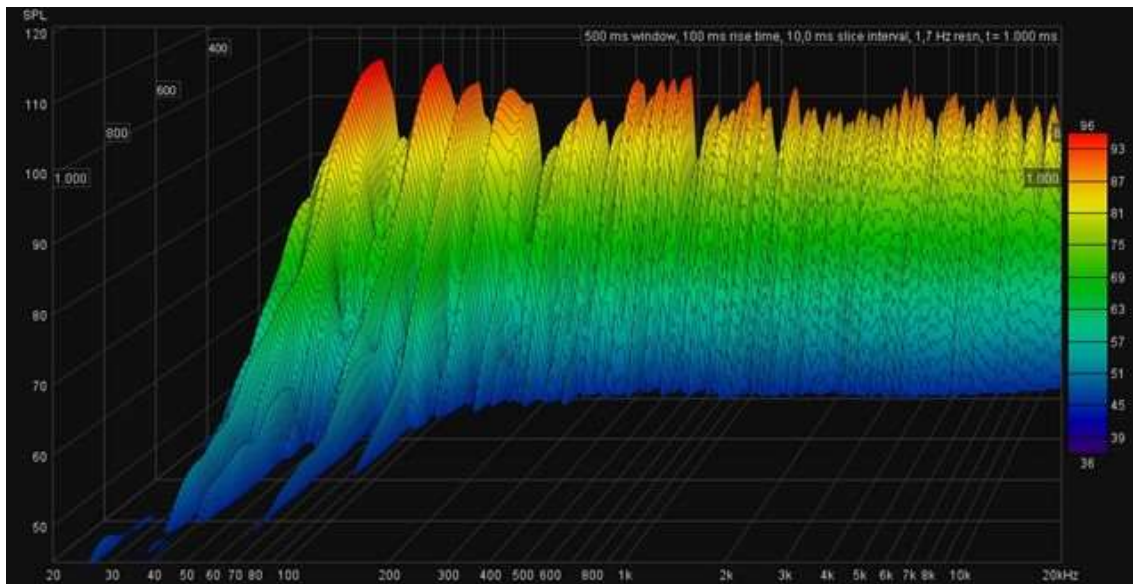


Figura 189 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

Comparando dos decaimentos de MON L – SS (Figura 188) e MON L – BACK (Figura 189), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar.

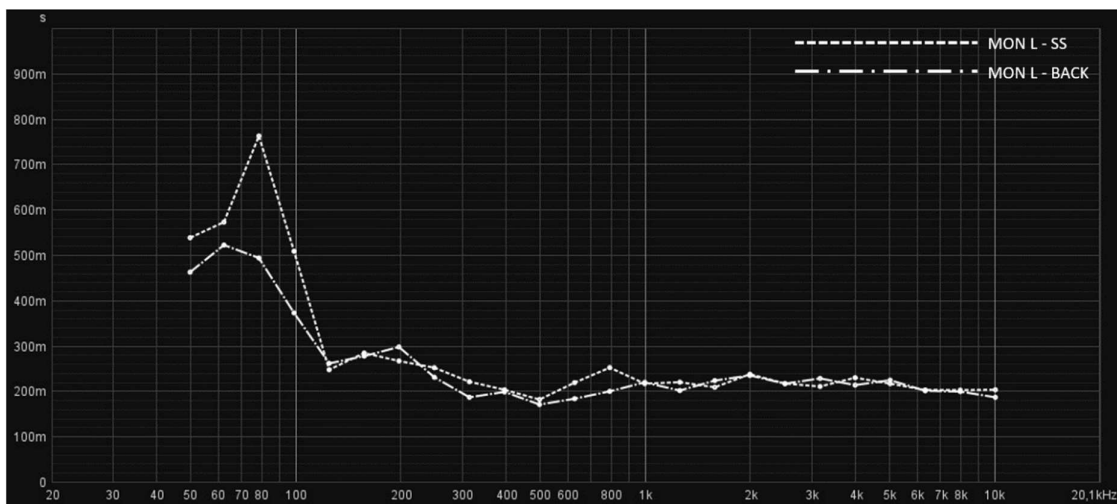


Figura 190 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

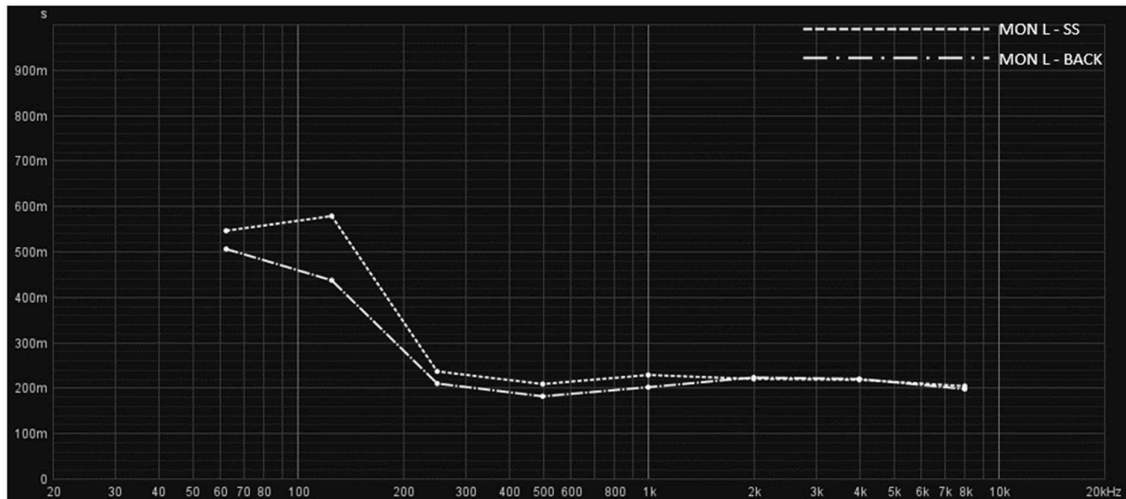


Figura 191 – T30 em bandas de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 190 e a Figura 191 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro.

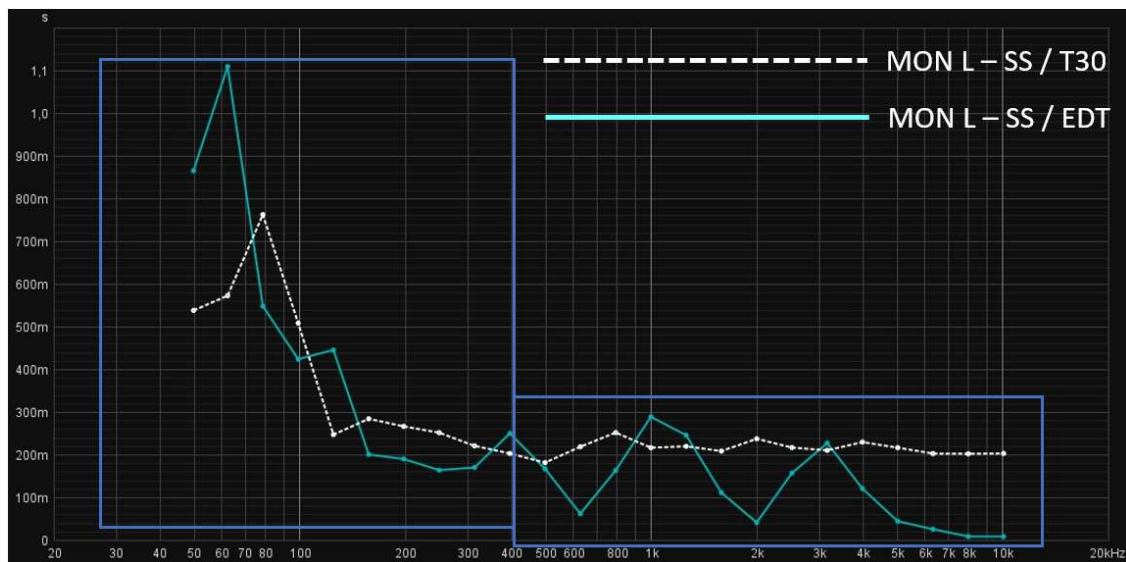


Figura 192 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L – SS, na sala “ESMAE – Régia A”

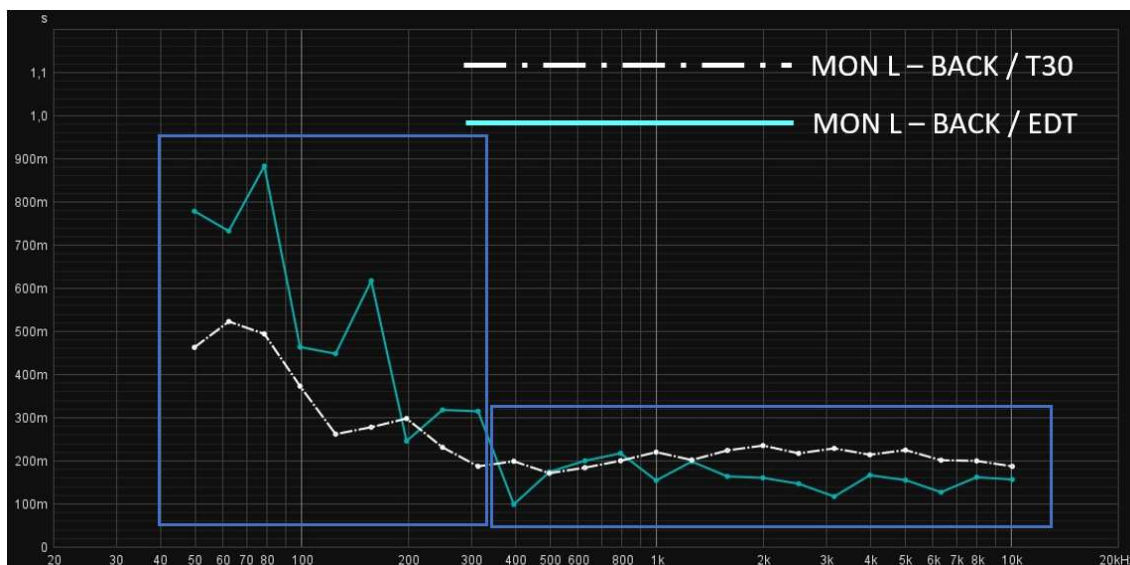


Figura 193 – T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

A análise da Figura 192 (MON L – SS) permite identificar duas regiões com comportamentos distintos. Abaixo dos 400 Hz, os tempos de EDT e T30 formam gráficos com curvas similares, apesar de os tempos de decaimento serem diferentes. Acima de 400 Hz o tempo de EDT é, tendencialmente, mais curto que o tempo de T30. Este comportamento indicia que os materiais absorventes presentes no espaço e próximos ao ponto de escuta (SS) são mais eficazes em frequências acima dos 400 Hz, com a energia refletida medida na referida gama frequencial a ter origem em superfícies mais distantes.

A Figura 193 (MON L – BACK) apresenta um comportamento similar, ao descrito no parágrafo anterior, com a frequência que marca a fronteira entre as duas regiões a ser mais próxima dos 300 Hz.

### 12.4.10 *Bass Ratio*

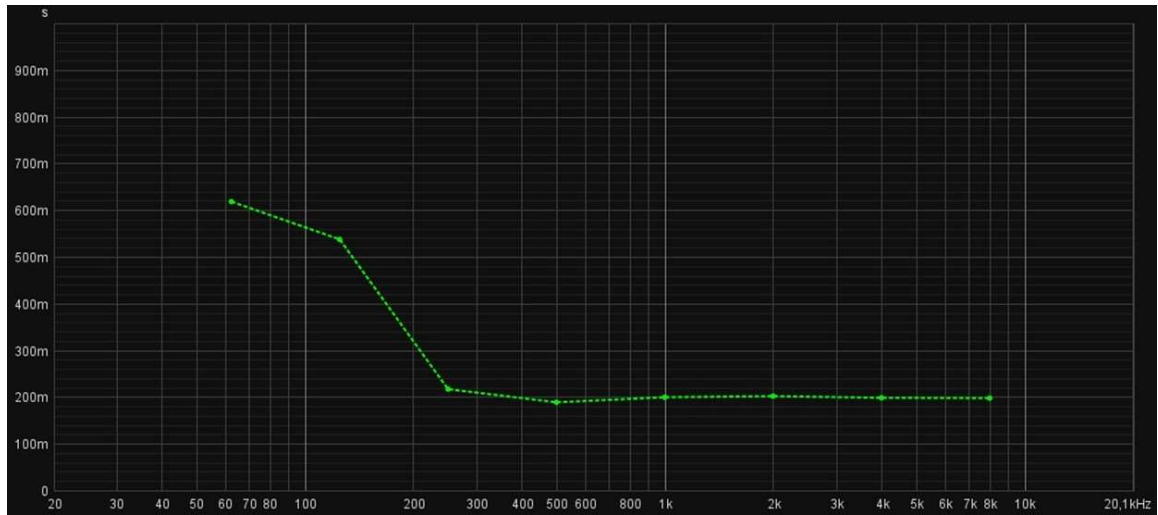


Figura 194 – T30 em bandas de oitava para o par DODEC – SS, na sala “ESMAE – Régia A”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC – SS = 2
- *Bass Ratio* – MON L – BACK = 1,9

A consulta da Figura 194 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação nas bandas de oitava de 125 Hz e 63 Hz, quando comparado com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,199 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0,537 seg.
- 63 Hz – RT60 = 0,692 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 169% RT (comparado com 1000 Hz);

- 63 Hz + 247% RT (comparado com 1000 Hz).

Considerando os valores de referência de um aumento de 20% do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz e 80% na banda de oitava de 63Hz, em relação à banda de 1000 Hz, verifica-se que apenas as bandas de 63 Hz e 125 Hz estão acima dos valores propostos.

#### 12.4.11 Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

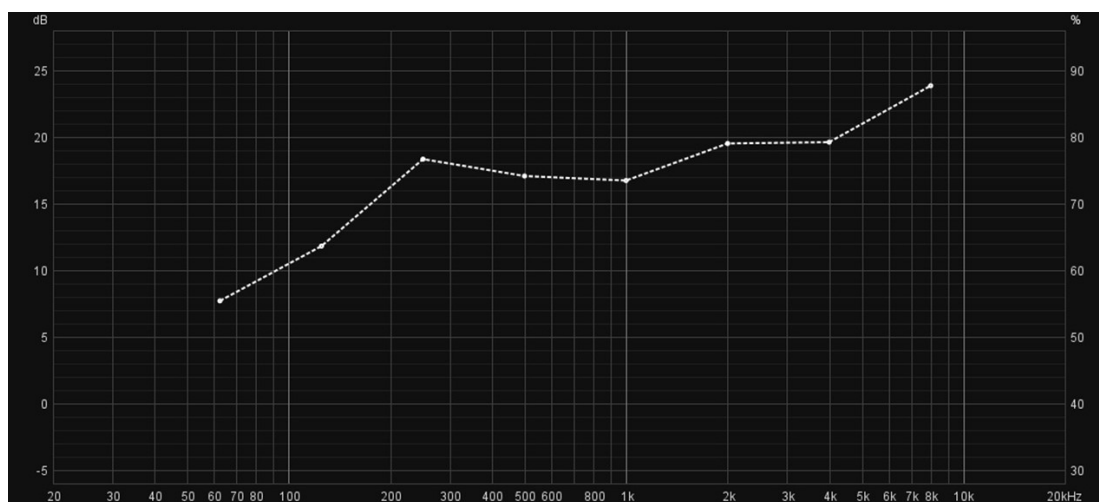


Figura 195 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ESMAE – Régia A”

Os valores de C50, apresentados na Figura 195, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 18,23 dB, para o par MON L – SS. No entanto, reconhecendo a necessidade de uma escuta que abranja todo o espectro audível e com a necessidade de valores de clareza em toda a gama de frequências, pode-se verificar que, nas bandas de 125 Hz e 63 Hz, os valores são mais baixos, com a banda de 63 Hz a apresentar um valor inferior ao valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5.

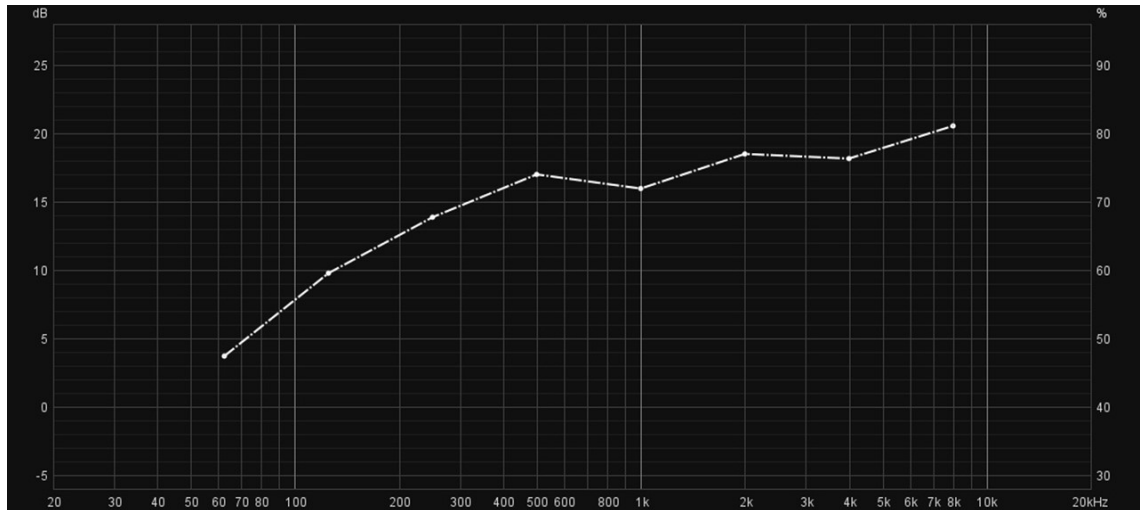


Figura 196 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ESMAE – Régia A”

O gráfico da Figura 196 apresenta os valores de C50 para o par MON L – BACK. O valor médio de C50 para as bandas entre os 500 Hz e 4000 Hz é de 17,41 dB. Este valor é mais baixo, quando comparado com o par MON L – SS.

Como no par MON L – SS, os valores de C50 são mais baixos nas de oitava de 63 Hz e 125 Hz, com o valor da banda de 63 Hz a apresentar um valor inferior a 9,63 dB.

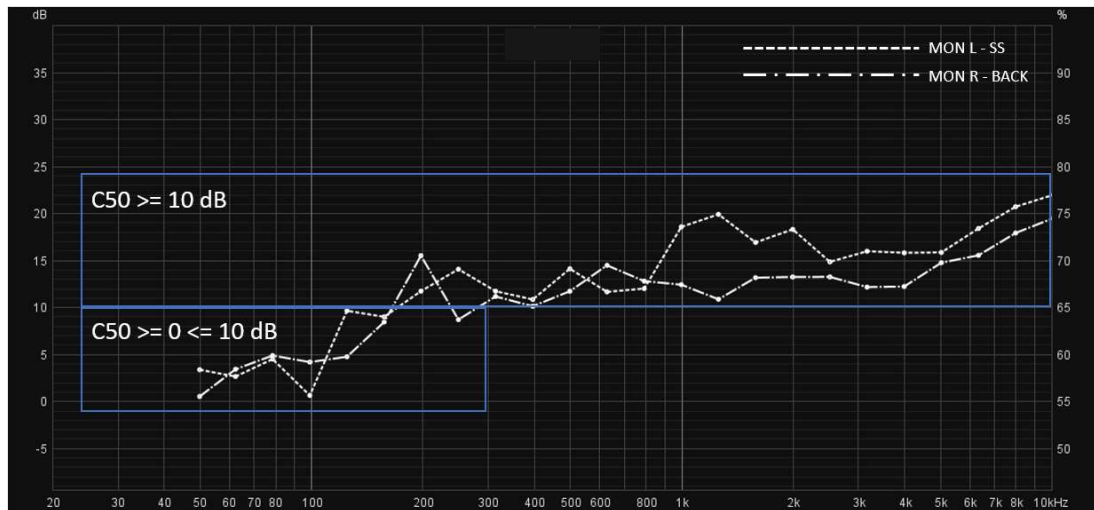


Figura 197 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

A Figura 197 apresenta os valores de C50 para os pares MON L – SS e MON R – SS, com as zonas de destaque a demarcarem as regiões abaixo e acima dos 10 dB. É possível

visualizar as regiões abaixo dos 10 dB, sobretudo no par MON L – BACK. A região abaixo da banda de 1/3 de oitava de 160 Hz apresenta toda ela valores de C50 inferiores a 10dB, enquanto é possível verificar valores de C50 superiores a 10 dB para MON L – SS em toda a gama de frequências acima dos 160 Hz e, na posição BACK o comportamento é similar, que resultados ligeiramente mais baixos (excetuando um pequeno desvio na banda de 1/3 de oitava de 250 Hz).

#### 12.4.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

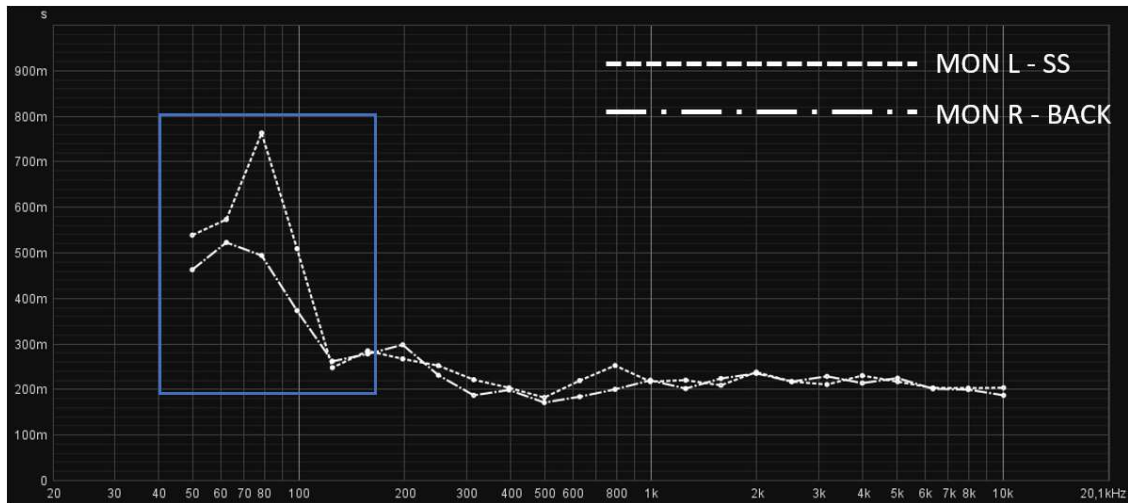


Figura 198 – T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

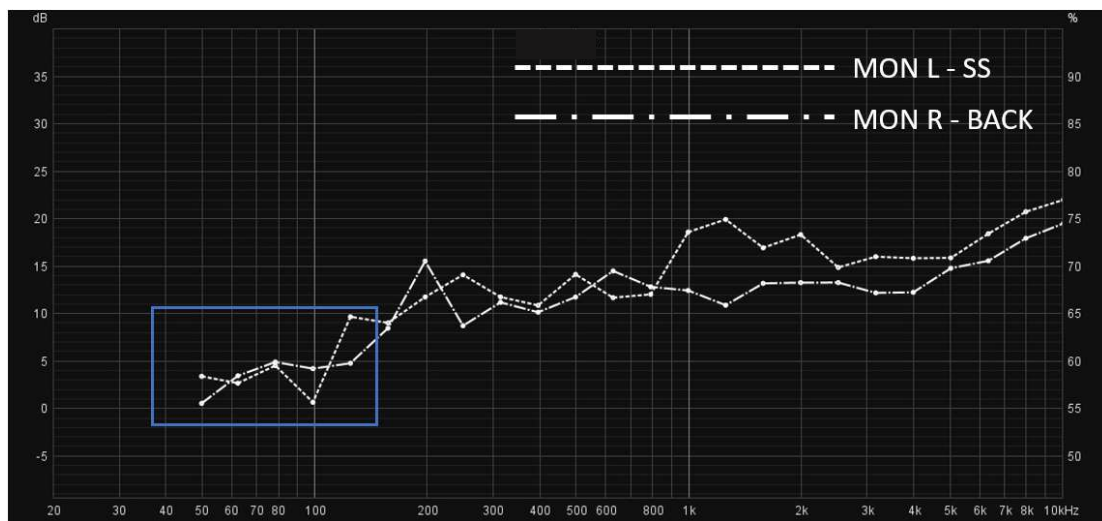


Figura 199 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L – SS e MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

Consultando a Figura 198 e a Figura 199, é possível verificar que região abaixo dos 250 Hz o aumento do T30, tem uma relação direta com a diminuição do parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave.

### 12.4.13 Resposta em Frequência

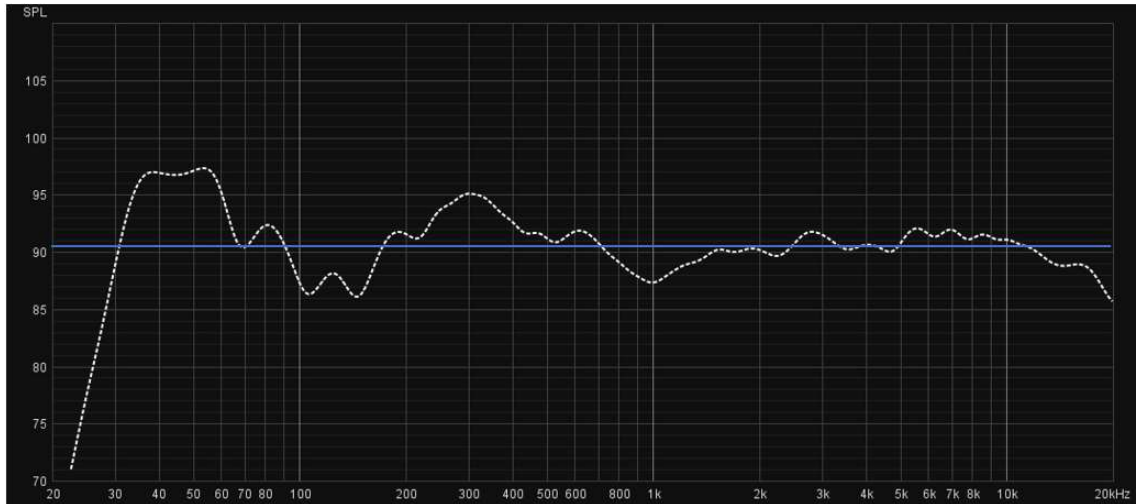


Figura 200 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ESMAE – Régia A”

A resposta em frequência apresentada na Figura 200, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 90,48 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,31 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 13,18 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,49 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 4.07 dB

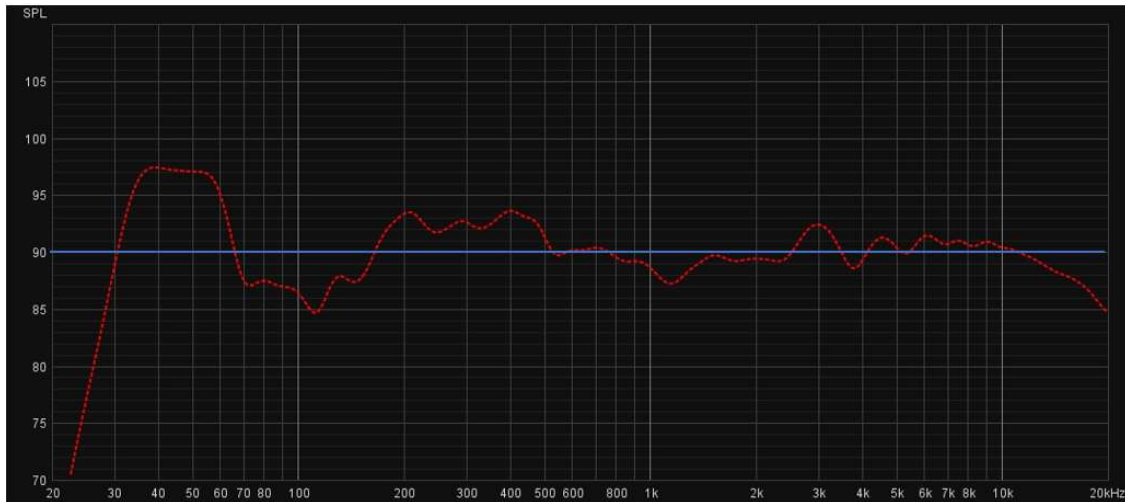


Figura 201 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ESMAE – Régia A”

A resposta em frequência apresentada na Figura 201, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 89,99 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,43 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 13,09 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,39 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 3,17 dB

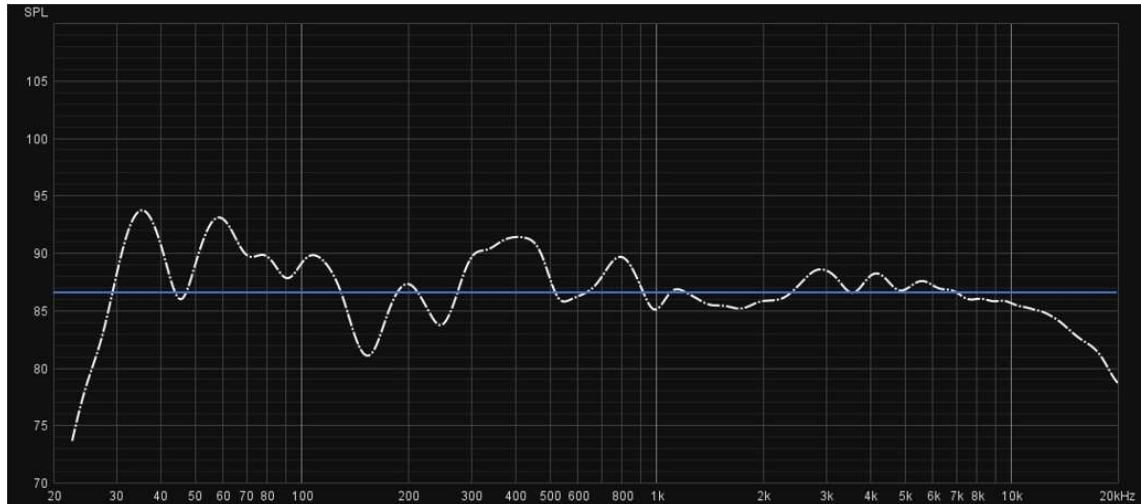


Figura 202 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

A resposta em frequência apresentada na Figura 202, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 86,76 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,47 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 7,96 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,76 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 4,11 dB

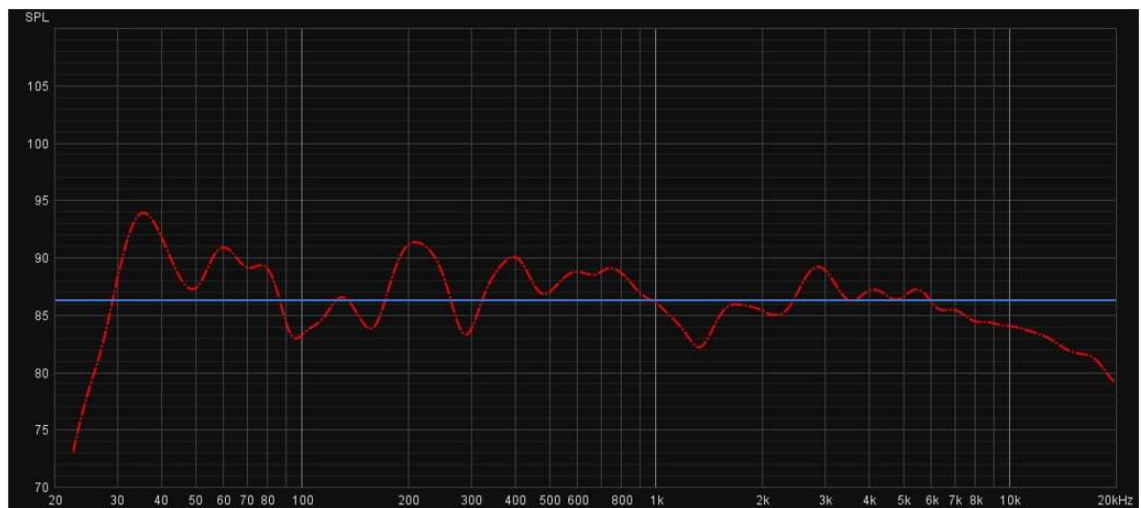


Figura 203 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ESMAE – Régia A”

A resposta em frequência apresentada na Figura 203, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 86,25 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,56 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 7,95 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz – 4000Hz): 1,48 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz – 4000Hz): 4,05 dB

## 12.5 ARDA – Studio C

### 12.5.1 Caracterização do Espaço

- Considerando as fronteiras visíveis da régie:
  - Comprimento: 3,23 m
  - Largura: 3,74 m
  - Altura: 2,72 m
  - Volume: 32,86 m<sup>3</sup>
  
- Considerando espaço da régie e sala contígua (paredes estruturais).
  - Comprimento: 3,78 m
  - Largura: 6,52 m
  - Altura: 3,61 m
  - Volume: 88,97 m<sup>3</sup>

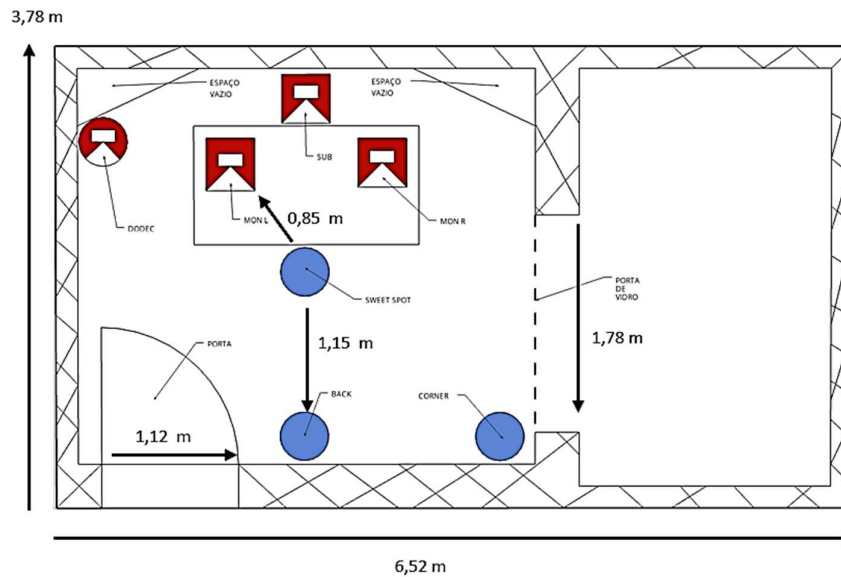


Figura 204 – Visão em planta da sala “ARDA – Studio C”

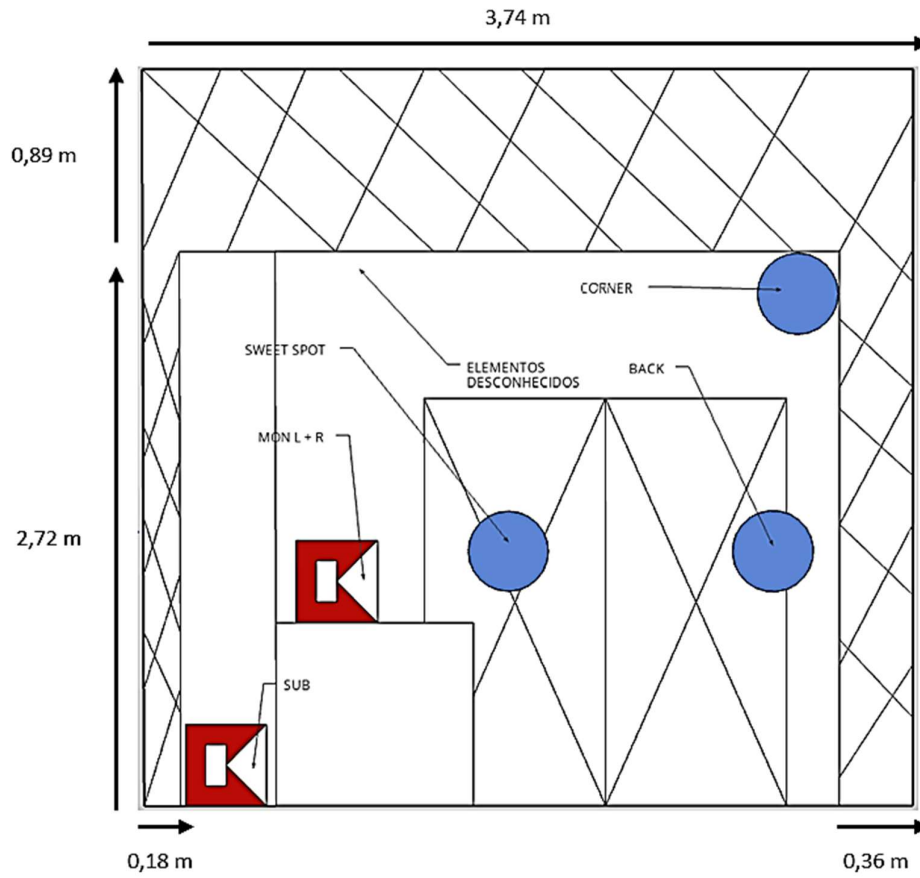


Figura 205 – Visão em corte da sala “ARDA – Studio C”

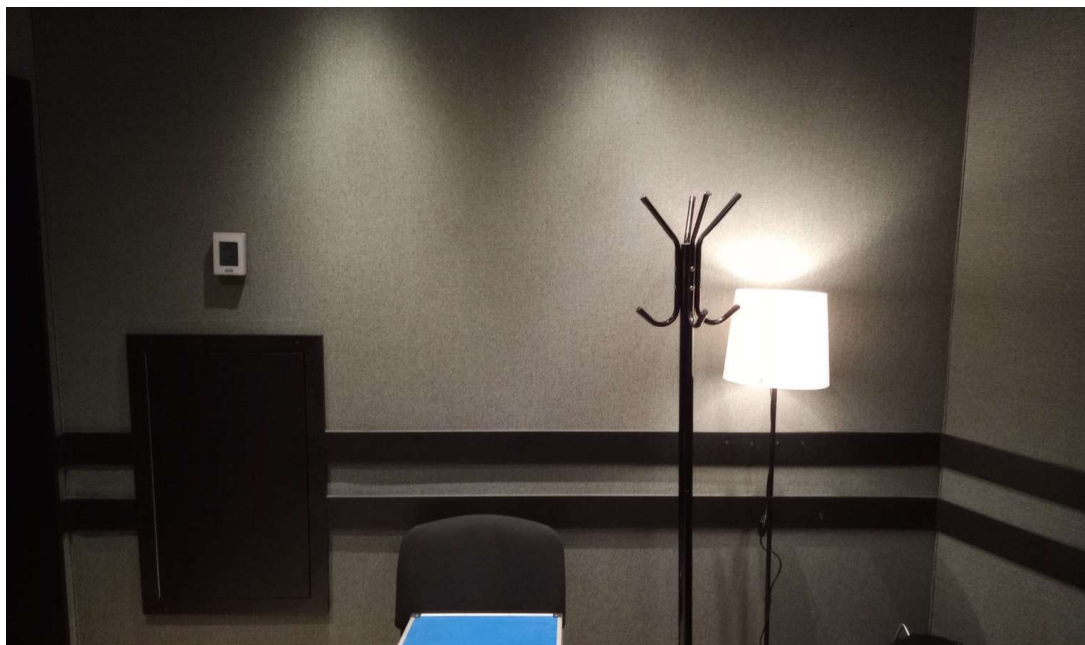


Figura 206 – Fotografia 1 da sala “ARDA – Studio C”

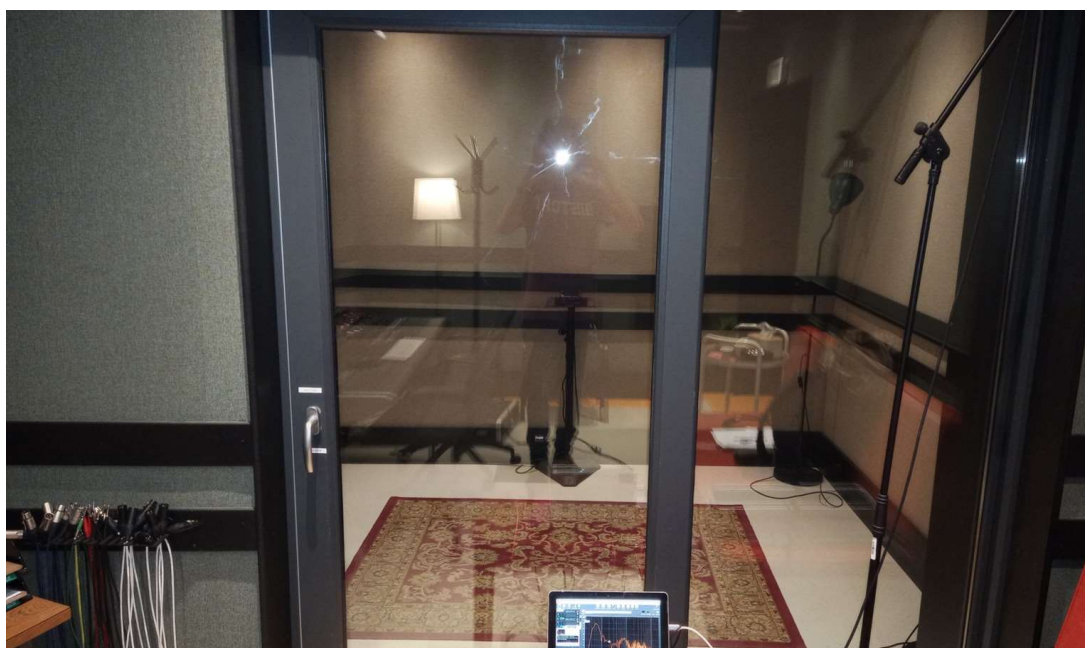


Figura 207 – Fotografia 2 da sala “ARDA – Studio C”



Figura 208 – Fotografia 3 da sala “ARDA – Studio C”

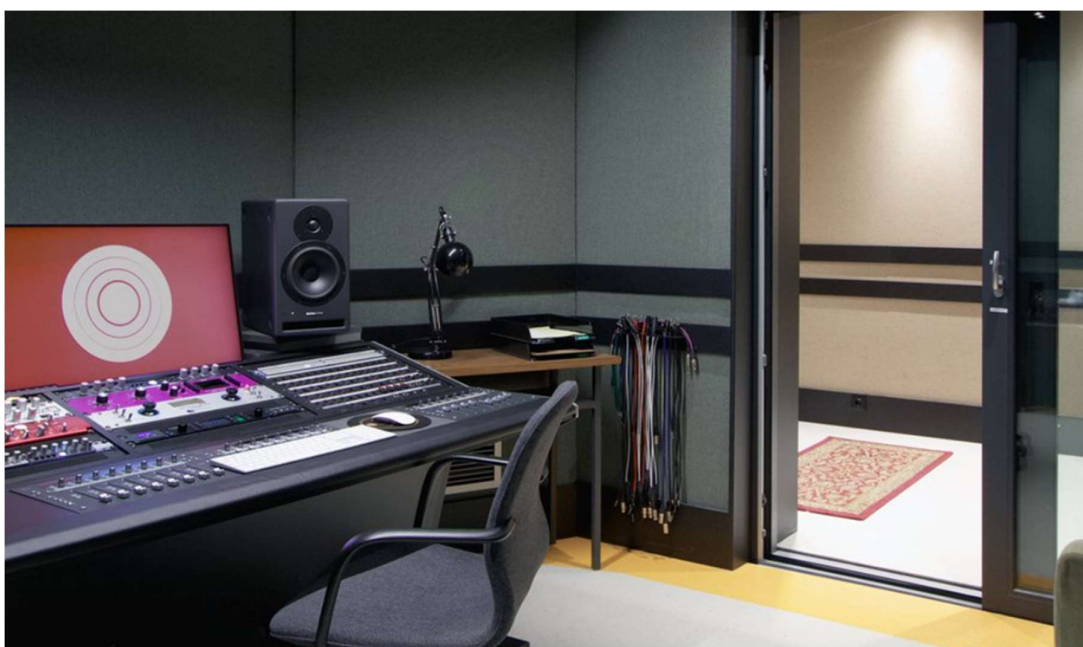


Figura 209 – Fotografia 4 da sala “ARDA – Studio C”

- Estrutura “caixa dentro de caixa”;
- As paredes visíveis não são as paredes estruturais;
- O tipo de materiais contidos entre o teto e paredes visíveis e o teto e paredes estruturais são desconhecidos;

- Estúdio situado numa zona urbana, próxima de uma estação de comboios;
- As paredes estruturais, pelas suas características garantem isolamento adequado no interior do edifício;
- 1 porta de correr, de viro, uma localizada à direita do sweet spot;
- Aparelho de ar condicionado;
- Paredes com cerca de 18 cm de espessura nas paredes e teto, servem a função de acondicionamento acústico;
- Porta ao fundo da sala, atrás do sweet spot (uma folha).
- Como é possível verificar no esquema da Figura 204, o ponto de medição BACK foi colocado apenas a 1,15 m atrás do ponto de medição SS, uma vez que as dimensões da sala não permitem o cumprimento dos 2 m propostos anteriormente.

### 12.5.2 Áreas e Volumes

Área inicial	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
24,65 m <sup>2</sup>	4,98 m <sup>2</sup>	18,2 %

Tabela 13 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ARDA – Studio C”

Volume inicial m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
72,15 m <sup>3</sup>	18,61m <sup>3</sup>	25,8%

Tabela 14 - Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ARDA – Studio C”

### 12.5.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “ARDA – Studio C”, estão disponíveis no Anexo 6 e Anexo 7. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: Dynaudio Core 7\*
- Sistema de colunas bi-amplificado de duas vias;
- Woofer de 7”
- Tweeter de 1”
- Bass Reflex (*front ported*)
- Resposta em frequência: 45 Hz – 27 kHz ( $\pm 3$  dB)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R

\*\*O Subwoofer é considerado uma extensão de MON L e MON R e como tal, parte integrante dos mesmos.

\*\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espaco acústico.

- Subwoofer Dynaudio 18S
- Sistema de coluna amplificado de duas vias;
- Woofers de 2x9,5”;
- Caixa fechada;
- Resposta em frequência: 16 Hz – 230 Hz ( $\pm 2,5$  dB)
  
- Distância entre SS e MON L/MON R: 0,85m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 45 Hz
- $Distância^2 = 0,7225$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 1,6$

### 12.5.4 Função de Resposta ao Impulso

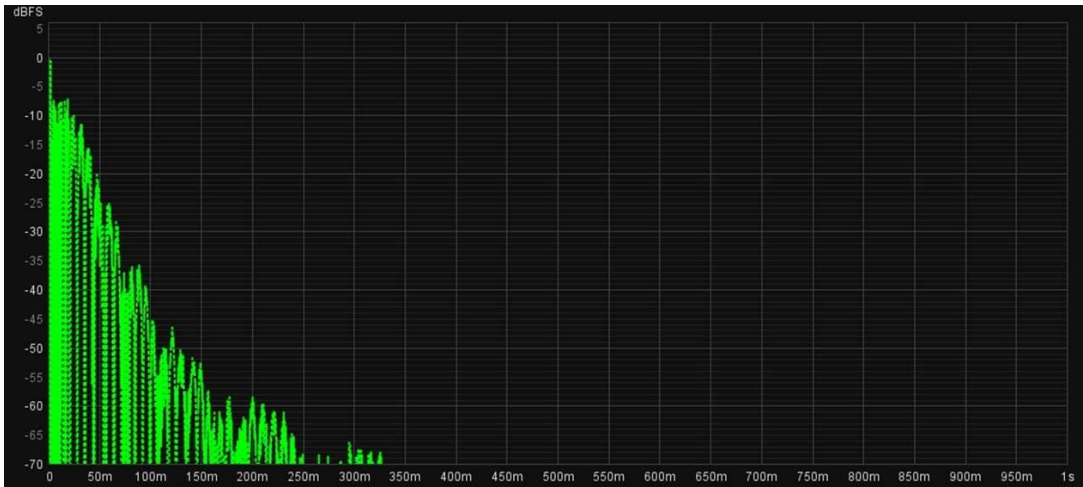


Figura 210 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ARDA – Studio C”

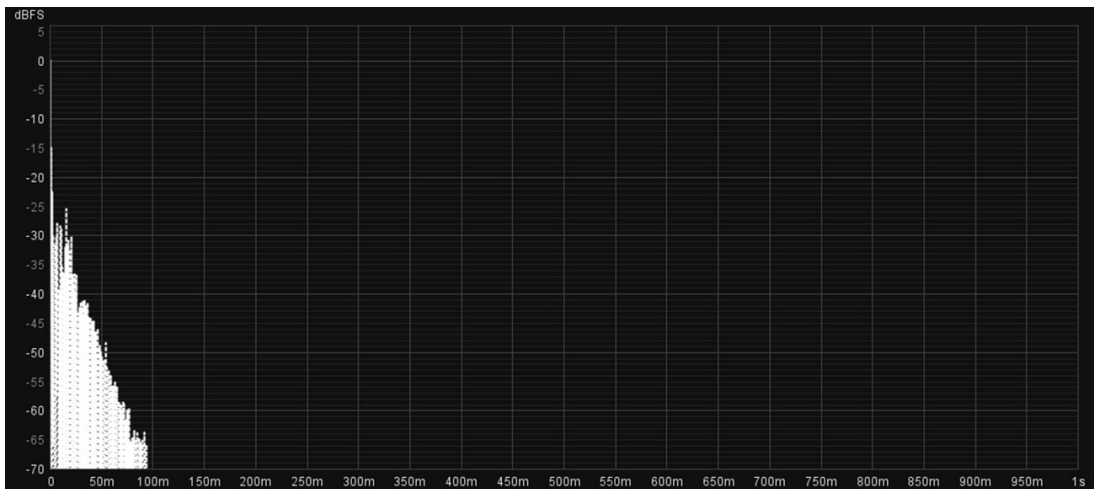


Figura 211- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Studio C”

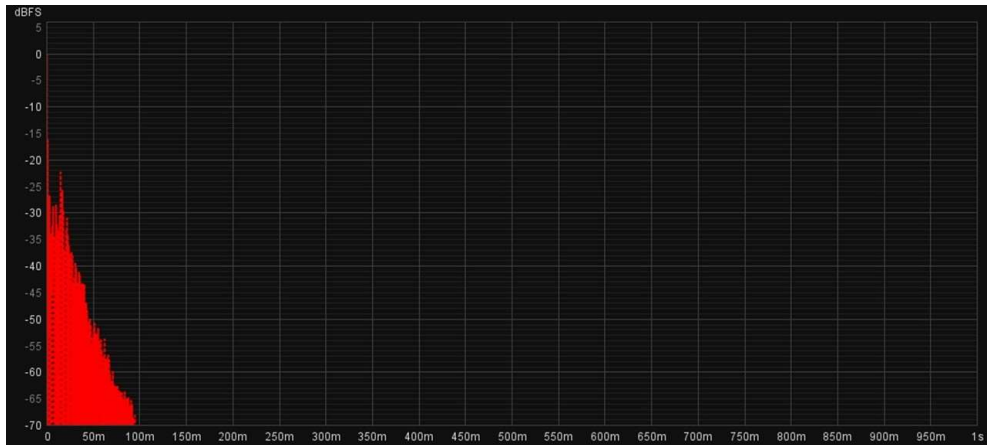


Figura 212 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Studio C”

A Figura 210, Figura 211 e Figura 212 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

### 12.5.5 Análise das Reflexões Especulares

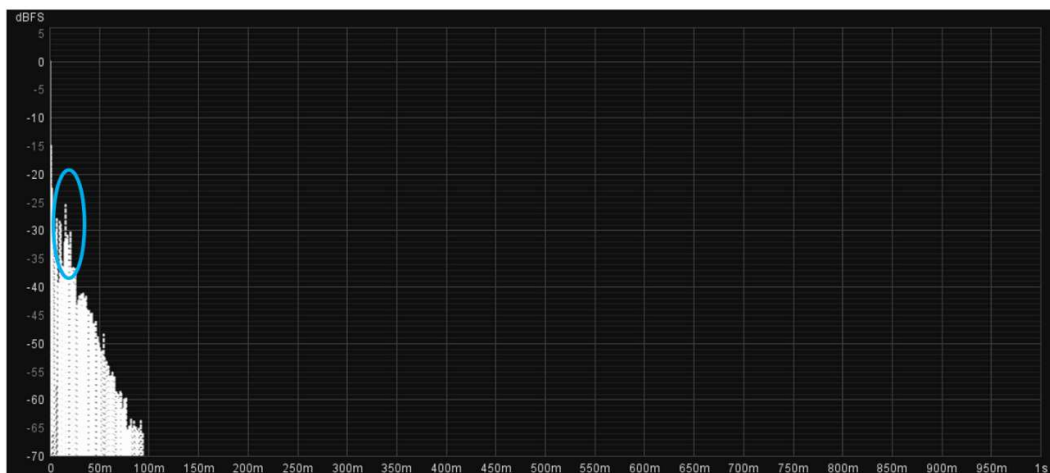


Figura 213 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C”

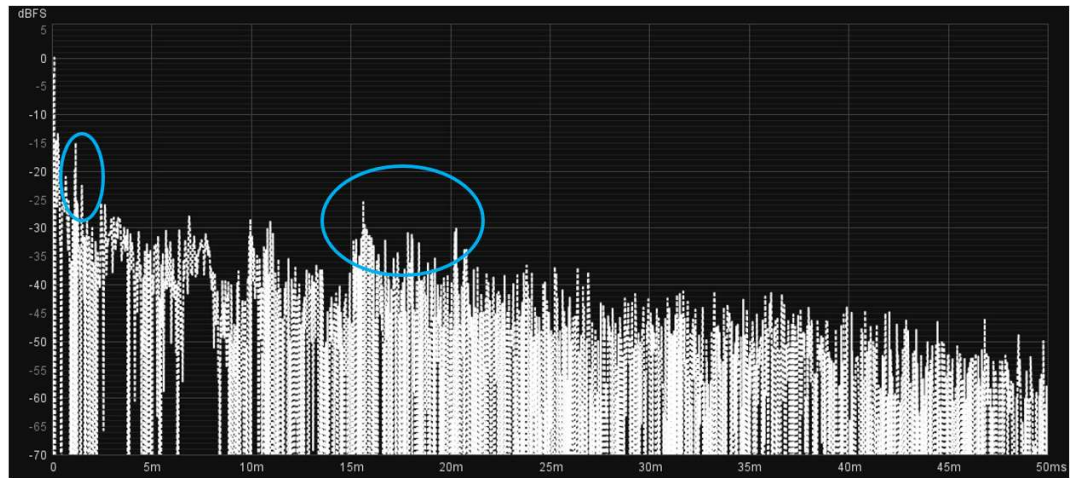


Figura 214 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C”

Analisando o par MON L – SS, é possível verificar, na Figura 213, a existência de algumas reflexões que se destacam da restante energia correspondente ao normal decaimento do campo reverberante da sala. Na Figura 214, pode-se verificar existe energia associada a reflexões especulares junto do impulso inicial, cerca de 2 ms após o mesmo e, por fim, algumas reflexões que destacam de entre 16 ms a 21 ms.

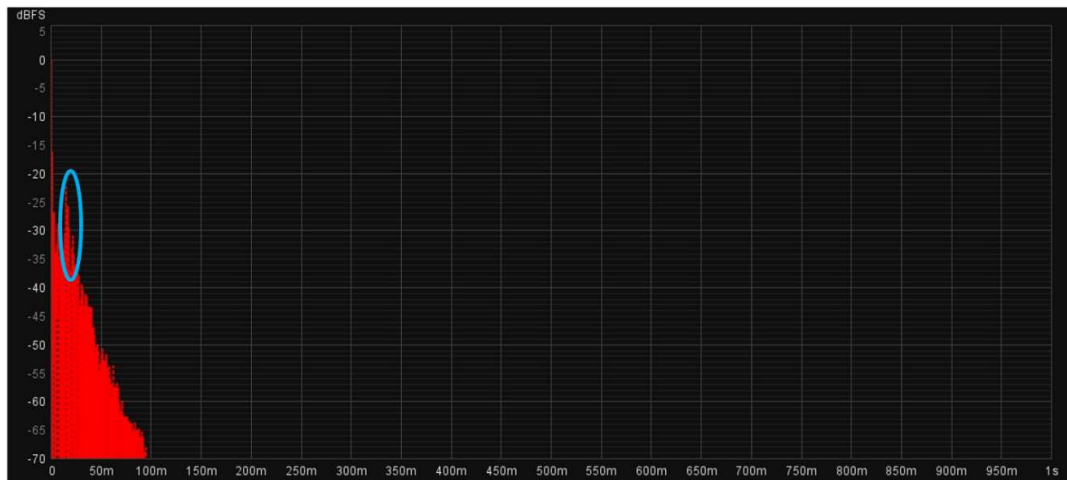


Figura 215 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C”

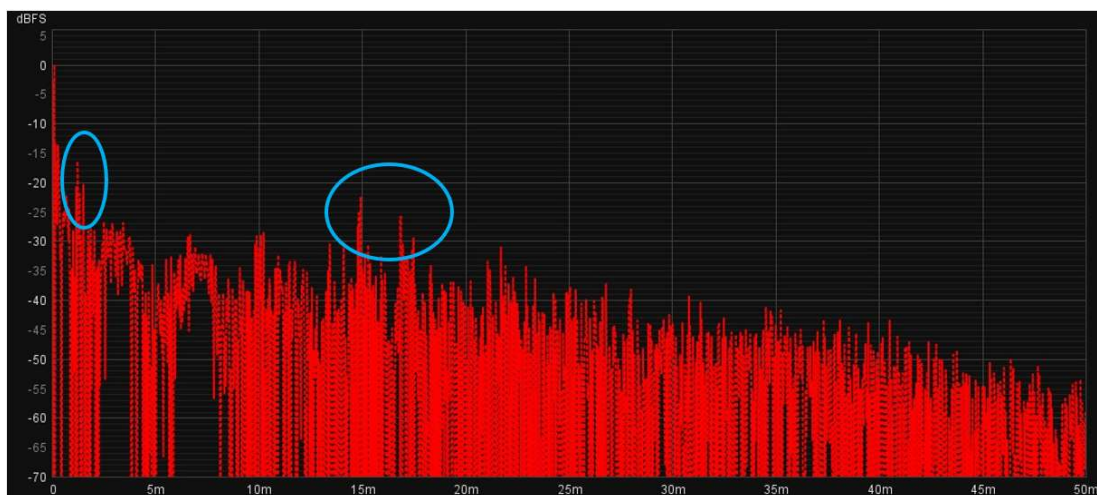


Figura 216 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C”

Para o par MON R – SS, existe energia de reflexões que pode ser identificada na Figura 215. Analisando o maior detalhe da Figura 216 é possível verificar um comportamento similar entre MON R – SS e MON L – SS. No par MON R – SS o conjunto de reflexões mais tardias chegam cerca de 1 ms mais cedo, e com mais alguma energia (cerca de 2dB a 3 dB). Pode-se justificar este comportamento com o facto de existir uma superfície de vidro, que ocupa grande parte da fronteira à direita do ponto de escuta (SS), encontrando-se esta superfície refletora mais perto de MON R, do que de MON L.

Convém referir que as diferenças detetadas no comportamento das reflexões especulares, devido à presença de uma superfície refletora à direita do ponto de escuta (SS), pode resultar em distorções na perceção do palco sonoro, criado por um sistema estereofónico. No entanto, estas diferenças são difíceis de quantificar, tratando-se de uma característica sobretudo qualitativa e difícil de qualificar no presente estudo.

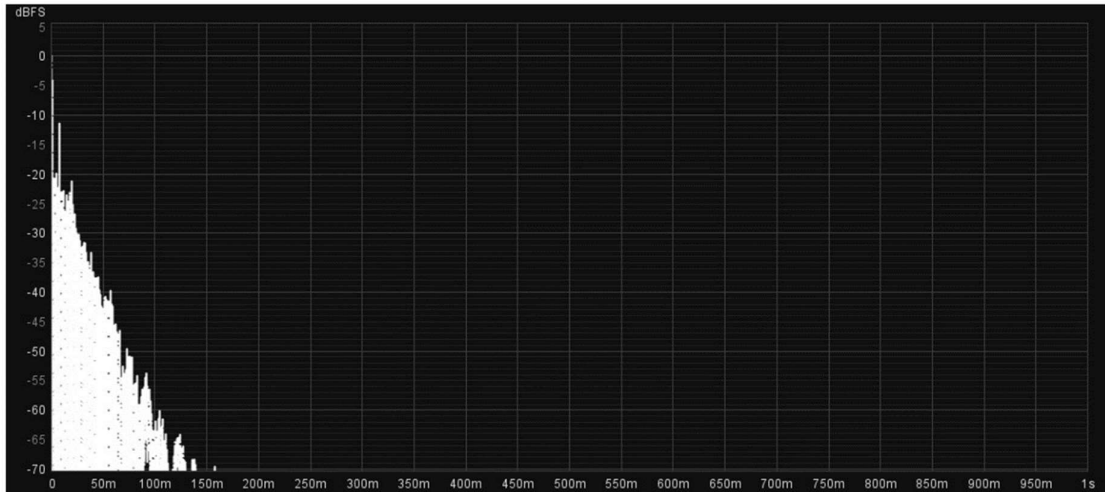


Figura 217 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ARDA – Studio C”

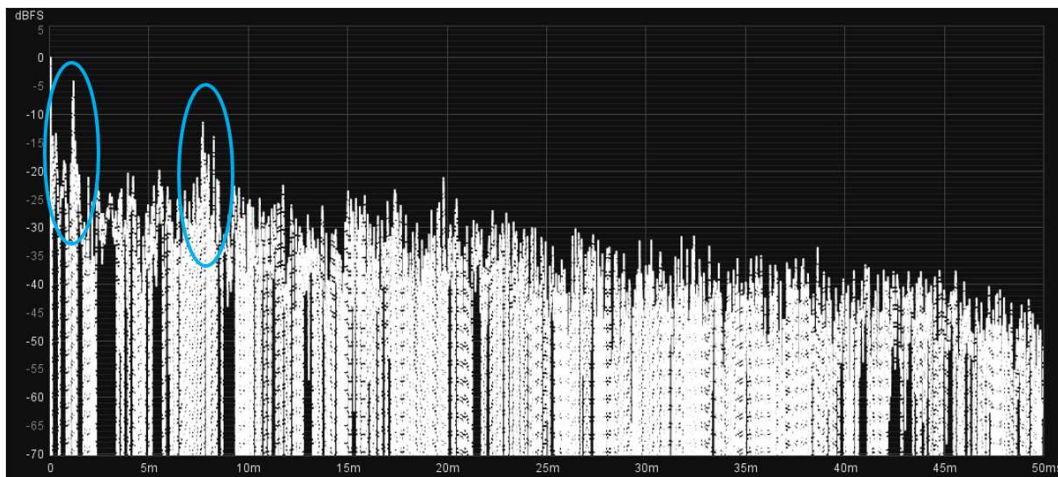


Figura 218 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento com algumas diferenças em relação ao ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 218, são tem uma energia mais próxima do impulso inicial, entre -5 dB e -14 dB, com o segundo conjunto de reflexões a encontrar-se mais próximo do grupo de reflexões análogo encontrado em MON L – SS e MON R – SS. Estas diferenças podem-se justificar com o aumento da distância à fonte sonora, mas a manutenção de uma distância similar à superfície refletora; com esta configuração, a diferença entre som direto e som refletido é menor (o que se traduz num aumento da energia refletida em relação ao som direto) e o

tempo de chegada do som direto ao ponto de medição BACK, aumenta, com a superfície refletora a manter a mesma distância (as reflexões ficam mais próximas do som direto.)

### 12.5.6 Initial Time Delay Gap (ITDG)

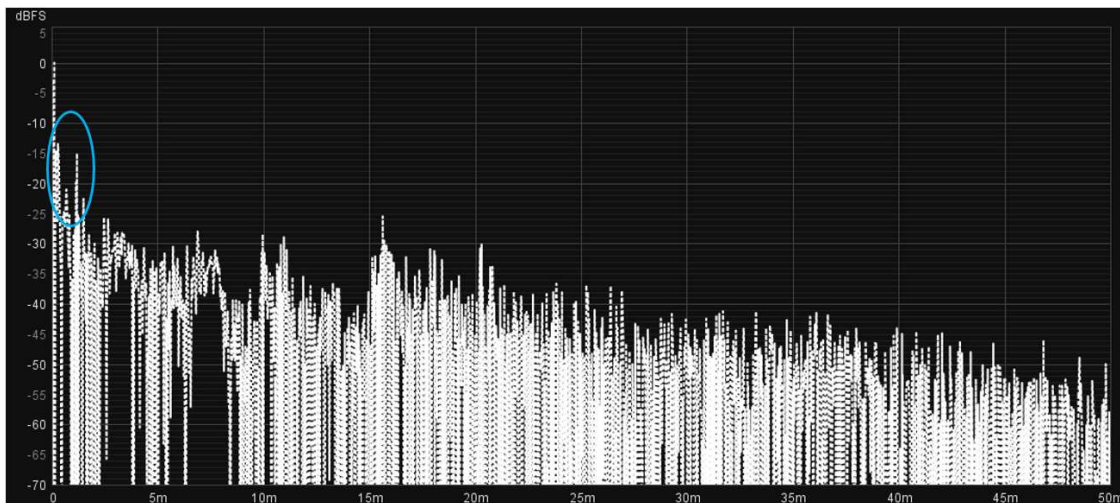


Figura 219 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Studio C”

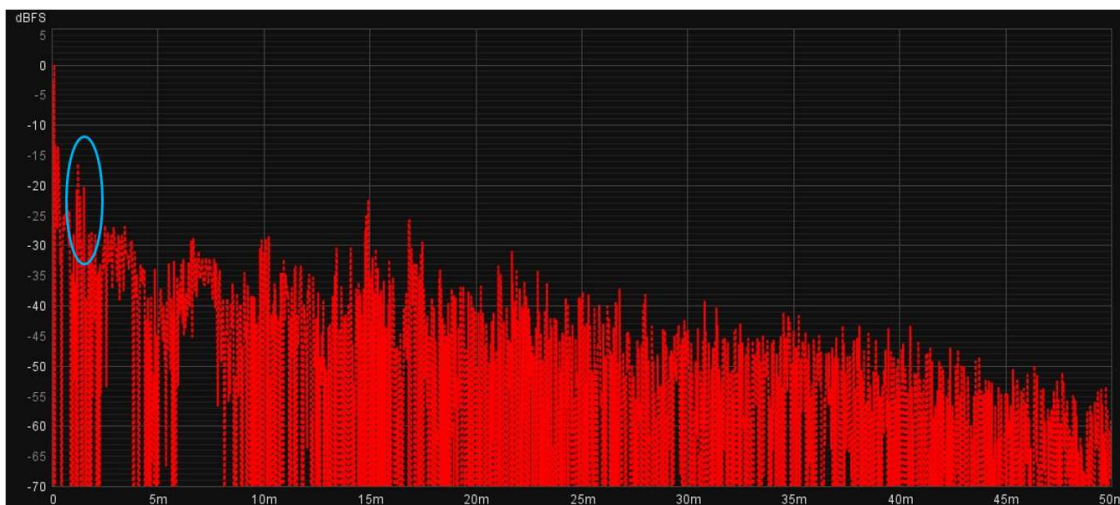


Figura 220 – Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ARDA – Studio C”

Para os pares MON L – SS (Figura 219) e MON R – SS (Figura 220) identifica-se energia refletida com cerca de -16 dB de energia em relação ao impulso inicial. Estas reflexões terão a sua origem, provavelmente, na secretária de trabalho.

### 12.5.7 Análise Modal

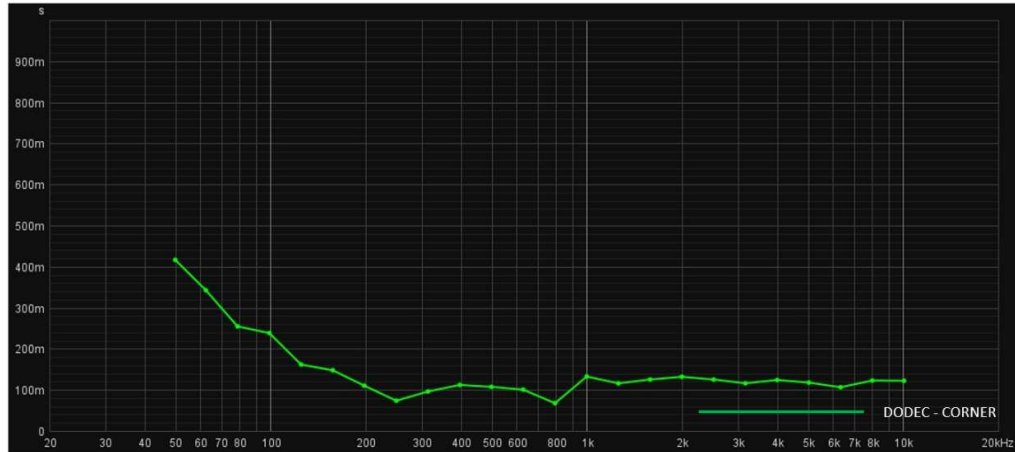


Figura 221 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ARDA – Studio C”

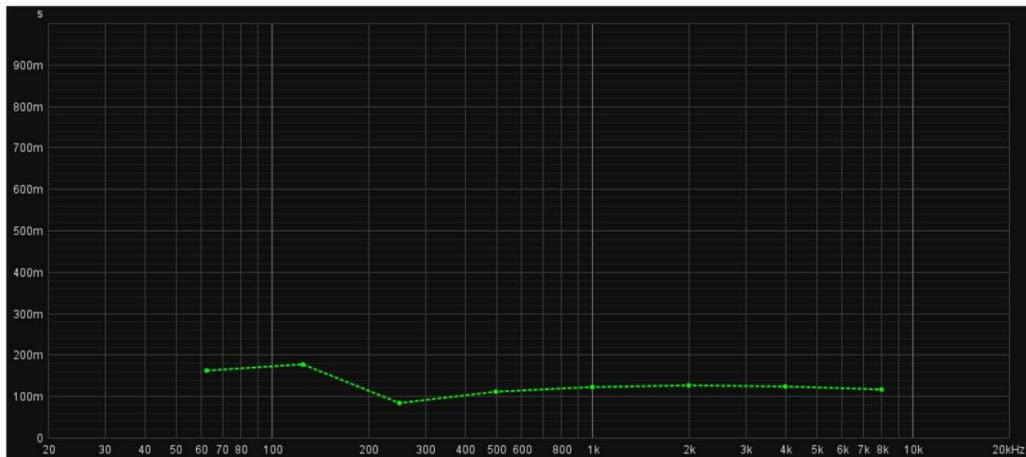


Figura 222 – Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ARDA – Studio C”

A Figura 221 e Figura 222 representam o T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o par DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas gamas de frequências abaixo de 125 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* bastante acima de 1, como será abordado no capítulo 14.5.9.

Frequência de Não-Suporte (considerando as dimensões estruturais):	23 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,128seg.) e as dimensões limitadas pelas paredes estruturais (consultar Apêndice 3))	76 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1140 Hz

Tabela 15 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “ARDA - Studio C”

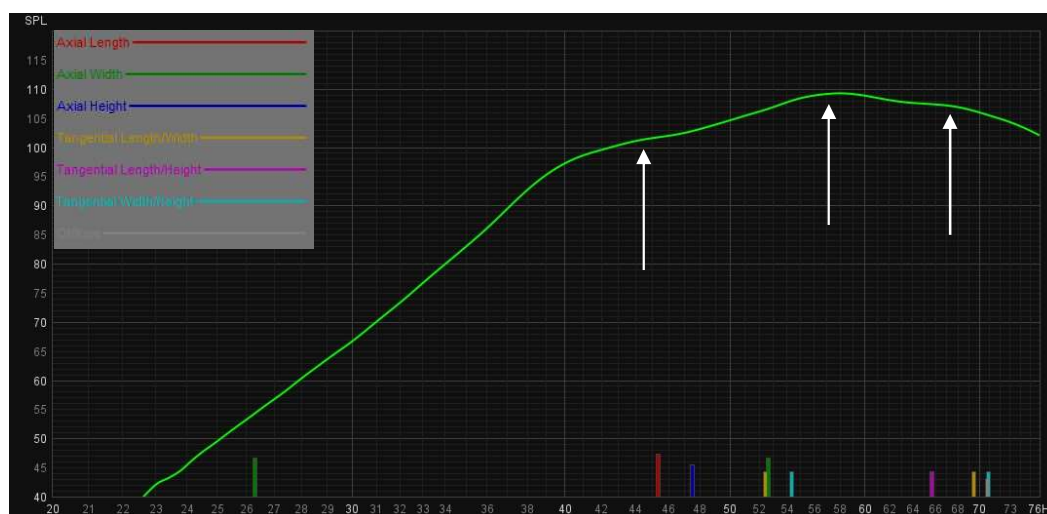


Figura 223 - - Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ARDA – Studio C”, considerando a dimensão de comprimento de 6,19 m

Na Figura 223, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 76 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. A análise do gráfico (Figura 223), não deixa evidentes pontos de pressão óbvios, no entanto estão assinalados, no gráfico, pequenas inflexões que podem ser resultado de atividade modal na sala. Esta análise coloca em evidência a eficácia das soluções de acondicionamento em reduzir a atividade modal da sala.

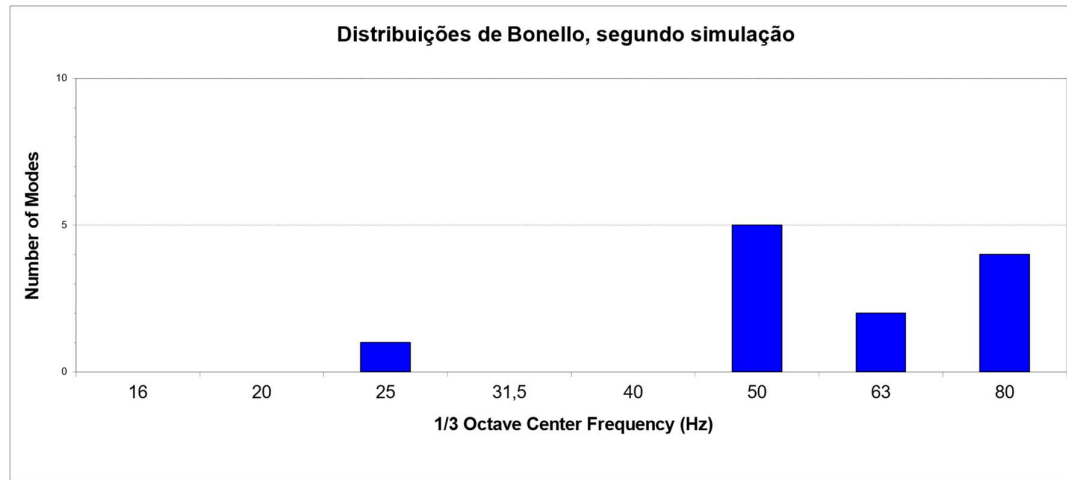


Figura 224 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ARDA – Studio C”, considerando as dimensões de 3,78 m x 6,52 m x 3,61 m

A Figura 224 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura (que não incluem a antecâmara). Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala não são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração”, uma vez que existem bandas de frequência com um número inferior de modos em relação à banda anterior. No entanto, não possível medir, em grande parte, atividade modal significativa na sala.

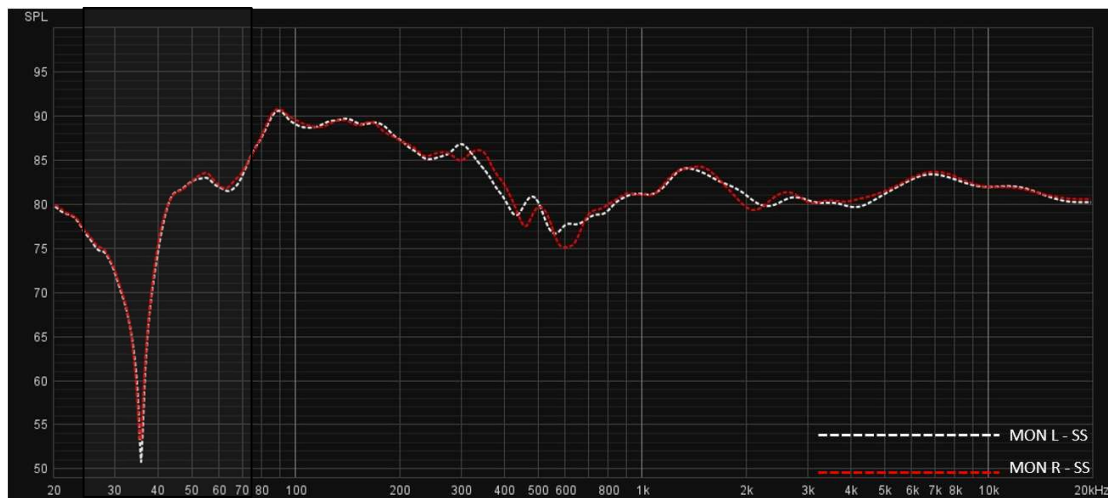


Figura 225 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ARDA – Studio C”

A Figura 225 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A

área destacada trata-se da região modal calculado para o espaço, sendo que os picos e vales são coincidentes. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

É relevante o facto de as superfícies fronteira lateral não serem similares (parede sólida oculta com material de acondicionamento acústico à esquerda e porta de vidro à direita), no entanto, a resposta em frequência das fontes MON R e MON L no ponto SS é muito próxima.

É possível também identificar um cancelamento de energia, centrado nos 36 Hz, cuja causa não foi possível identificar.

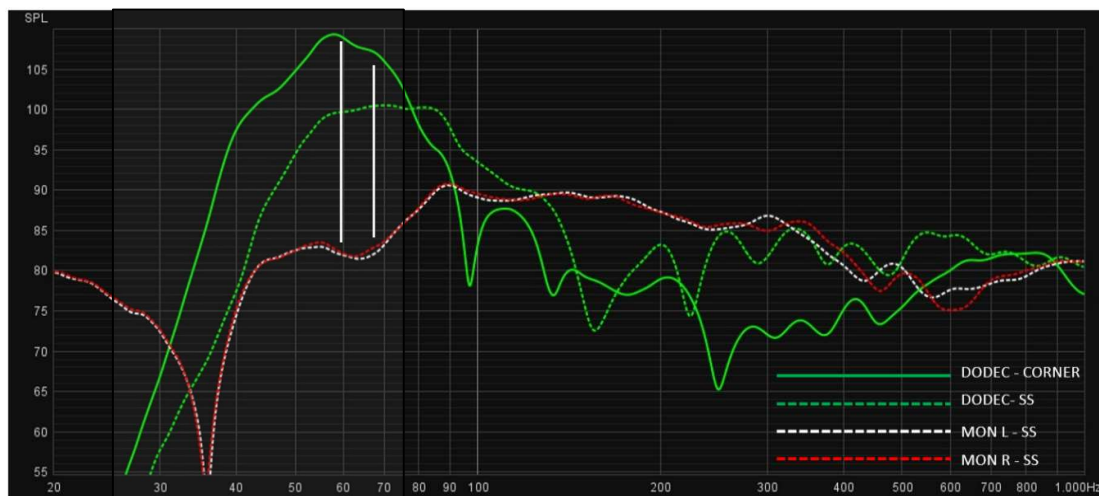


Figura 226 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ARDA – Studio C”

A atividade modal ténue identificada na Figura 223 coincide com um pequeno vale na resposta frequência de MON L e MON R no ponto SS, o que pode indicar que, apesar da influência da atividade modal estar maioritariamente eliminada, esta pode ainda influenciar a resposta da sala, ainda que de forma menos dramática.

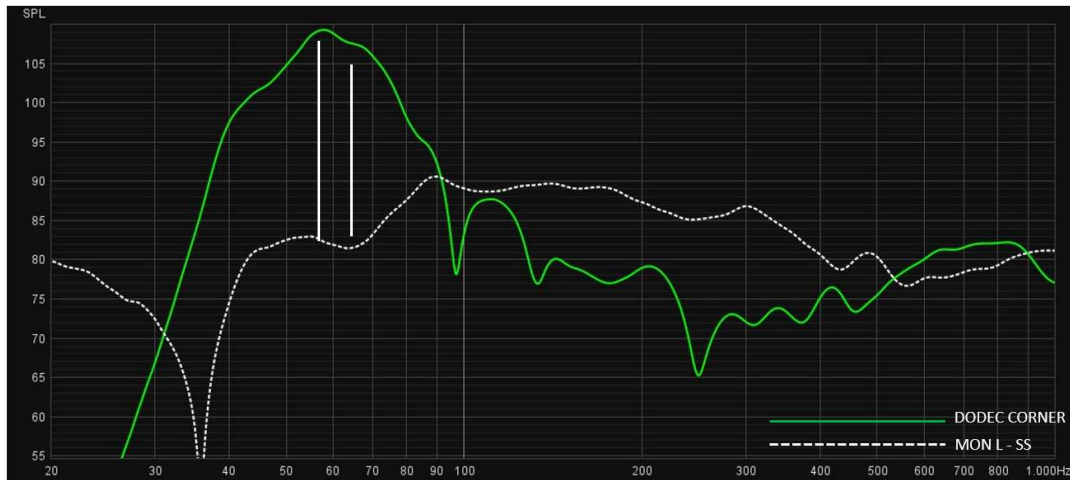


Figura 227 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ARDA – Studio C”

Mais uma vez, na Figura 227, é possível verificar que dois pontos de pressão medidos em DODEC – CORNER, coincidem com um pequeno pico e vale na resposta de MON L – SS.

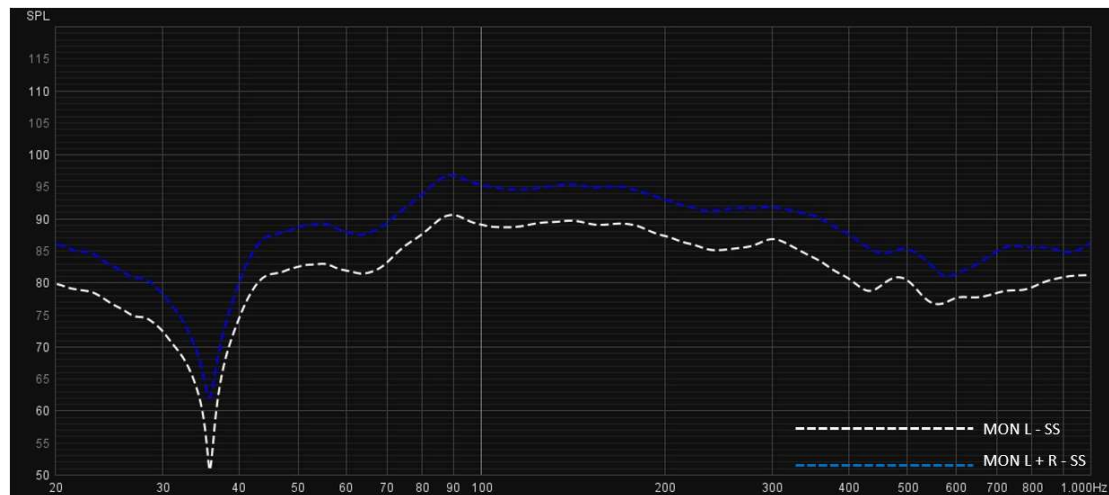


Figura 228 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Studio C”

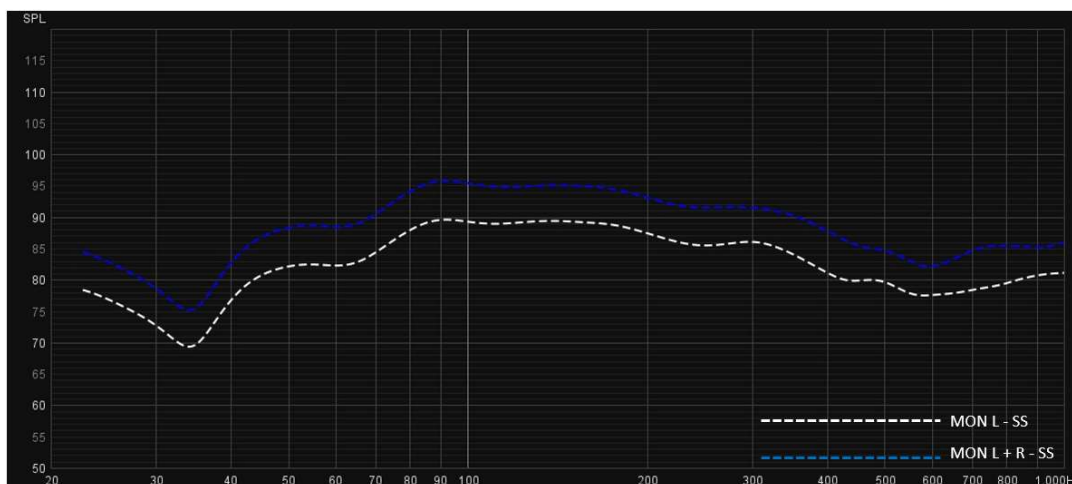


Figura 229 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Studio C”

A Figura 228 e Figura 229 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L +R – SS, com a Figura 43 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e diferenças muito ténues.

### 12.5.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 180$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 90$  Hz ( $1^o$  cancelamento).

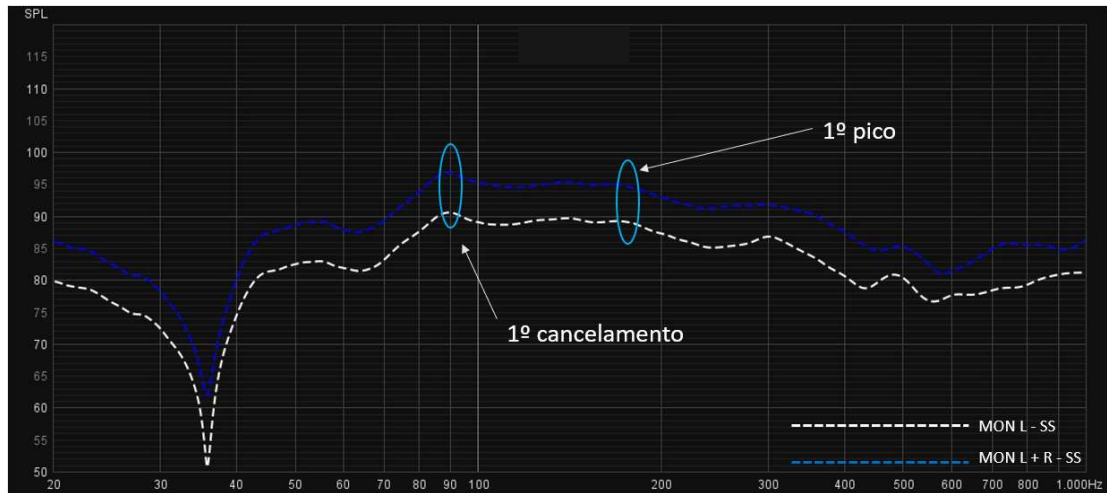


Figura 230 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ARDA – Studio C”

Na Figura 230 estão identificadas as frequências calculadas para os primeiros cancelamento e pico. No entanto, não foi encontrada coincidência entre os valores medidos e os valores calculados.

Não se identificam no gráfico regiões que possam estar associadas ao comportamento normalmente causada pela interação entre o som direto e o som refletido no ponto de escuta.

### 12.5.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

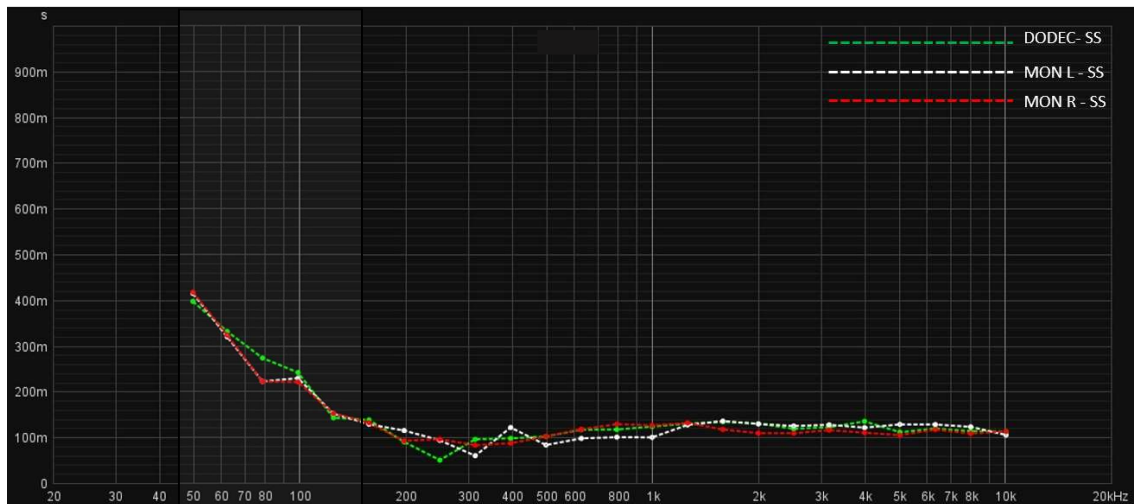


Figura 231 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "ARDA – Studio C"

A análise da Figura 231, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 125 Hz, na qual se verifica um aumento do tempo de reverberação.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

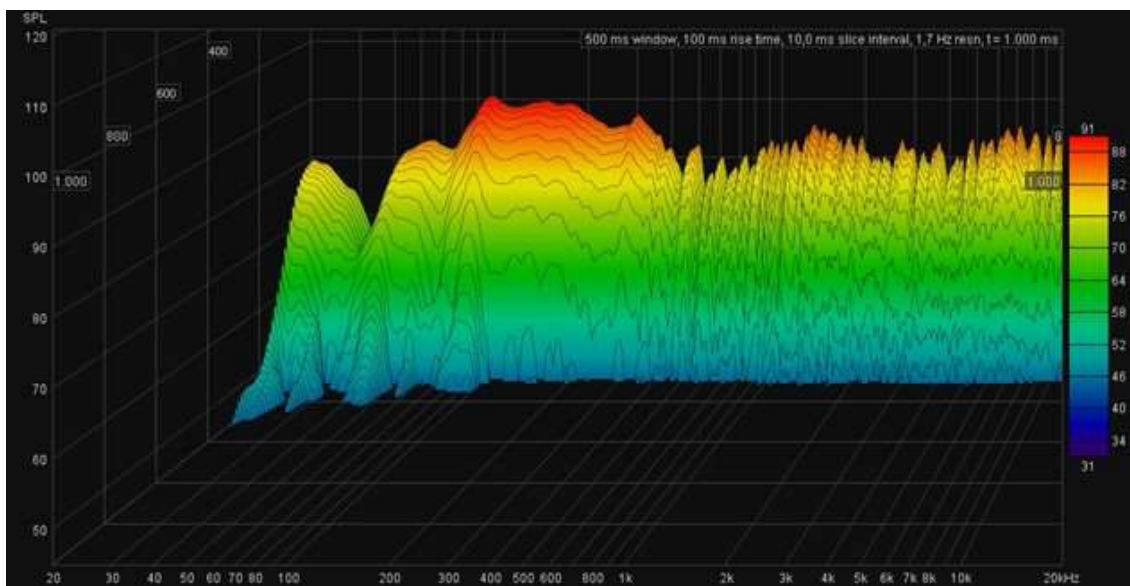


Figura 232 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “ARDA – Studio C”

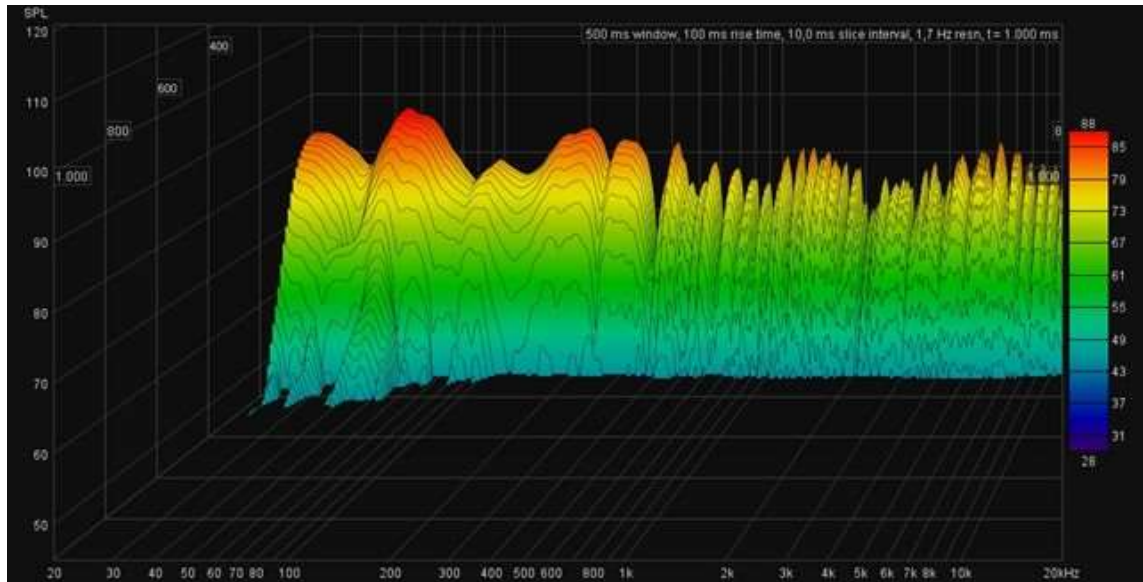


Figura 233 - Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

Comparando os decaimentos de MON L - SS (Figura 232), MON L - SS (Figura 233) e MON L - BACK (Figura 233), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar, no entanto identifica-se mais energia abaixo da frequência da 100 Hz no ponto de medição BACK, em comparação com SS- Este comportamento poderá ser causado pela proximidade do ponto de medição BACK a uma das fronteiras da sala (parede traseira).

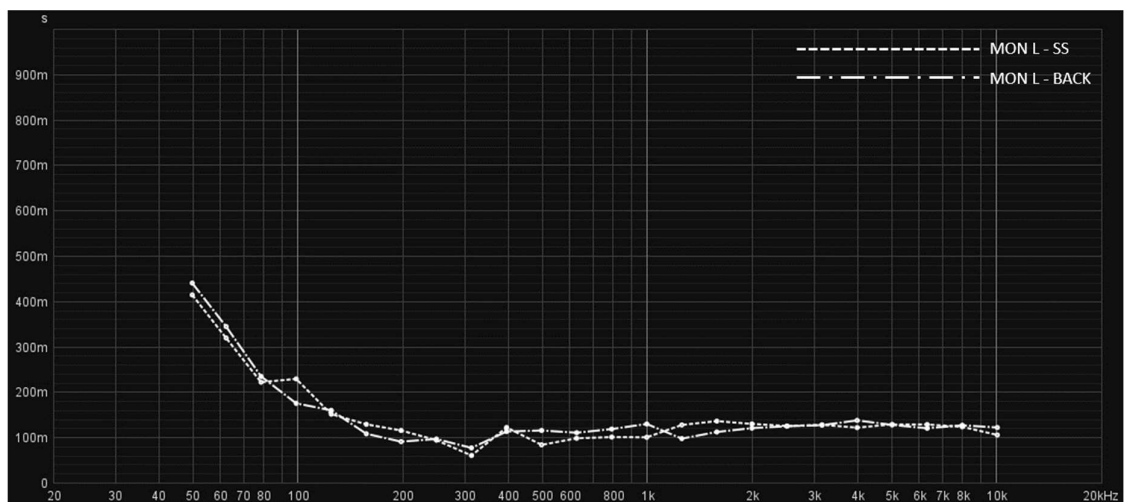


Figura 234 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

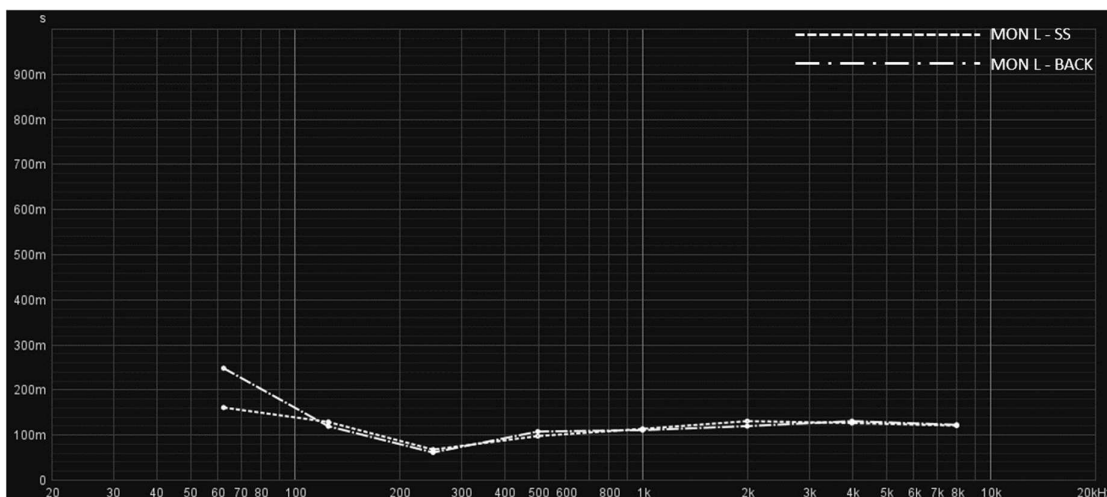


Figura 235 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

A Figura 234 e a Figura 235 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro.

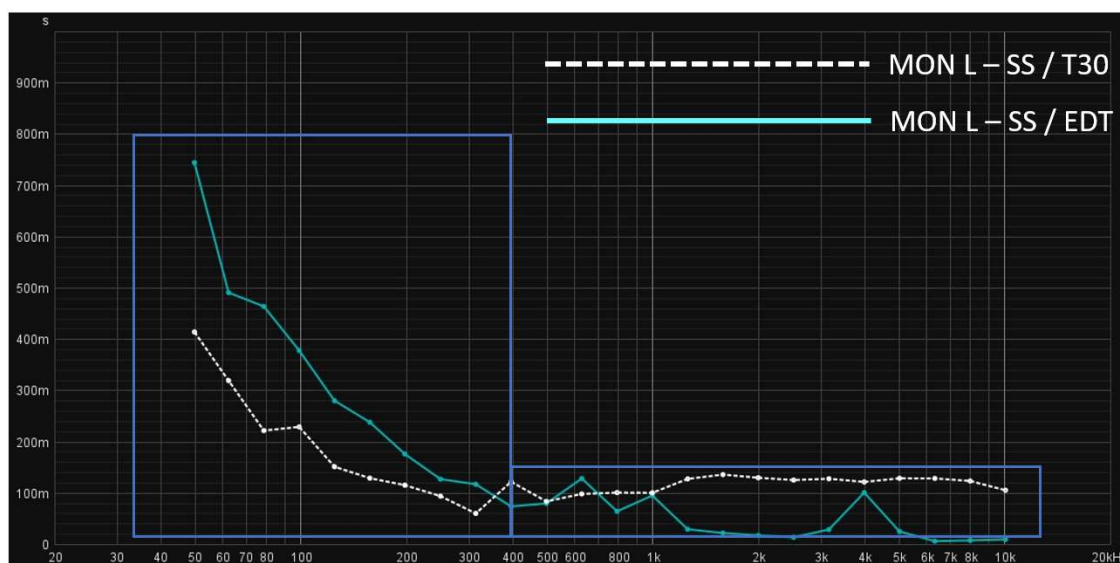


Figura 236 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

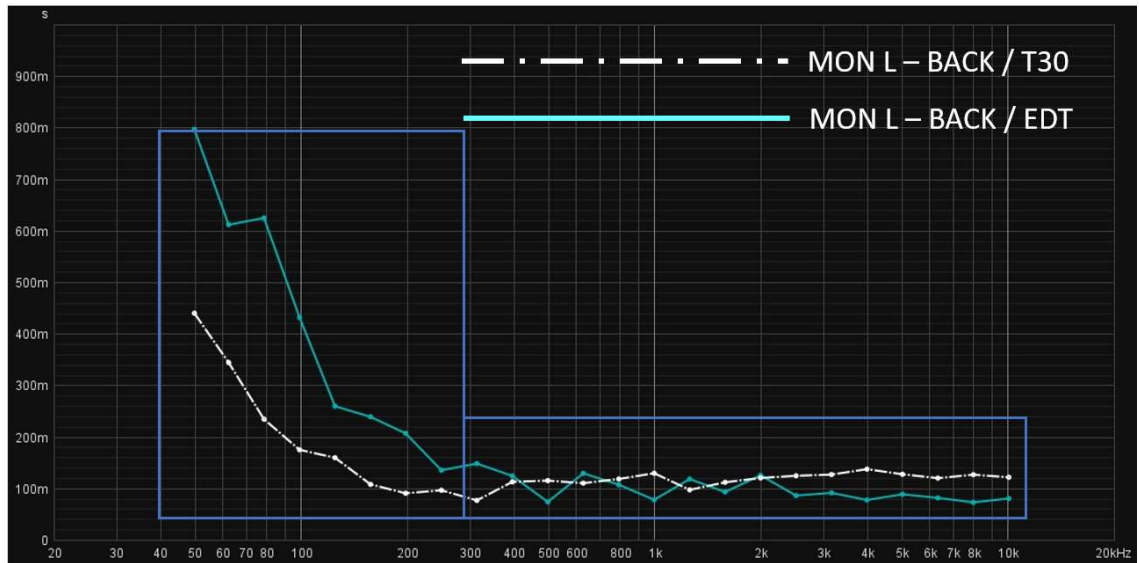


Figura 237 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ARDA – Studio C”

A análise da Figura 236 (MON L – SS) permite identificar duas regiões distintas, no que diz respeito ao comportamento do T30 comparado com EDT. Na região abaixo dos 400 Hz o EDT é superior ao T30, o que indica que o decaimento desta banda de frequencial (grave, médio-grave) é mais lento nos instantes iniciais, acelerando posteriormente. A gama de frequências acima de 400 Hz apresenta valores para EDT muito próximos a T30, o que indica um decaimento linear, ou valores de EDT inferiores a T30, o que indica que existe mais energia na cauda do decaimento do que nos seus instantes iniciais.

O par MON L – BACK (Figura 237) apresenta um comportamento muito similar a MON L – SS, com os valores de EDT tendencialmente mais próximos de T30 na região aguda. Pode-se concluir, pela análise da Figura 235, Figura 236 e Figura 237 que o comportamento do decaimento é muito próximo para as posições SS e BACK, ou seja, as experiências auditivas são similares, no que toca à sensação de reverberação.

### 12.5.10 *Bass Ratio*

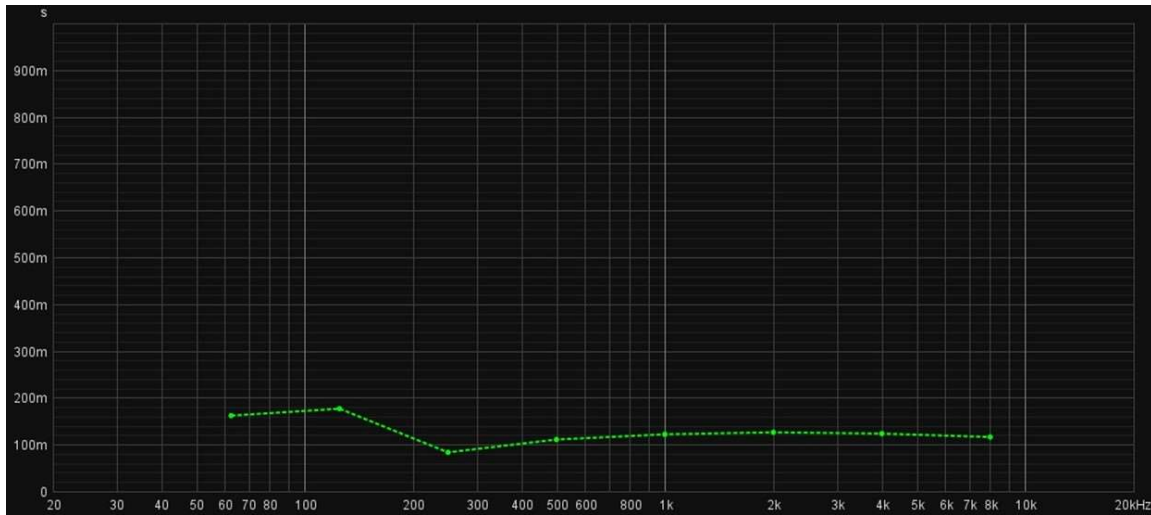


Figura 238 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ARDA – Studio C”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC - SS = 1,17
- *Bass Ratio* – MON L - BACK = 1,29

A consulta da Figura 238 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação das frequências graves (abaixo dos 250 Hz), quando comparado com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,122 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0,177 seg.
- 63 Hz – RT60 = 0,199 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 45% RT (comparado com 1000 Hz);

- 63 Hz + 63% RT (comparado com 1000 Hz).

Considerando os valores de referência de um aumento de 20% do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz e 80% na banda de oitava de 63Hz, em relação à banda de 1000 Hz, verifica-se que apenas a banda de 125 Hz está acima dos valores propostos. Segundo a referência apresentada, o tempo de reverberação na banda de 63 Hz está adequada, considerando os valores de 1000 Hz.

### 12.5.11 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

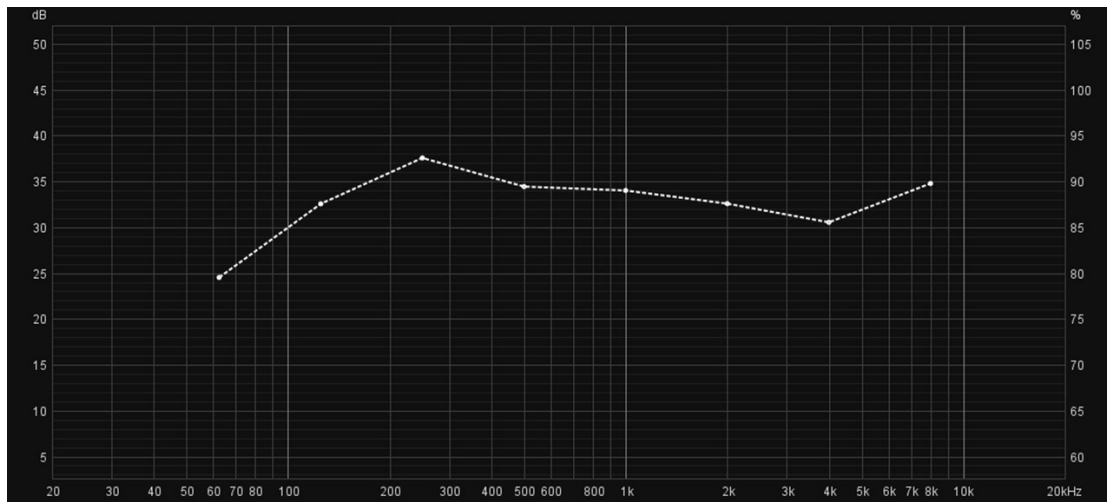


Figura 239 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ARDA – Studio C”

Os valores de C50, apresentados na Figura 239, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 32,97 dB, para o par MON L – SS. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro.

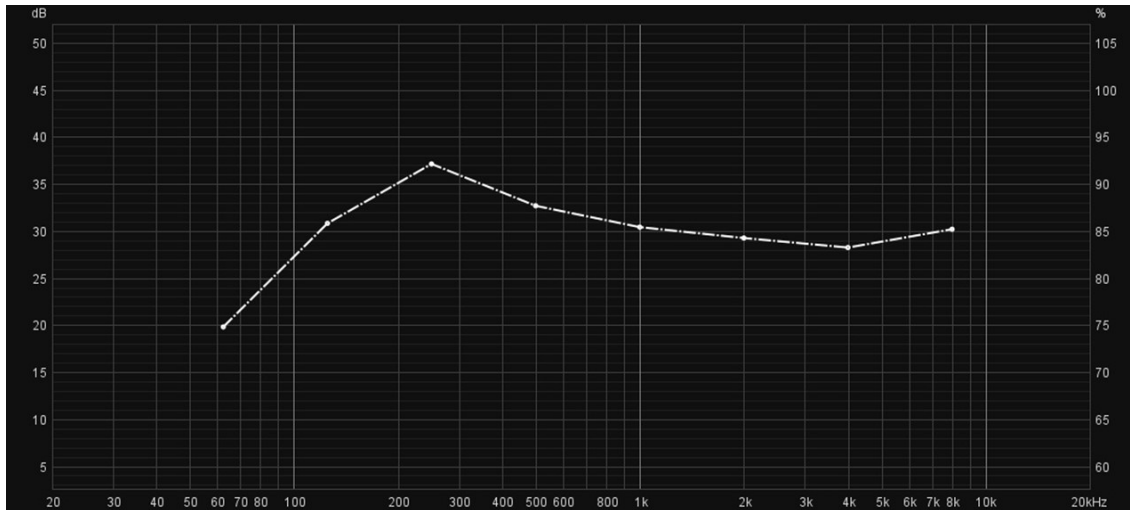


Figura 240 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ARDA – Studio C”

Os valores de C50, apresentados na Figura 240, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 30,18 dB, para o par MON L – SS. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro. A análise dos valores de C50 nos pares MON L – SS e MON L – BACK apresenta resultados similares, na sua distribuição por bandas de frequência com a posição BACK apresentar valores ligeiramente mais baixos.

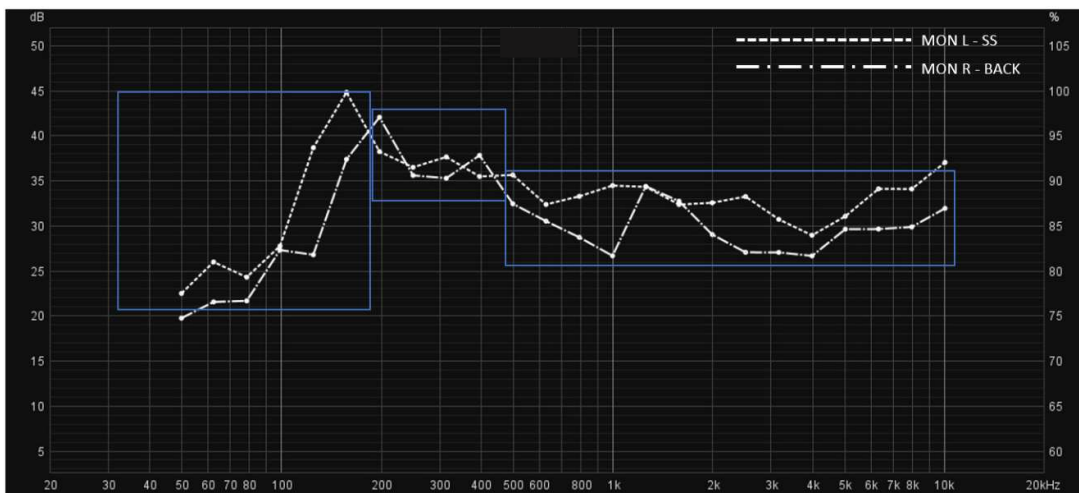


Figura 241 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

A Figura 241 permite comparar os valores de C50 em bandas de 1/3 de oitava. Conclui-se que os resultados são similares, com a região entre os 200 Hz e 500 Hz a apresentar o maior

grau de similaridade. Na região mais grave (abaixo dos 200 Hz) e na região aguda (acima dos 500 Hz), os valores de C50 do par MON L – BACK, tendem a ser mais baixos que os apresentados por MON L – SS. Todo o espectro apresenta valores de C50 superiores a 10 dB.

### 12.5.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

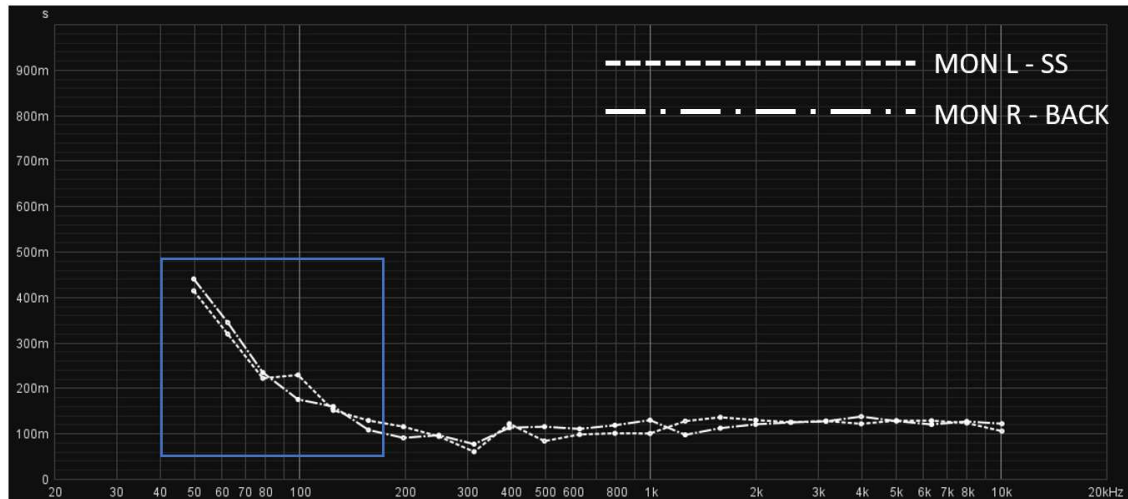


Figura 242 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

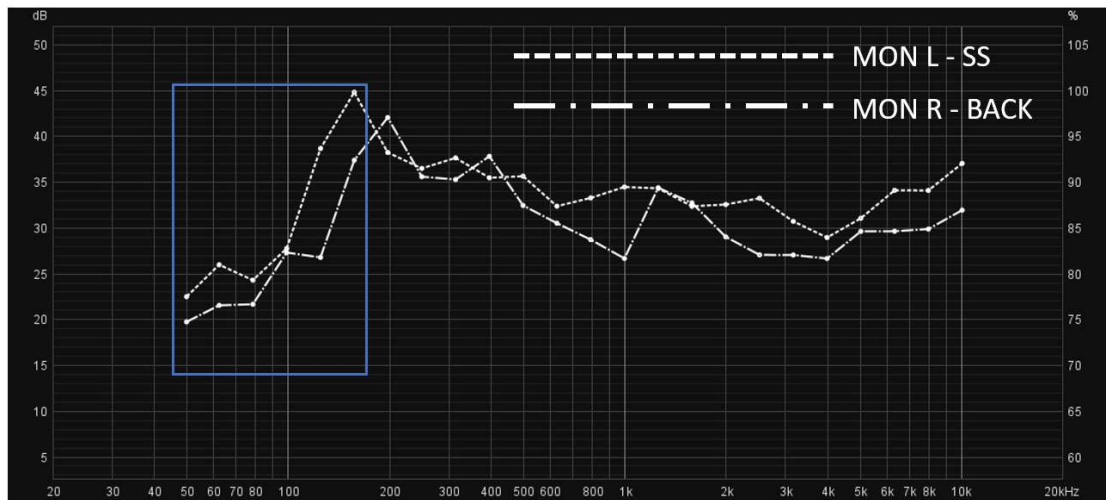


Figura 243 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

Consultando a Figura 243 e a Figura 243, é possível verificar que região abaixo da banda de 1/3 de oitava de 160 Hz o aumento do T30, tem uma relação direta com a diminuição do

parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave.

### 12.5.13 Resposta em Frequência

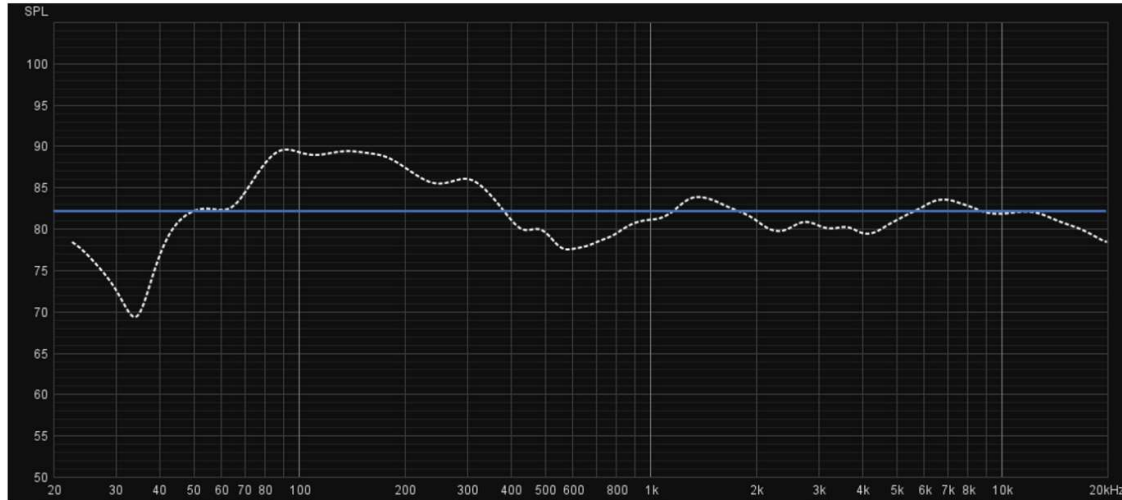


Figura 244 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ARDA – Studio C”

A resposta em frequência apresentada na Figura 245, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 81,97 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,03 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 10,77 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,89 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,48 dB

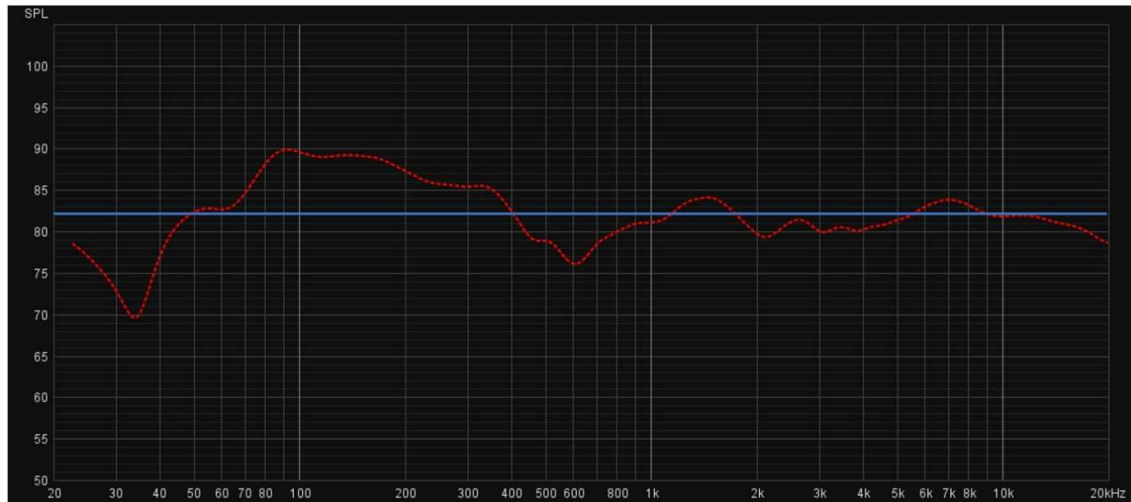


Figura 245 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ARDA – Studio C”

A resposta em frequência apresentada na Figura 246, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 82,02 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,06 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 10,62 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,10 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 5,07 dB

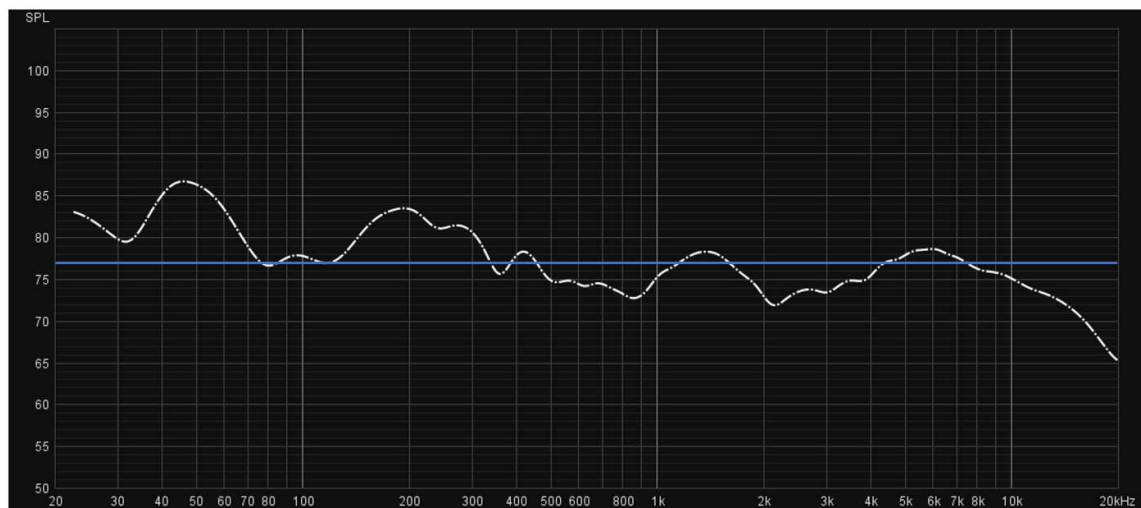


Figura 246 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

A resposta em frequência apresentada na Figura 247, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 77,15 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,38 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 11,85 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,16 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 5,22 dB

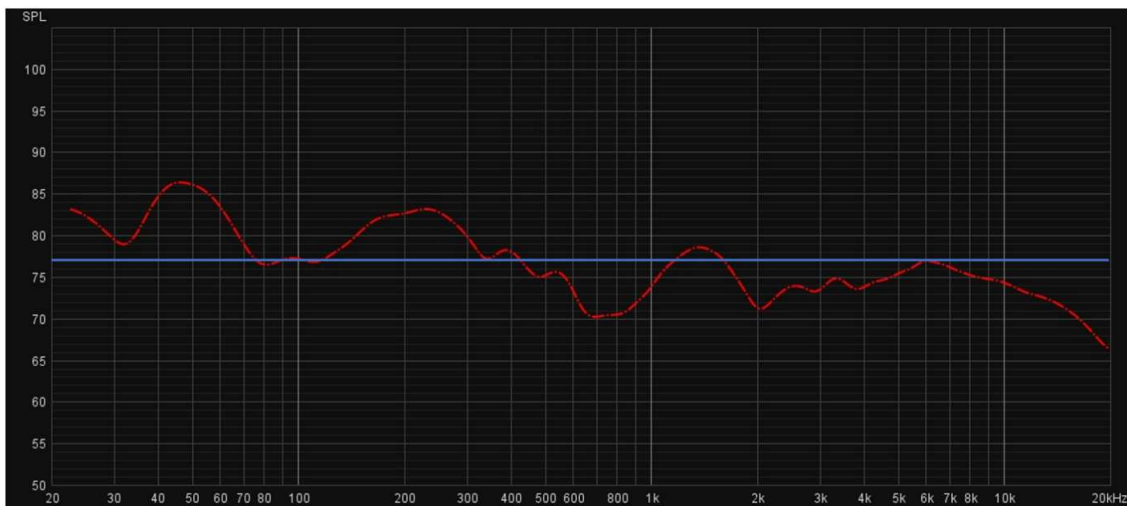


Figura 247 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ARDA – Studio C”

A resposta em frequência apresentada na Figura 248, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 76,66 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,66 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 10,16 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,82 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 7,50 dB

## 12.6 ARDA – Mastering Studio

### 12.6.1 Caracterização do Espaço

- Considerando as paredes estruturais:
- Comprimento: 6,30 m
- Largura: 5,22 m
- Altura: 3,61 m
- Volume: 118,72 m<sup>3</sup>
  
- Considerando fronteiras visíveis:
- Comprimento: 5,12 m
- Largura: 4,80 m
- Altura: 2,72 m
- Volume: 66,84 m<sup>3</sup>

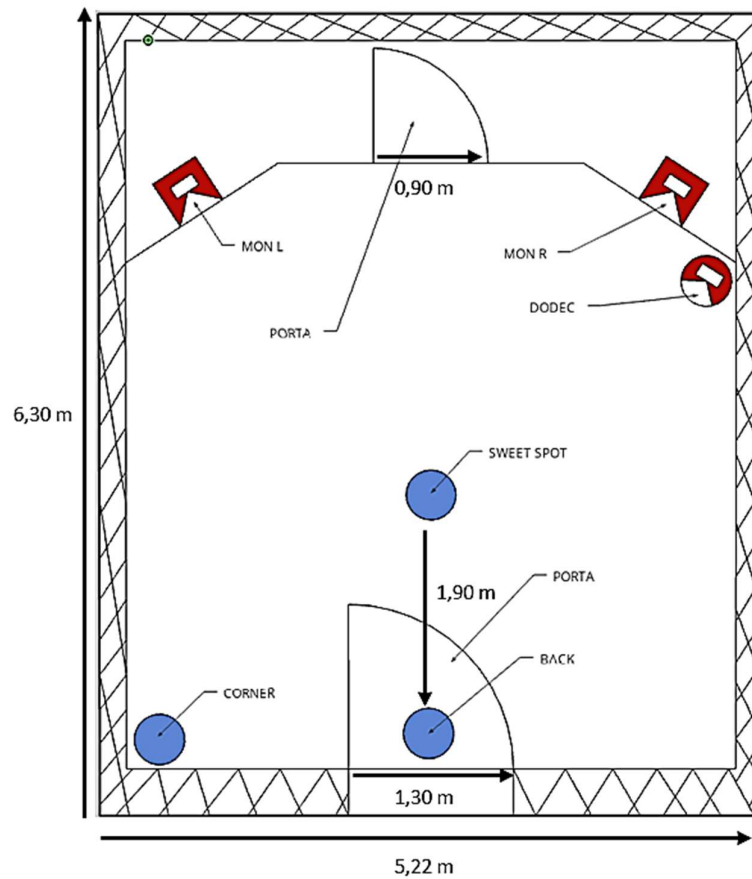


Figura 248 – Visão em planta da sala "ARDA – Mastering Studio"

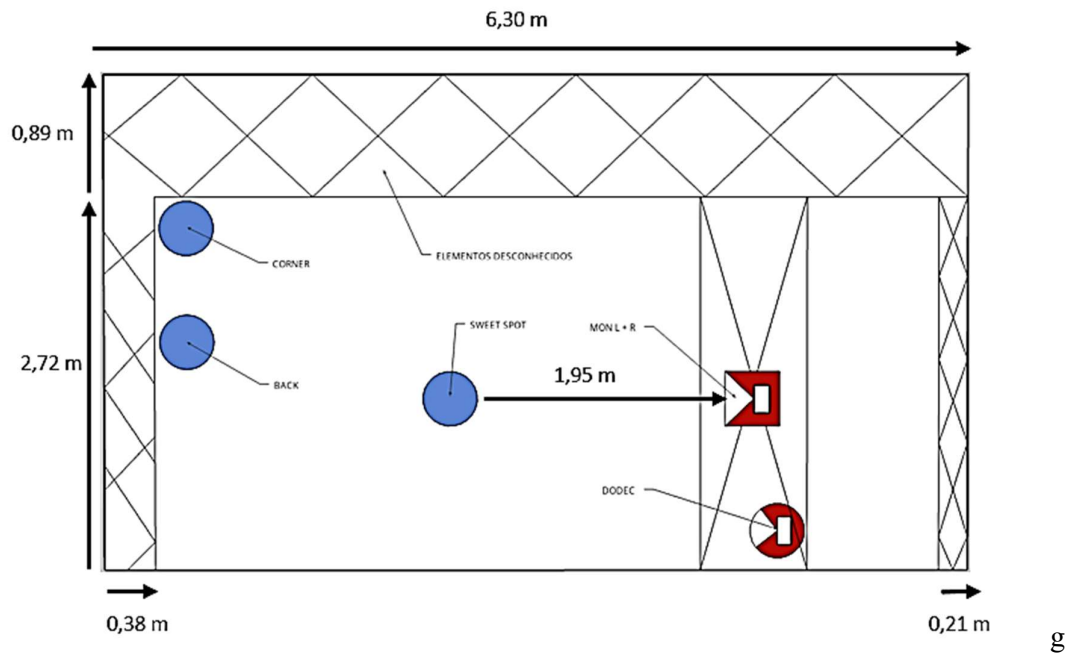


Figura 249 - Visão em corte da sala "ARDA – Mastering Studio"

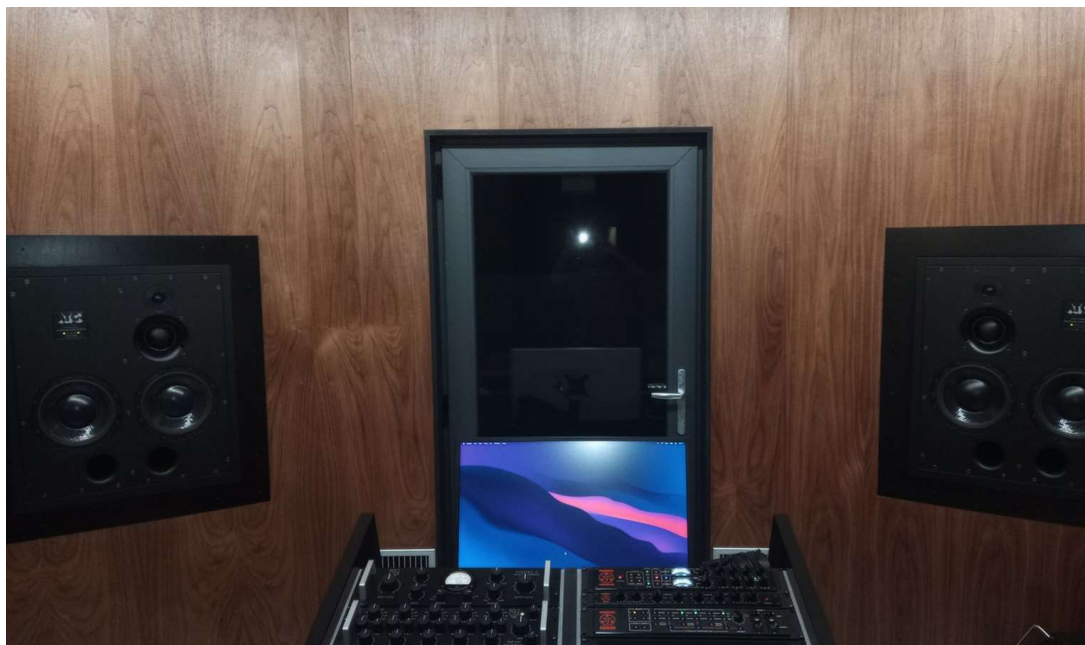


Figura 250 - Fotografia 1 da sala "ARDA – Mastering Studio". Visão frontal do sistema de reprodução do espaço

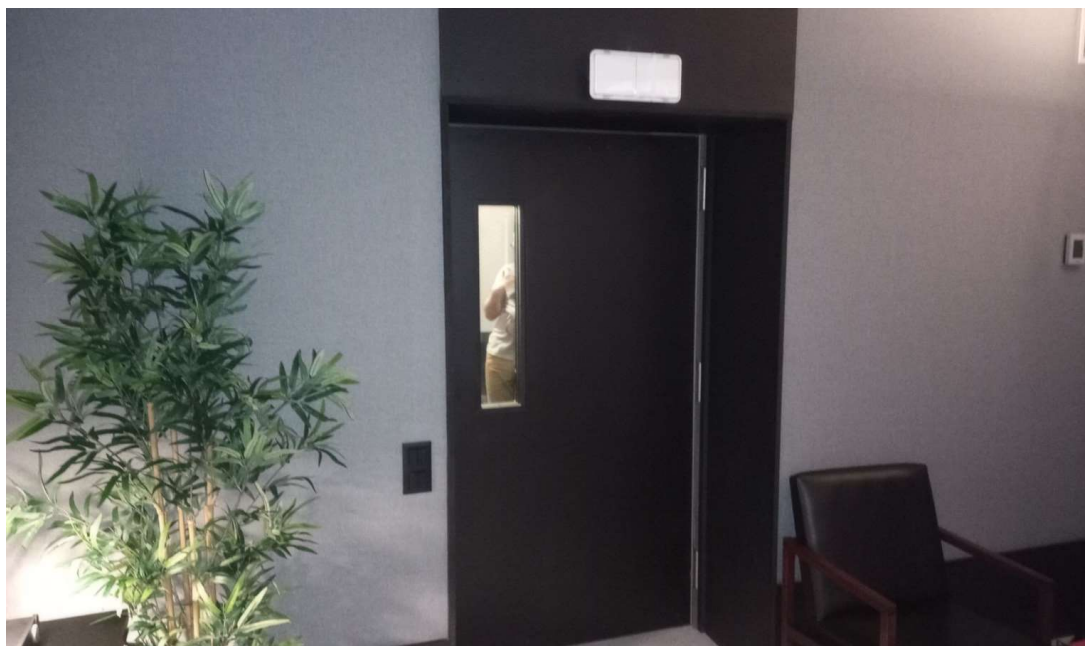


Figura 251 - Fotografia 2 da sala "ARDA – Mastering Studio"

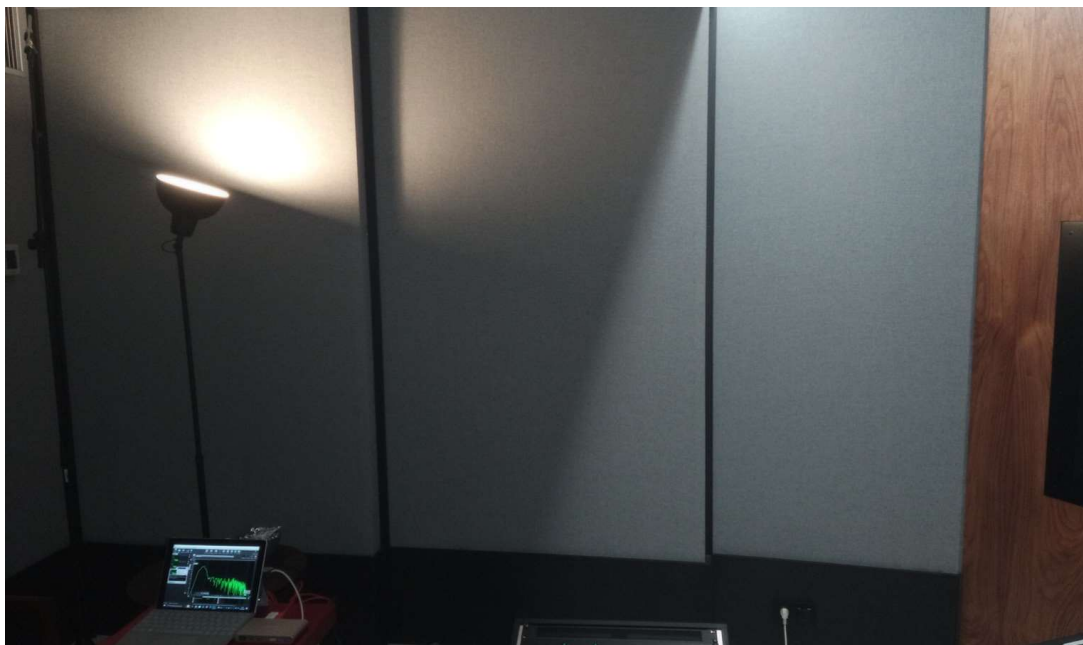


Figura 252 - Fotografia 3 da sala "ARDA – Mastering Studio"

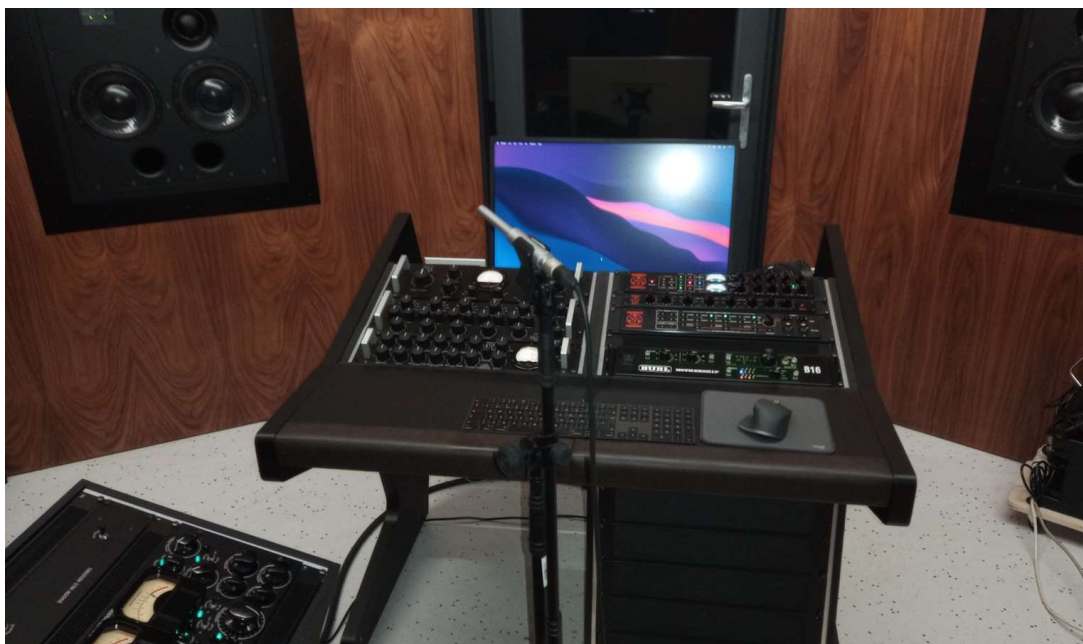


Figura 253 - Fotografia 4 da sala "ARDA – Mastering Studio"



Figura 254 - Fotografia 4 da sala "ARDA – Mastering Studio"

- Estrutura “caixa dentro de caixa”:
- As paredes visíveis não são as paredes estruturais;
- O tipo de materiais contidos entre o teto e paredes visíveis e o teto e paredes estruturais são desconhecidos;
- Estúdio situado numa zona urbana, próxima de uma estação de comboios;
- As paredes estruturais, pelas suas características garantem isolamento adequado no interior do edifício;
- Aparelho de ar condicionado;
- Paredes com cerca de 10 cm de espessura nas paredes e teto, servem a função de acondicionamento acústico;
- Porta ao fundo da sala, atrás do *sweet spot* (uma folha).
- Porta localizada em frente ao *sweet spot*, entre os altifalantes.
- Altifalantes encastrados em parede falsa situada a cerca de 1/3 do comprimento da sala (considerando fronteiras estruturais).

### 12.6.2 Áreas e Volumes

Área inicial	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
32,23m <sup>2</sup>	5,42 m <sup>2</sup>	16,8%

Tabela 16 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ARDA – Mastering Studio”.

Volume inicial m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
118,72 m <sup>3</sup>	44 m <sup>3</sup>	37,1%

Tabela 17 - Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “ARDA – Mastering Studio”.

### 12.6.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “ARDA – Mastering Studio”, estão disponíveis no Anexo 8. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: ATC SCM 110 ASL\*
- Sistema de colunas tri-amplificado de três vias;
- 2 x Bass Woofers de 9”
- Mid Woofer de 3”
- Tweeter de 1”
- Bass Reflex (*front ported*)
- Resposta em frequência: 65 Hz - 17 kHz ( $\pm 2$  dB)
- Resposta em frequência: 32 Hz - 25 kHz (Frequências de corte)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R.

\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espaco acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 2,85m

- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 32 Hz
- $Distância^2 = 8,12$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 3,2$

#### 12.6.4 Função de Resposta ao Impulso

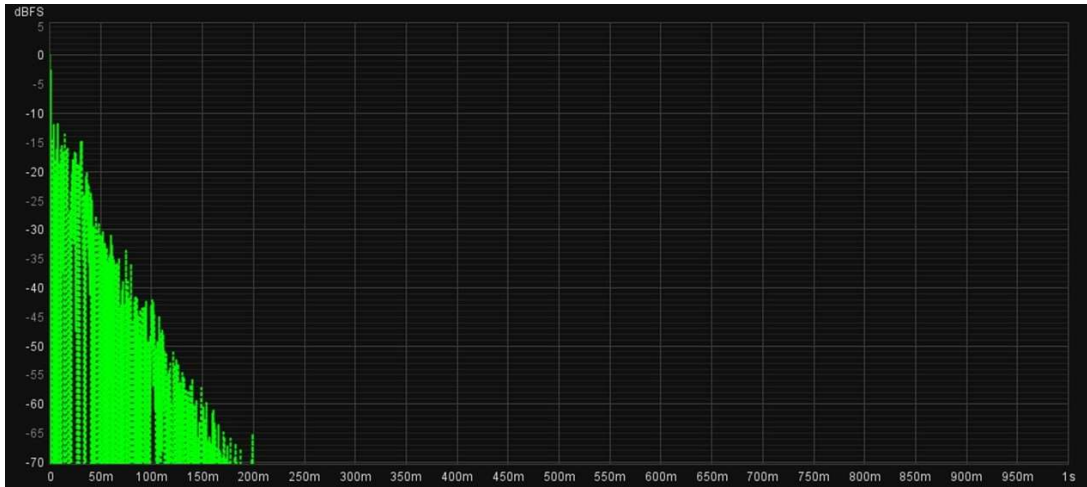


Figura 255 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “ARDA – Mastering Studio”

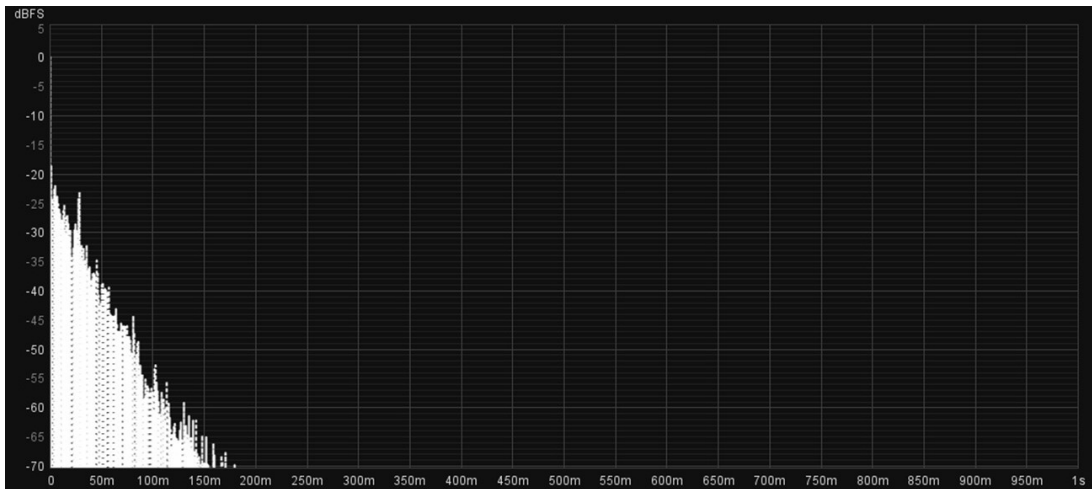


Figura 256- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Mastering Studio”

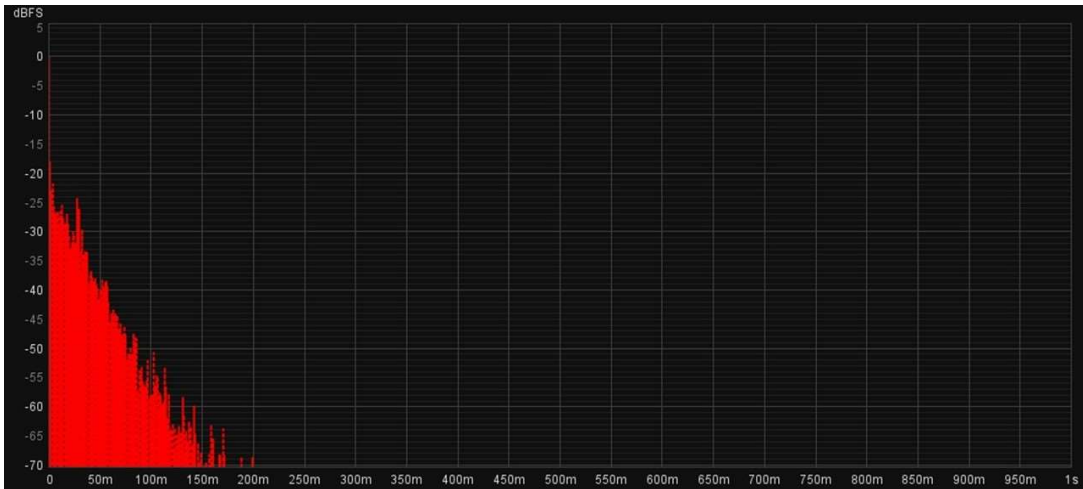


Figura 257 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 255, Figura 256 e Figura 257 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

### 12.6.5 Análise das Reflexões Especulares

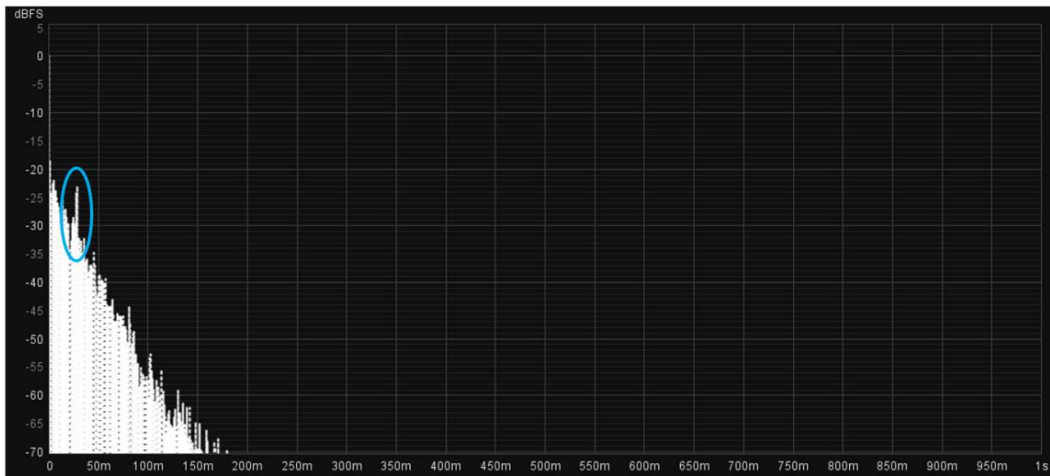


Figura 258 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio”

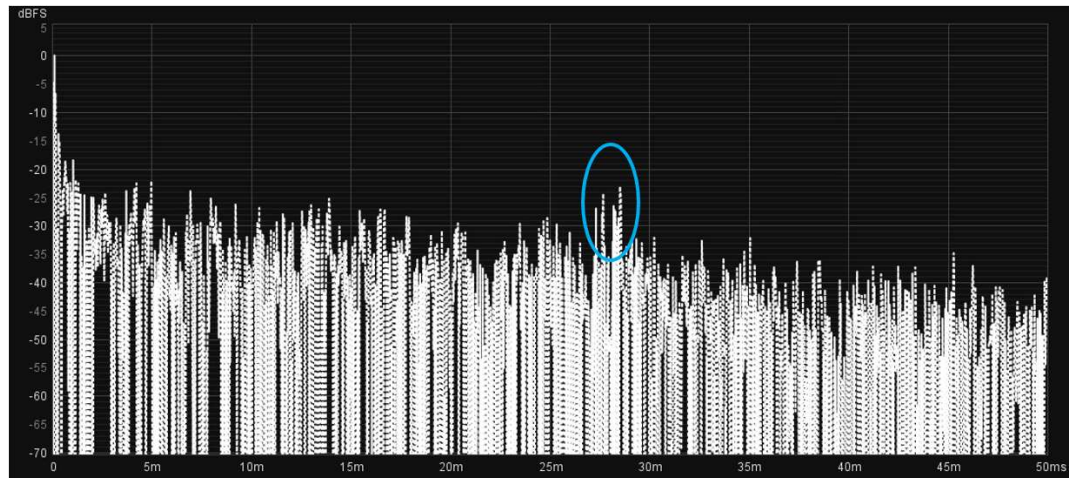


Figura 259 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio”

Analisando o par MON L – SS é possível verificar na Figura 258 a existência de algumas reflexões que se destacam da restante energia correspondente ao normal decaimento do campo reverberante da sala. Na Figura 259, pode-se verificar existe energia associada a reflexões entre 27 ms a 28 ms após o impulso inicial. Estas reflexões apresentam cerca de -25 dB de energia em relação ao impulso inicial.

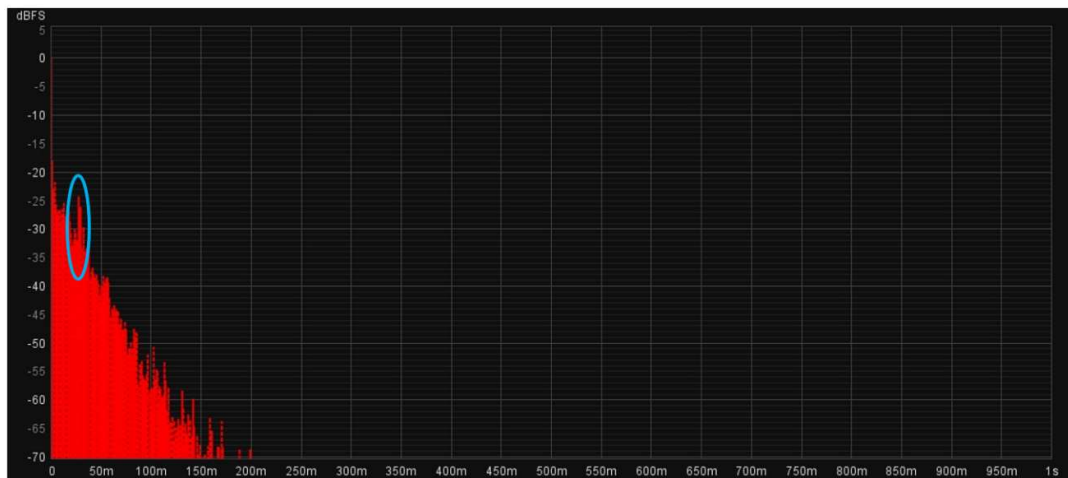


Figura 260 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio”

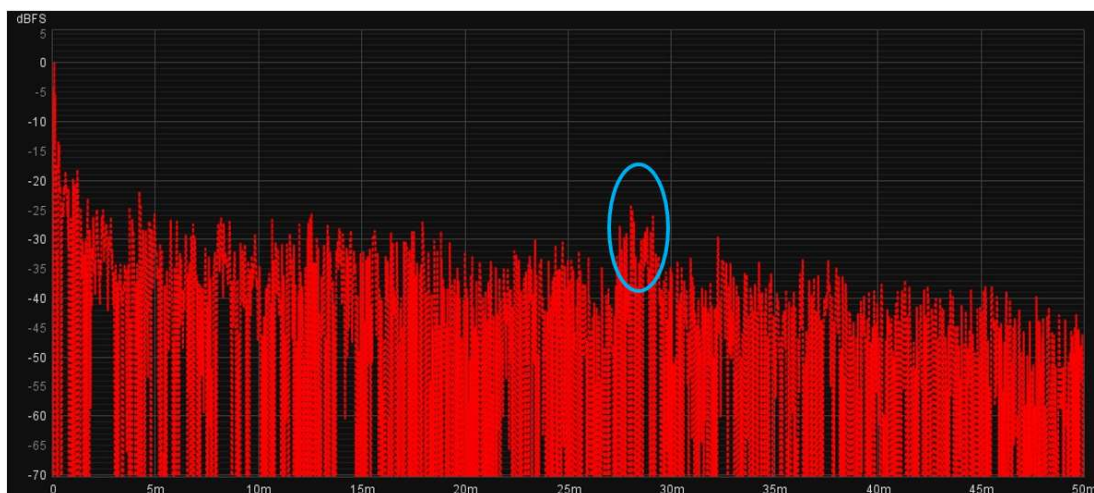


Figura 261 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio”.

Para o par MON R – SS, existe energia de reflexões que pode ser identificada na Figura 260. Analisando o maior detalhe da Figura 261 é possível verificar um comportamento similar entre MON R – SS e MON L – SS. No par MON R – SS as reflexões têm um atraso de entre 27 ms e 29 ms, com os mesmos -25dB de energia em relação ao impulso inicial.

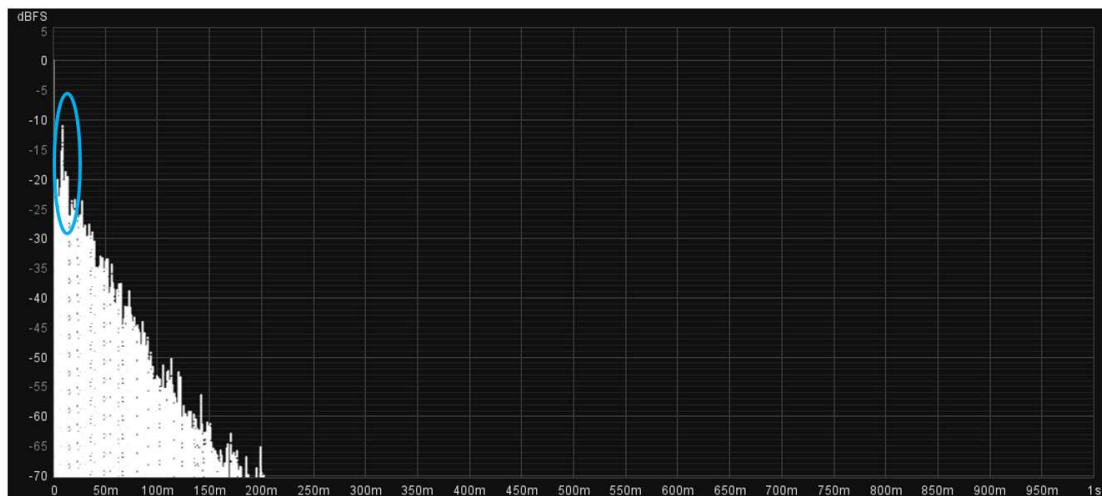


Figura 262 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “ARDA – Mastering Studio”

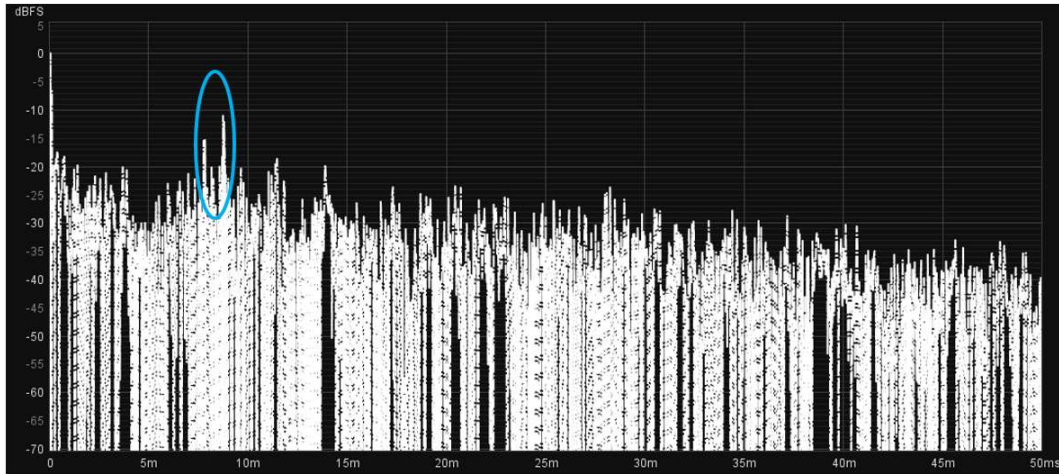


Figura 263 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento diferente do ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 263 têm um atraso compreendido entre os 7 ms e 9 ms após o impulso inicial, com energia entre -15 dB e -10 dB. O ponto BACK apresenta mais energia proveniente de reflexões, que poderá ter origem em reflexões da porta de entrada no espaço, que se encontra diretamente atrás do ponto de escuta, ficando mais próxima do ponto de medição BACK, do que do ponto SS.

### 12.6.6 *Initial Tima Delay Gap (ITDG)*

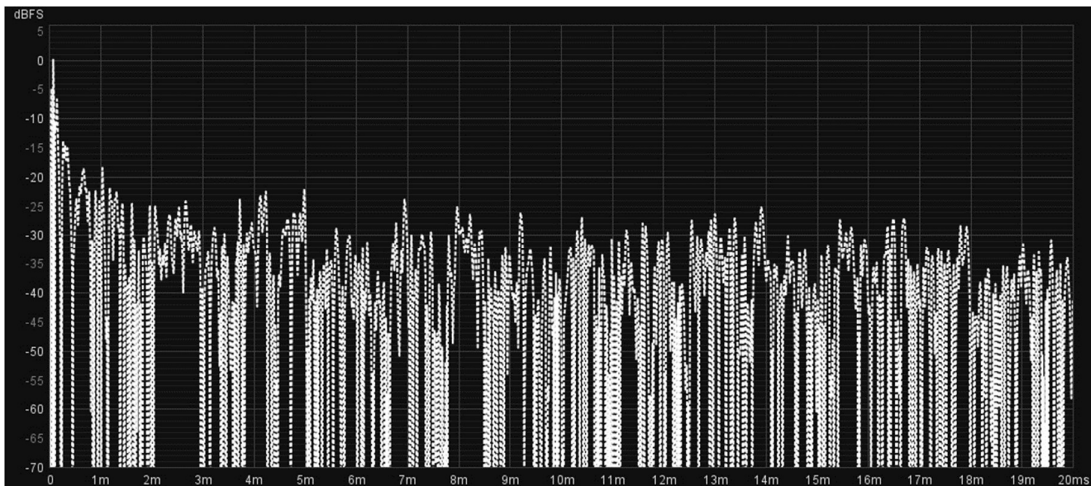


Figura 264 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “ARDA – Mastering Studio”

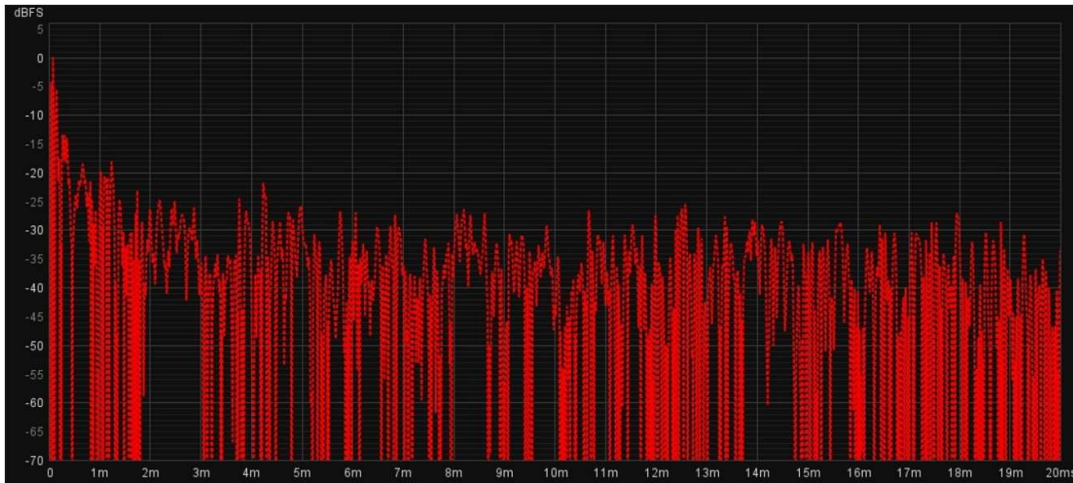


Figura 265 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “ARDA – Mastering Studio”

### 12.6.7 Análise Modal

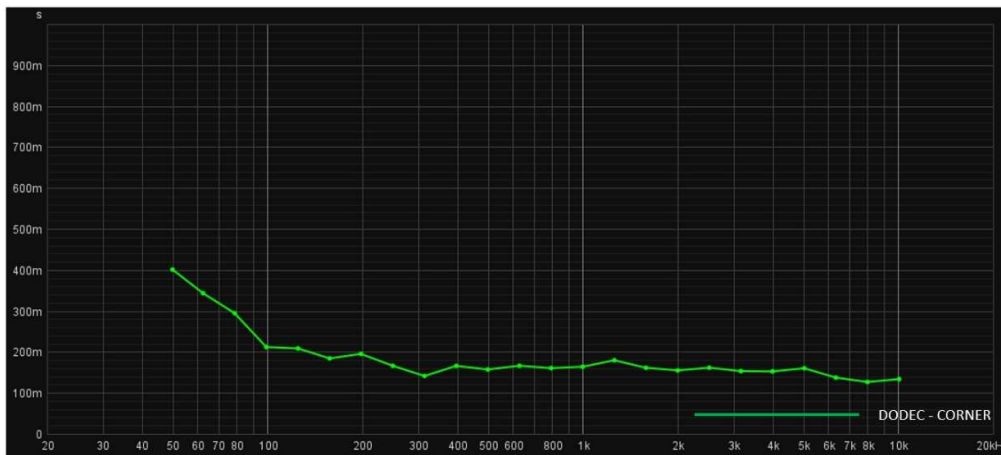


Figura 266 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “ARDA – Mastering Studio”

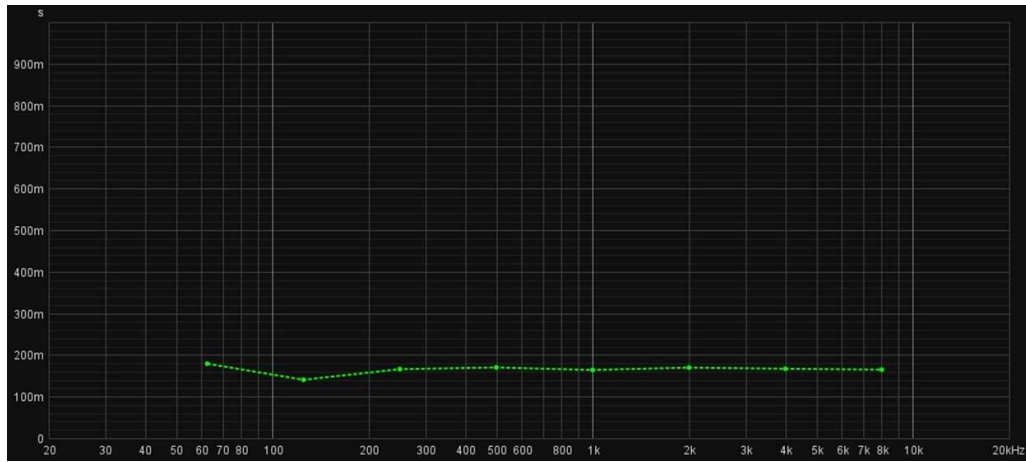


Figura 267 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 266 e a Figura 267 representam a T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas gamas de frequências abaixo de 125 Hz , apenas se verifica na medição MON L – CORNER.

Frequência de Não-Suporte (considerando as dimensões estruturais):	28 Hz
Frequência de Schroeder (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,165seg.) e as dimensões limitadas pelas paredes estruturais)	75 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1140 Hz

Tabela 18 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “ARDA - Mastering Studio”

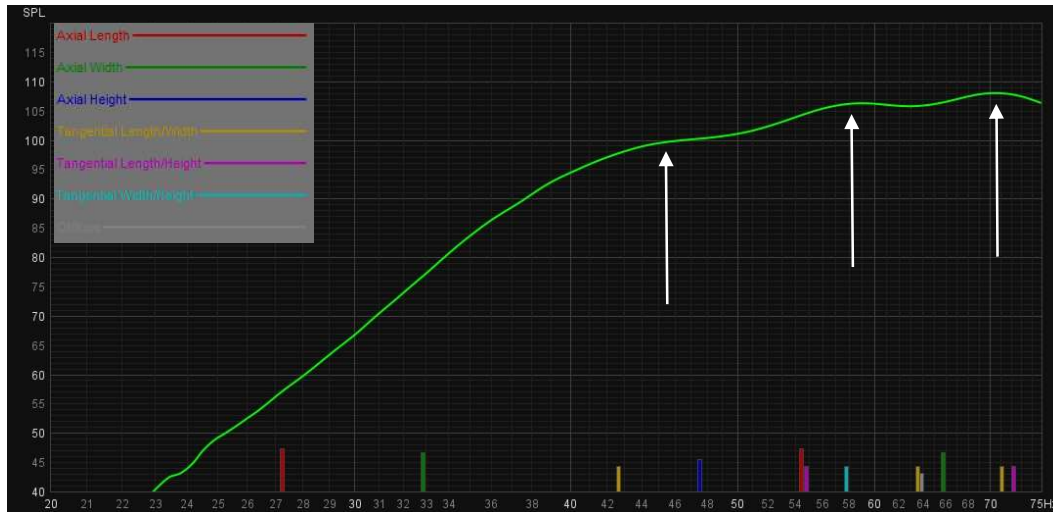


Figura 268 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “ARDA – Mastering Studio”, considerando as dimensões estruturais

Na Figura 268, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 75 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. A análise do gráfico (Figura 268), não deixa evidentes pontos de pressão óbvios, no entanto estão assinalados, no gráfico, pequenas inflexões que podem ser resultado de atividade modal na sala. Esta análise coloca em evidência a eficácia das soluções de acondicionamento em reduzir a atividade modal da sala.

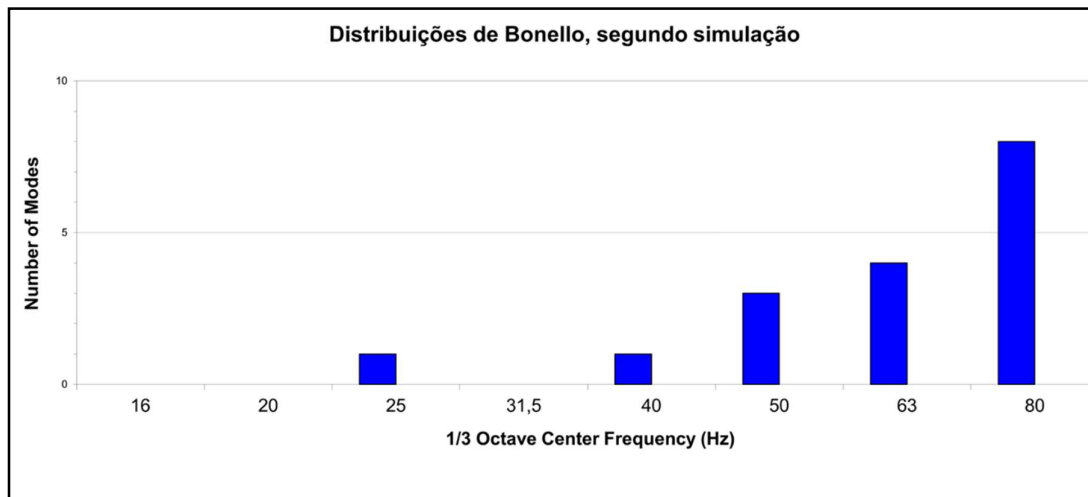


Figura 269 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “ARDA – Mastering Studio”, considerando as dimensões de 6,30 m x 5,22 m x 3,61 m

A Figura 269 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura. Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala não são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração”, uma vez que existem bandas de frequência com um número inferior de modos em relação à banda anterior. No entanto, não possível medir, em grande parte, atividade modal significativa na sala.

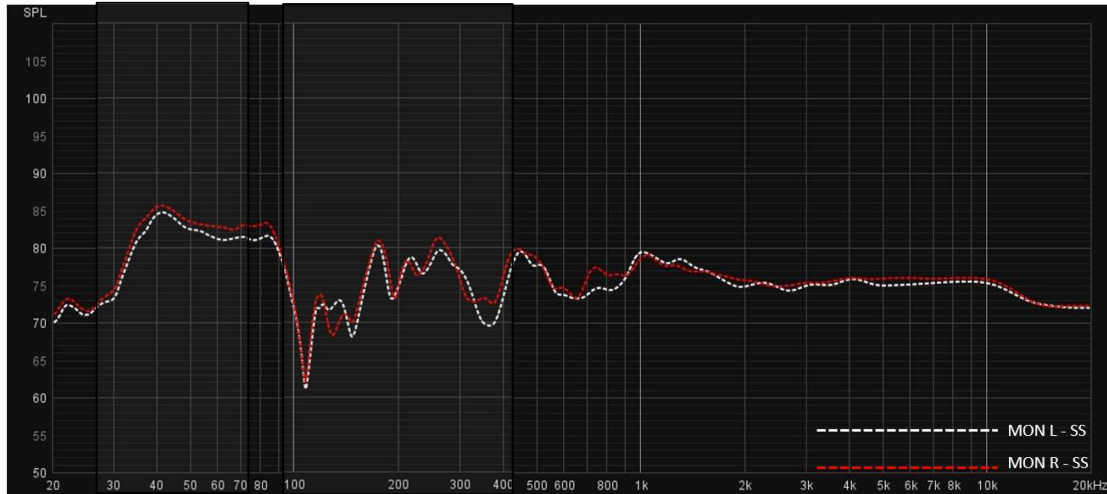


Figura 270 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 270 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A área destacada à esquerda trata-se da região modal calculado para o espaço, sendo que os picos e vales são coincidentes. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

Destacada à direita está uma região acima da modal, na qual também é possível identificar um comportamento de resposta em frequência marcado por vários vales e picos.



Figura 271 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

Na Figura 271 não é possível identificar pontos de pressão no par DODEC – SS, que coincidam de forma inequívoca com irregularidades nos pares MON L – SS e MON R – SS. Pode-se afirmar que, apesar de no ponto de medição CORNER ter sido possível detetar pontos de pressão que se poderão associar a atividade modal, esta não se evidencia nas medições do ponto SS.

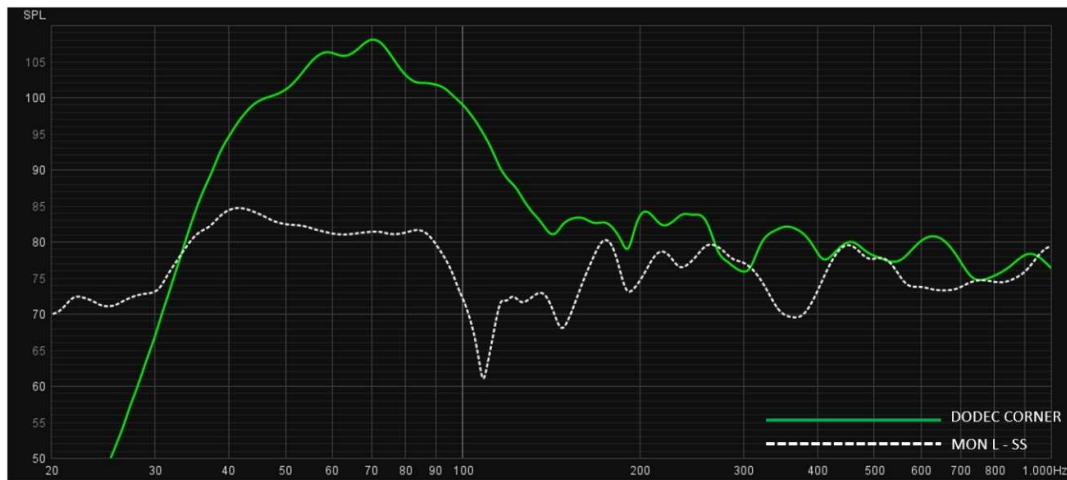


Figura 272 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

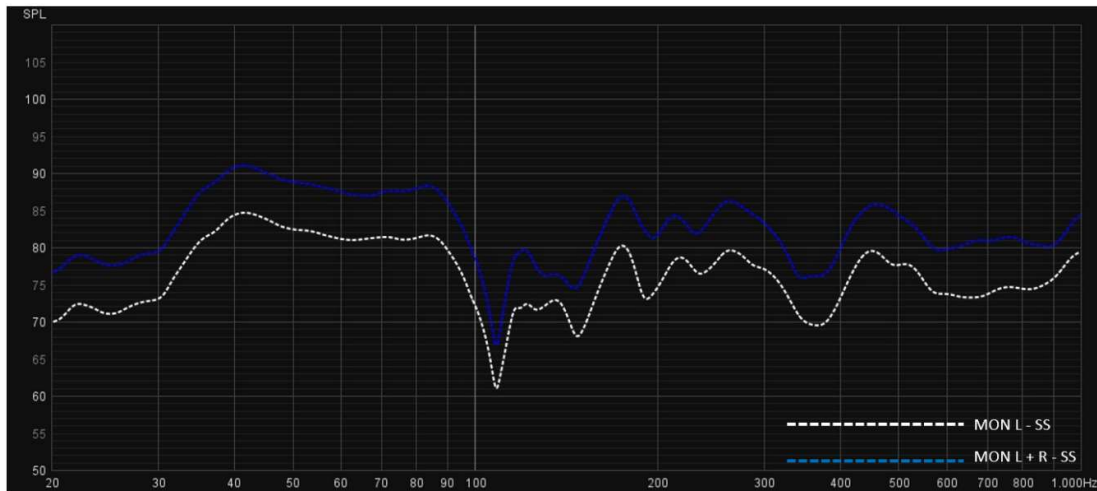


Figura 273 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

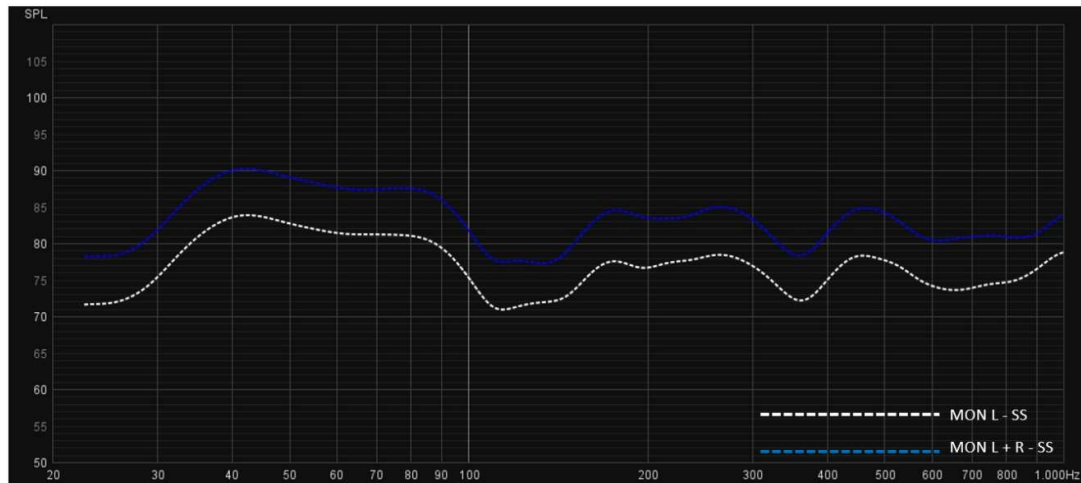


Figura 274 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 273 e Figura 274 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L +R – SS, a Figura 274 com *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e diferenças muito ténues.

### 12.6.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 212$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 106$  Hz ( $1^{\circ}$  cancelamento).

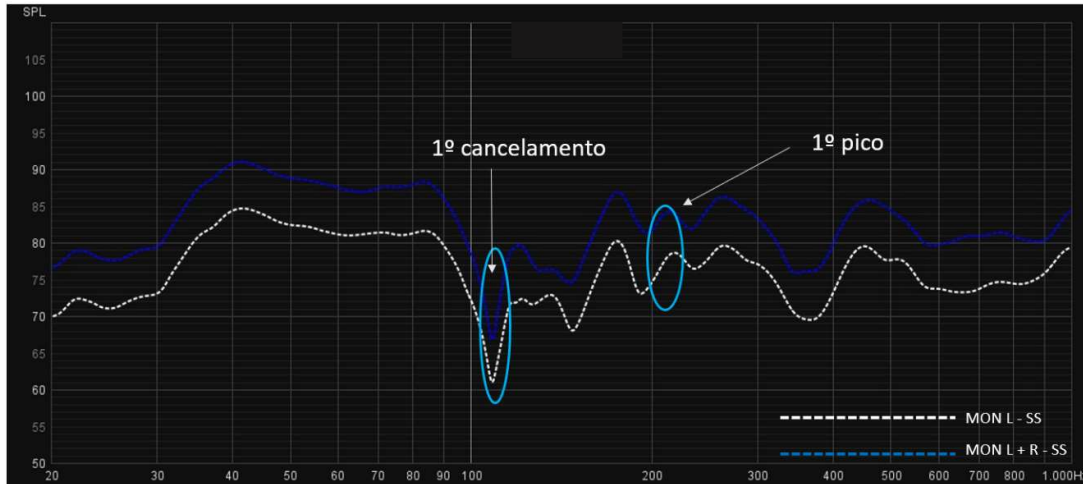


Figura 275 – Identificação do possível impacto da reflexão do chão nos pares MON L – SS e MON L+R - SS, tendo em conta os cálculos realizados, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

Na Figura 275 estão identificadas as frequências calculadas para os primeiros cancelamento e pico. As frequências calculadas anteriormente coincidem com um conjunto vale/pico, o que sugere que as regiões assinaladas correspondem com a manifestação dos efeitos da reflexão do chão na resposta em frequência, para o par MON L – SS, MON R – SS e MON L+R – SS.

### 12.6.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

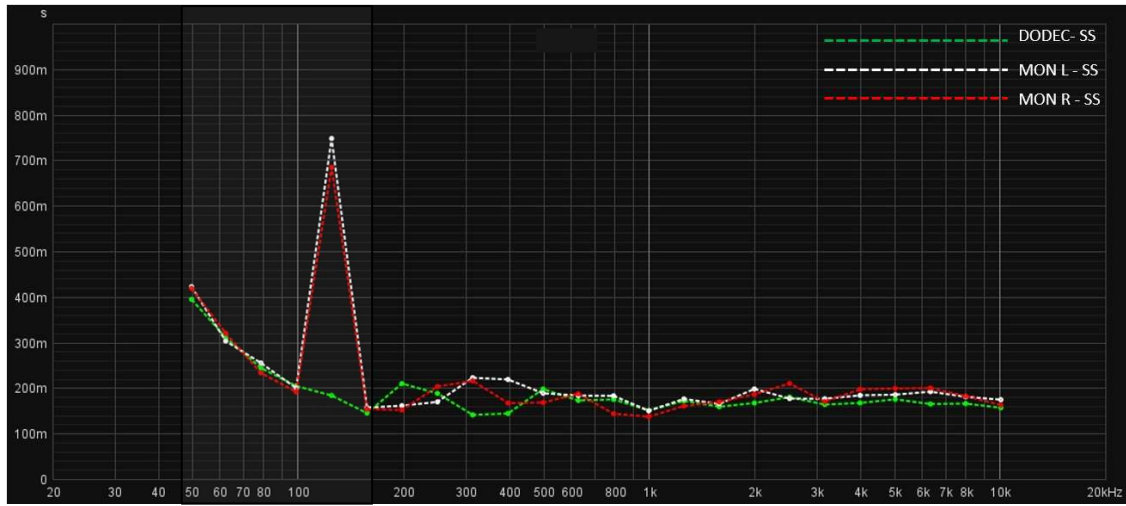


Figura 276 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala " ARDA – Mastering Studio"

A análise da Figura 276, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 125 Hz, na qual se verifica um aumento do tempo de reverberação. Também na banda de 1/3 de oitava de 125 Hz é possível observar que as fontes MON L e MON R apresentam um valor de T30 muito superior às bandas de frequência adjacentes. Este comportamento não se manifesta no par DODEC – SS. Pode-se especular que o comportamento apresentado pelas fontes MON L e MON R poderá estar relacionado com alguma ressonância estrutural, que pode estar ligada à montagem dos altifalantes na parede.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC); excluindo as referidas ressonâncias na banda de 1/3 de oitava de 125 Hz).

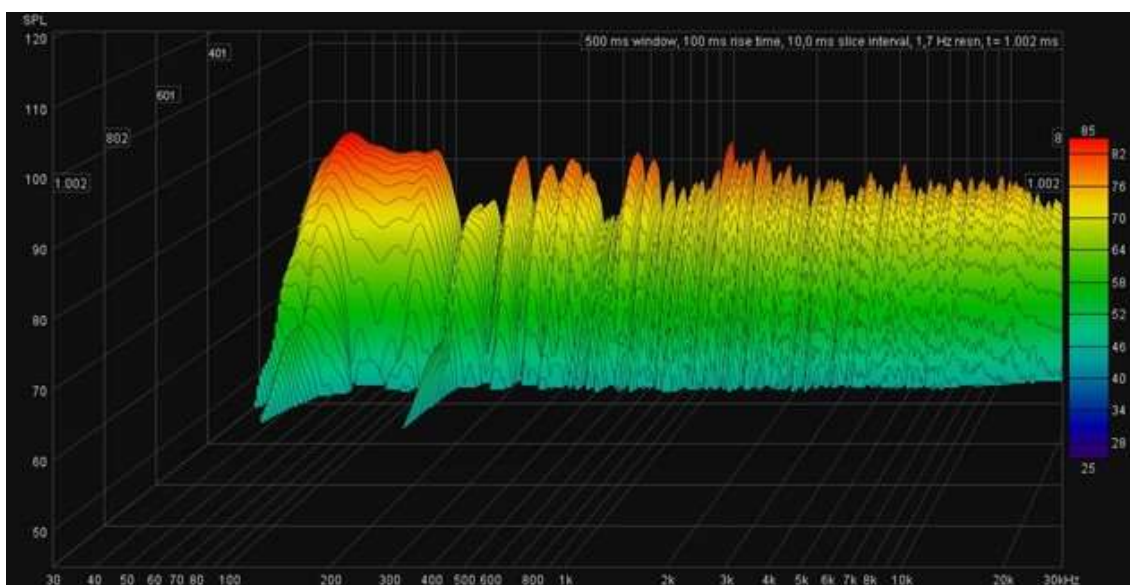


Figura 277 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio”

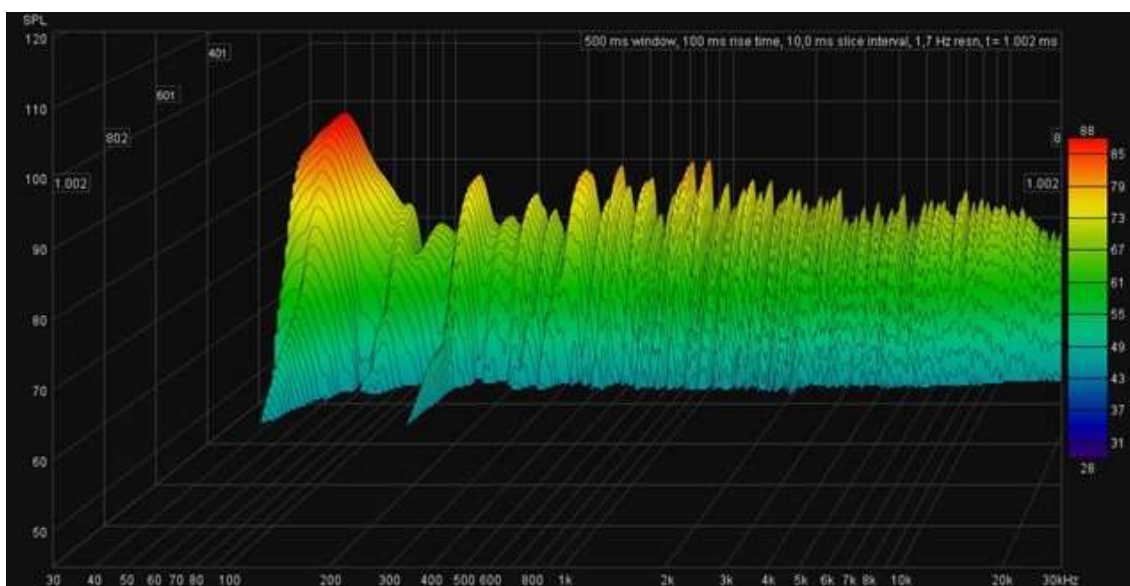


Figura 278 - Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

Comparando os decaimentos de MON L - SS (Figura 277) e MON L - BACK (Figura 278), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar, com a o par MON L – BACK a apresentar menos energia na região compreendida entre os 50 Hz e os 100 Hz.

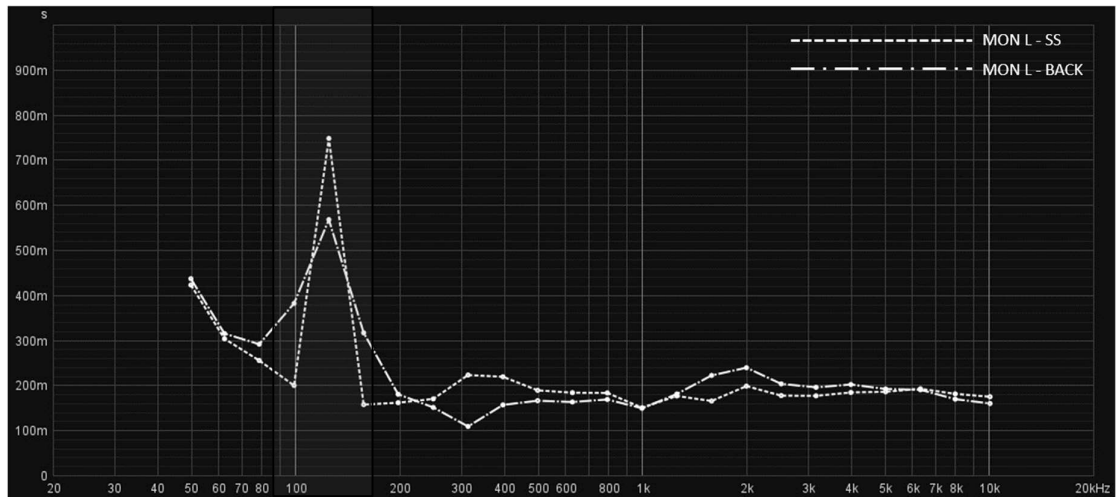


Figura 279 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

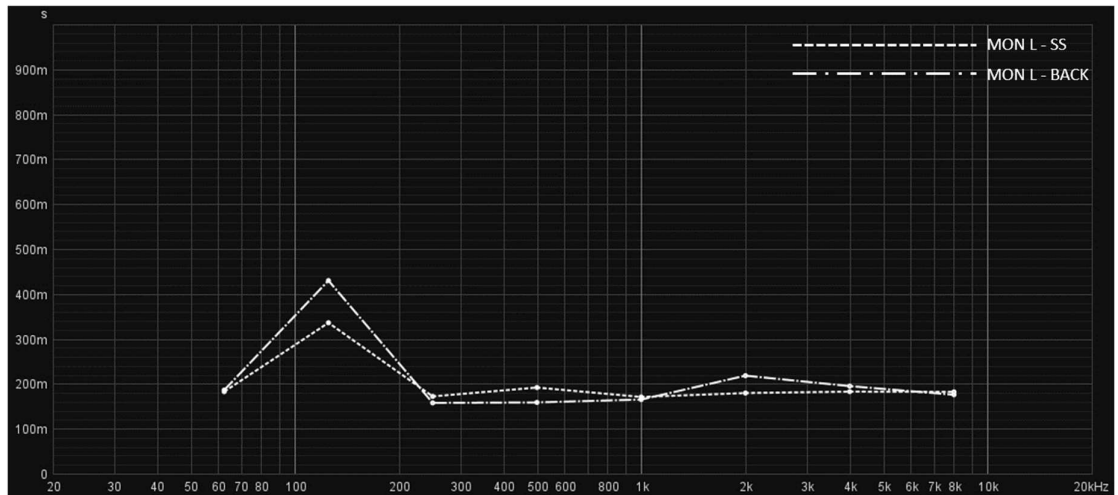


Figura 280 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 279 e Figura 280 confirmam que os pares MON L – SS e MON R – SS apresentam tempo de reverberação similares em toda a gama de frequências e partilham do aumento do mesmo em torno da banda de oitava e 1/3 de oitava de 125 HZ.

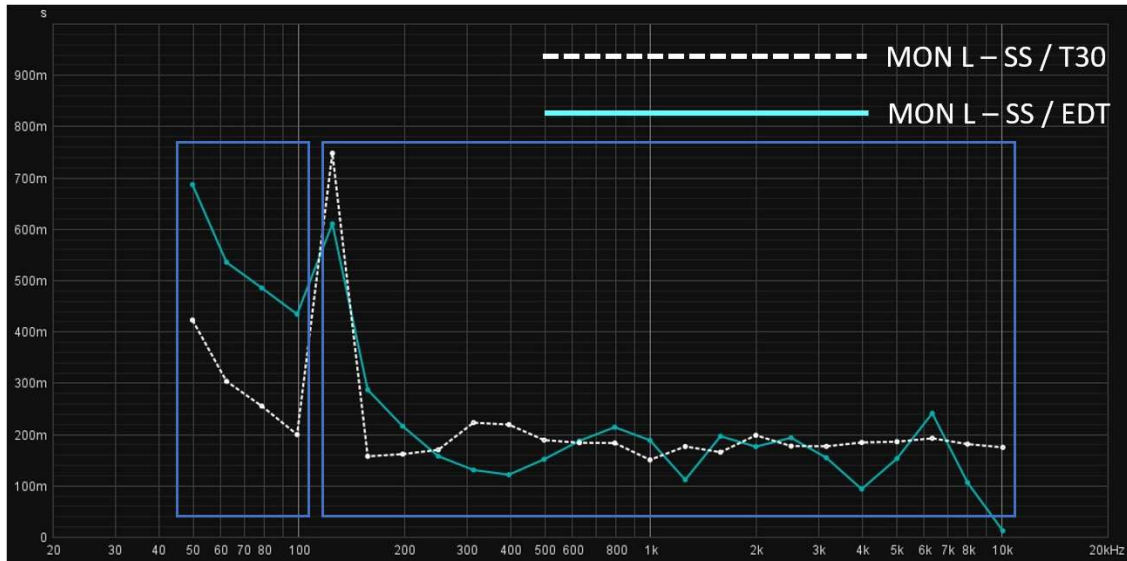


Figura 281 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “ARDA – Mastering Studio”

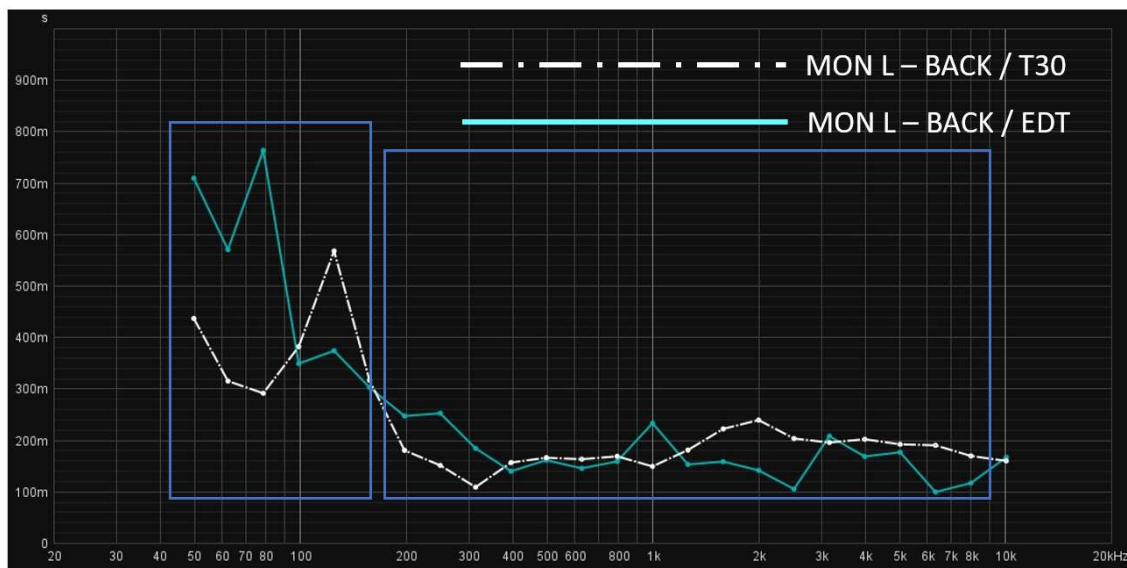


Figura 282 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A análise da Figura 281 (MON L – SS) permite identificar duas regiões distintas, no que diz respeito ao comportamento do T30 comparado com EDT. Na região abaixo dos 100 Hz o EDT é superior ao T30, o que indica que o decaimento desta banda de frequencial (grave, médio-grave) é mais lento nos instantes iniciais, acelerando posteriormente. A gama de frequências acima de 100 Hz apresenta valores para EDT muito próximos a T30, o que indica um decaimento linear, ou valores de EDT inferiores a T30, o que indica que a existe mais energia na cauda do decaimento do que nos seus instantes iniciais.

O par MON L – BACK (Figura 282) apresenta um comportamento muito similar a MON L – SS. Pode-se concluir, pela análise da Figura 280, Figura 281 e Figura 282 que o comportamento do decaimento é muito próximo para as posições SS e BACK, ou seja, as experiências auditivas são similares, no que toca à sensação de reverberação.

Comparado com a sala “ARDA – Studio C”, cujo distanciamento entre os valores de EDT e de T30, na região grave, começa a revelar-se abaixo da gama de 1/3 de oitava de 250 Hz, a sala “ARDA – Mastering Studio” apresenta o mesmo comportamento apenas abaixo da banda de 100 Hz.

### 12.6.10 *Bass Ratio*

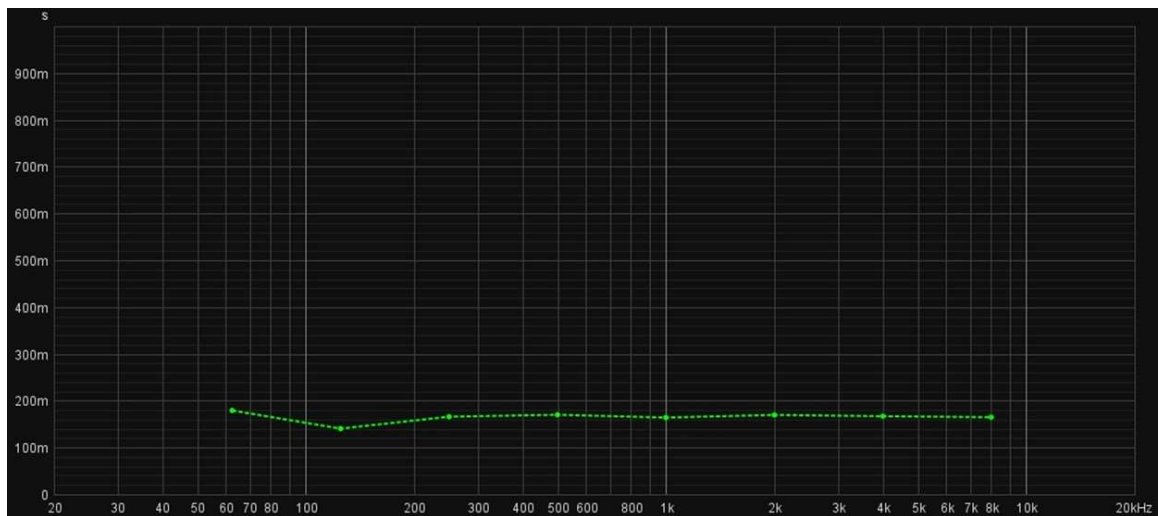


Figura 283 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “ARDA – Mastering Studio”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC - SS = 0,96
- *Bass Ratio* – MON L - BACK = 1,40

A consulta da Figura 238 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação das frequências graves (abaixo dos 250 Hz), quando comparado com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz:

- 1000 Hz – RT60 = 0,164 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0.140 seg.
- 63 Hz – RT60 = 0,179 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz - 15% RT (comparado com 1000 Hz);
- 63 Hz + 9% RT (comparado com 1000 Hz).

### 12.6.11 Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

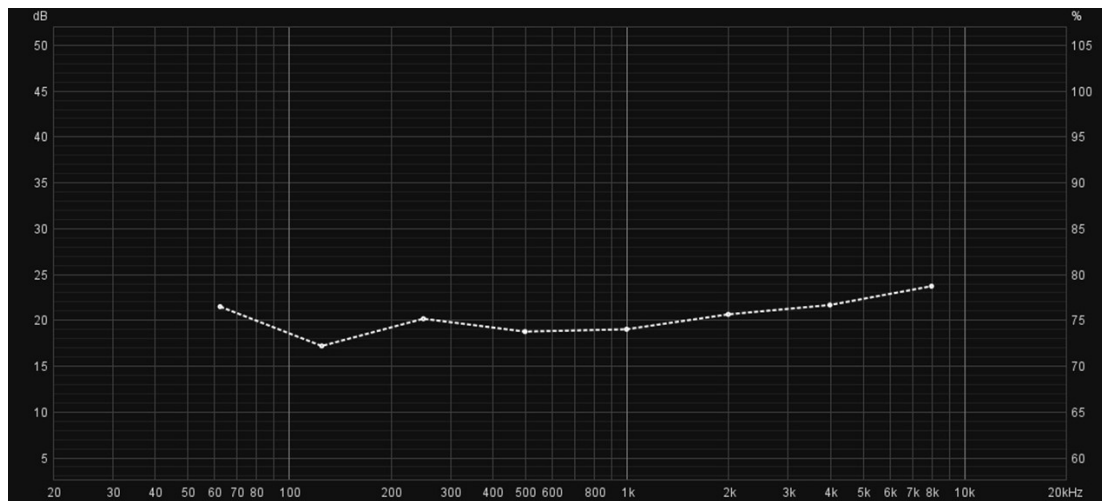


Figura 284 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

Os valores de C50, apresentados na Figura 284, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 20 dB, para o par MON L – SS. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro. Também é importante referir que a sala “ARDA – Mastering Studio” é a única abordada neste estudo cujos valores de C50 não diminuem de forma significativa, no par MON L – SS, quando comparados os valores das bandas de frequências médias e agudas com as bandas de frequências mais graves.

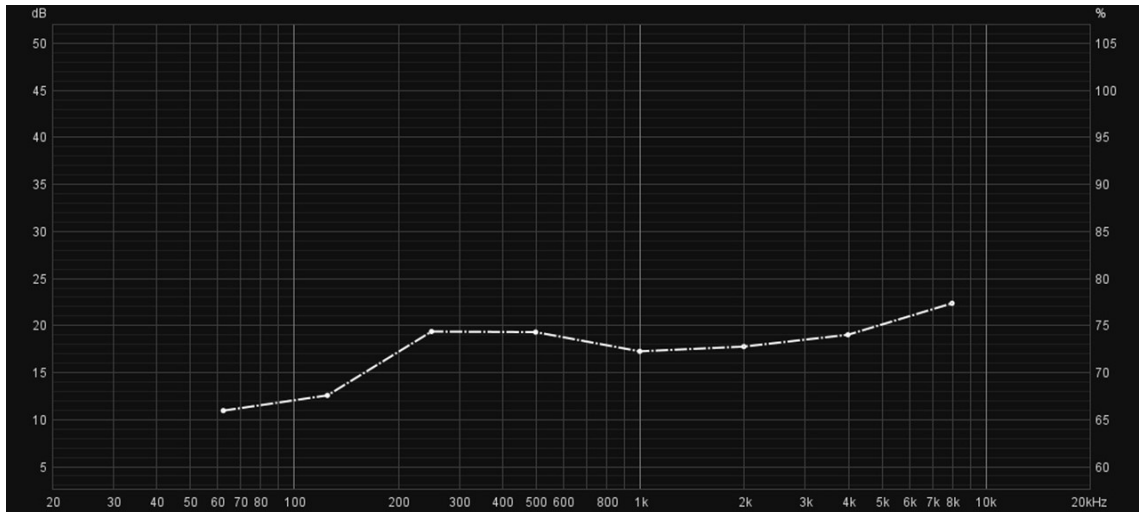


Figura 285 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “ARDA – Mastering Studio”

Os valores de C50, apresentados na Figura 285, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 18,30 dB, para o par MON L – BACK. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro. A análise dos valores de C50 nos pares MON L – SS e MON L – BACK apresenta resultados similares, na sua distribuição por bandas de frequência com a posição BACK apresentar valores ligeiramente mais baixos e uma redução dos valores medidos nas frequências mais graves (bandas de oitava de 63 Hz e 125 Hz).

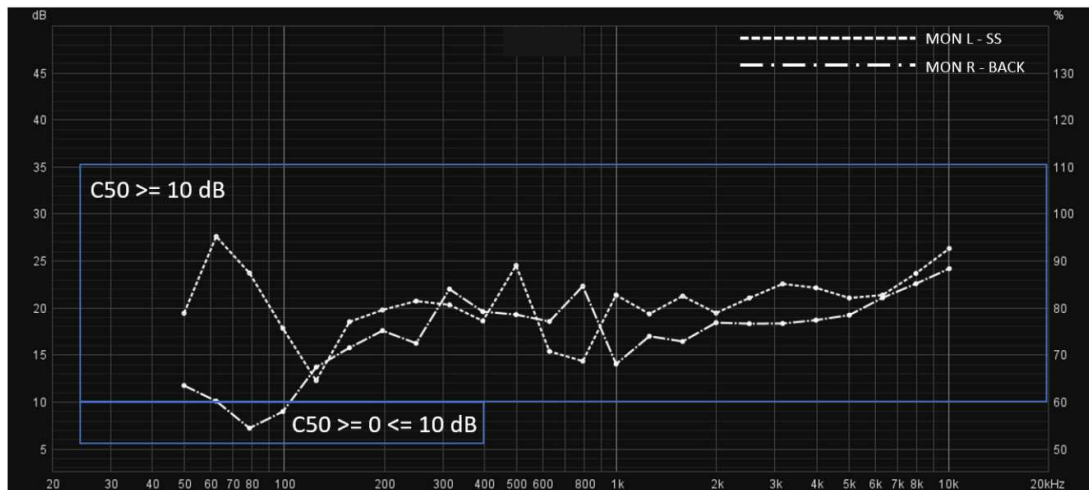


Figura 286 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A Figura 286 permite comparar os valores de C50 em bandas de 1/3 de oitava. Conclui-se que os resultados são similares, exceto nas bandas de 1/3 de oitava abaixo de 125 Hz, onde se verifica uma divergência nos valores medidos. O par MON L – BACK apresenta valores mais baixos que o par MON L – SS, com a banda de 1/3 de oitava de 80 Hz a estar abaixo dos 10 dB.

### 12.6.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

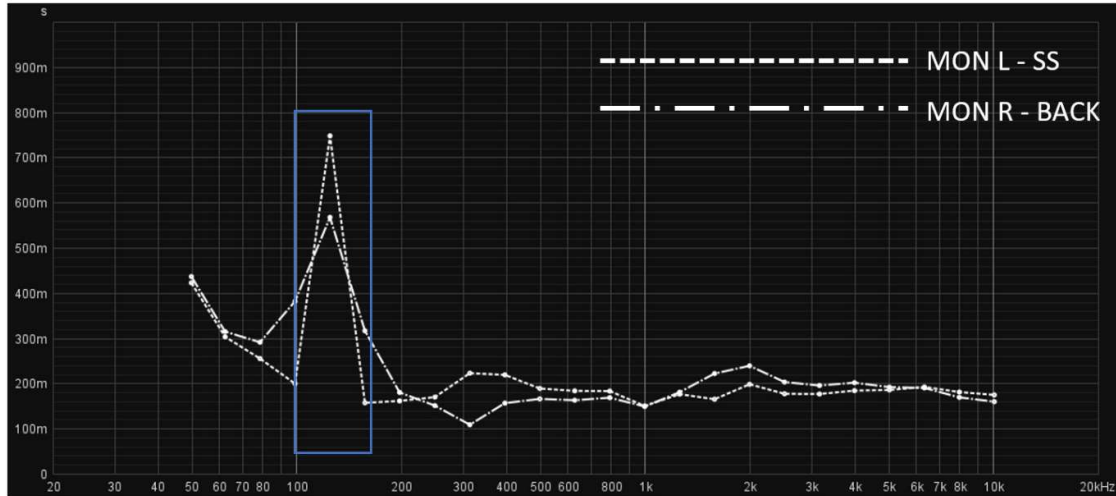


Figura 287 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

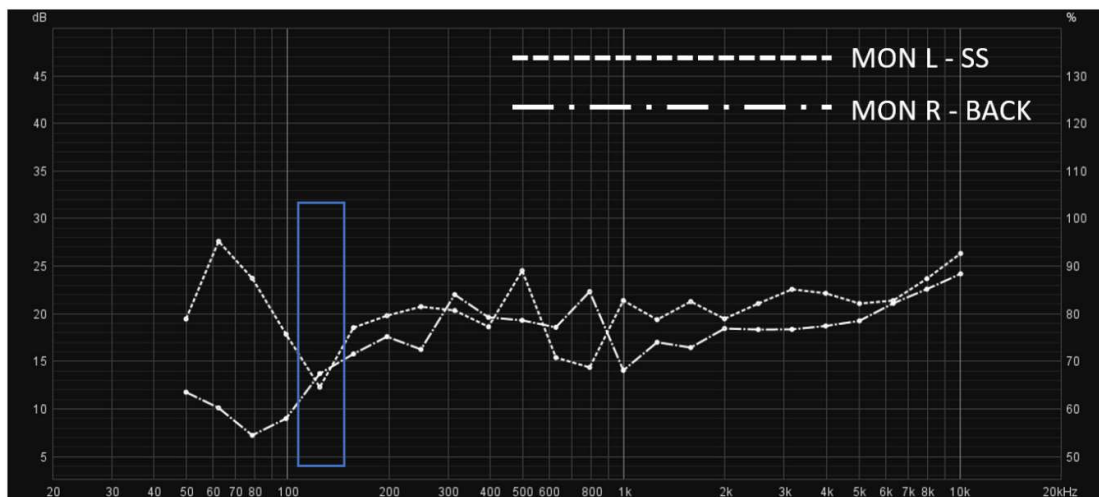


Figura 288 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

Consultando a Figura 287 e a Figura 288, é possível verificar que nas bandas de 1/3 de oitava abaixo de 125 Hz o aumento do valor de T30 coincide com a diminuição do valor de C50. Também é possível visualizar, destacado na Figura 288 a diminuição dos valores de C50 na banda de 1/3 de oitava de 125 Hz, coincidente com o aumento do T30 na gama frequencial referida.

### 12.6.13 Resposta em Frequência

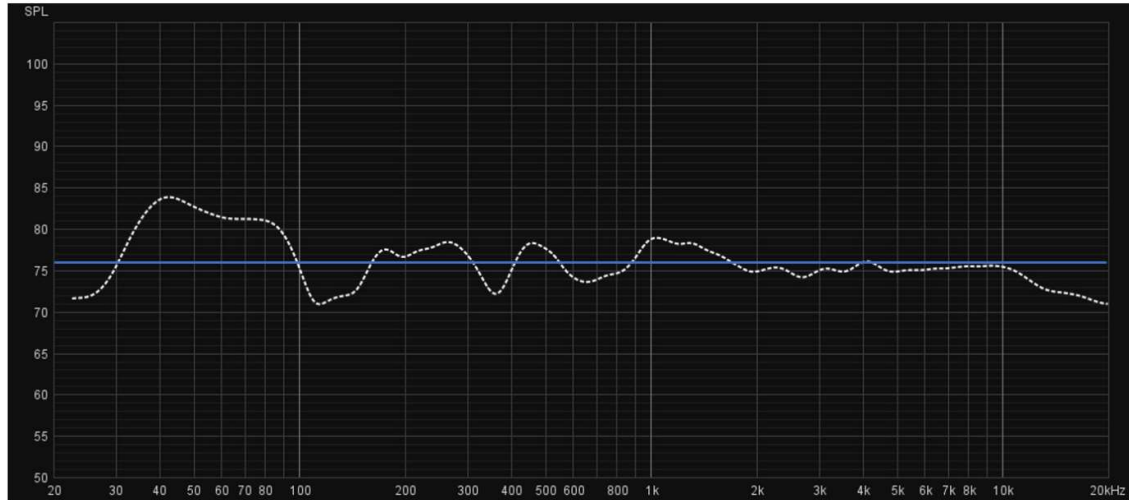


Figura 289 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A resposta em frequência apresentada na Figura 289, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 76,12 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,30 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 7,38 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,38 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,69 dB

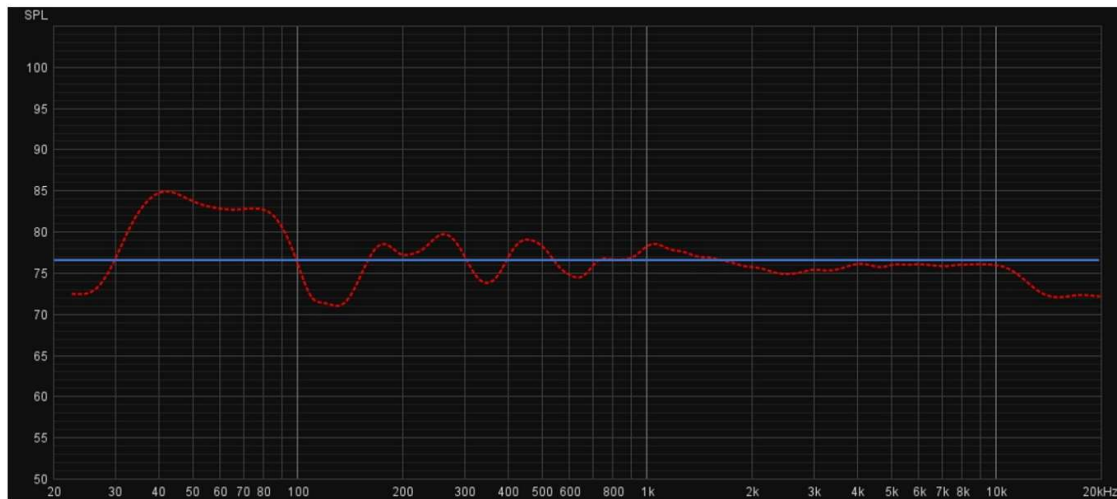


Figura 290 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A resposta em frequência apresentada na Figura 290, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 76,77 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,34 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 7,93 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,14 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 7,93 dB

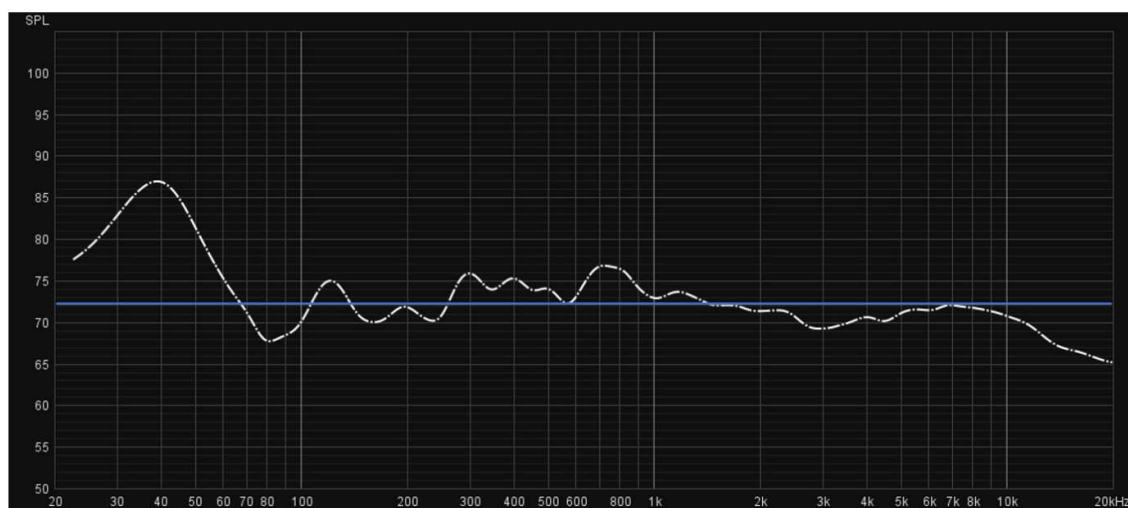


Figura 291 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A resposta em frequência apresentada na Figura 291, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 73,03 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,48 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 13,87 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,85 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 3,59 dB

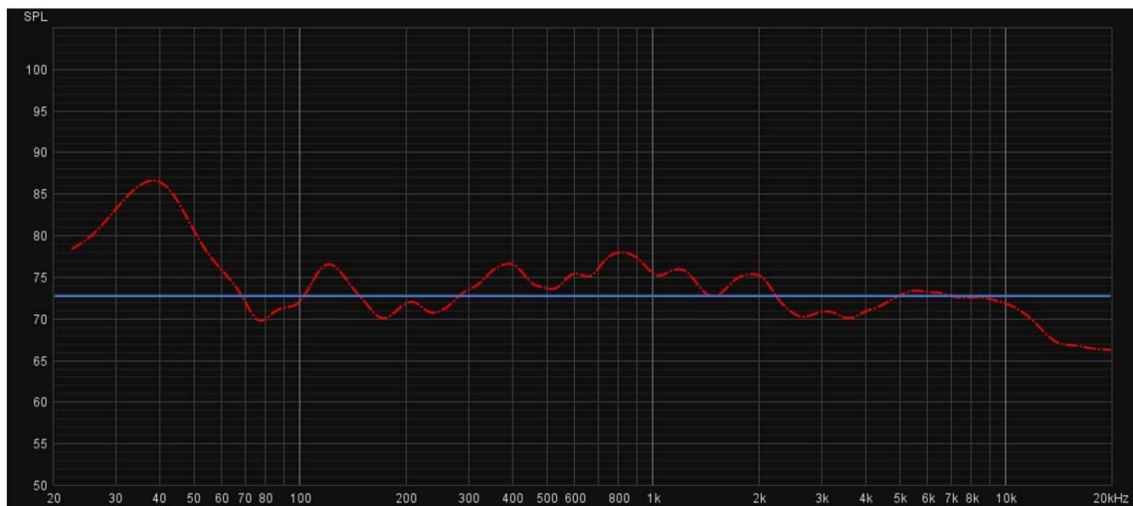


Figura 292 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “ARDA – Mastering Studio”

A resposta em frequência apresentada na Figura 292, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 73,97 dB
- Desvio Médio Absoluto: 3,34 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 12,43 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,6 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,04 dB

## 12.7 Estúdio Miramar

### 12.7.1 Caracterização do Espaço

- Considerando fronteiras estruturais:
  - Comprimento: 5,80 m
  - Largura: 4,73 m
  - Altura: 2,63 m
  - Volume: 72,15 m<sup>3</sup>
  
- Considerando fronteiras visíveis:
  - Comprimento: 5,30 m
  - Largura: 4,23 m
  - Altura: 2,63 m
  - Volume: 58,96 m<sup>3</sup>

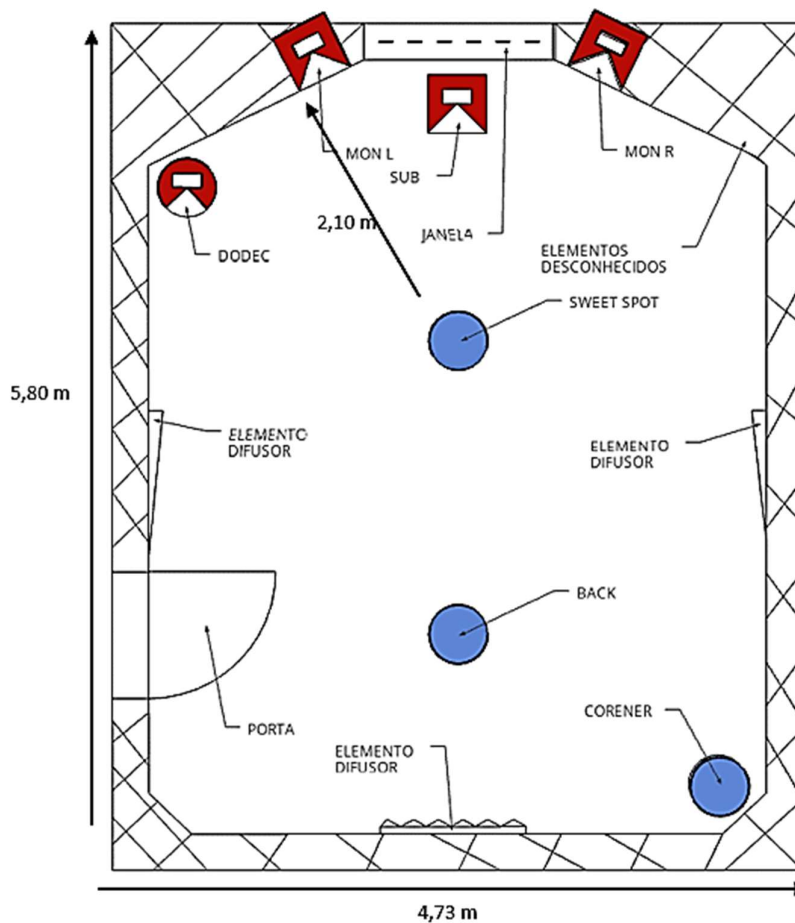


Figura 293 – Visão em planta da sala "Estúdio Miramar"

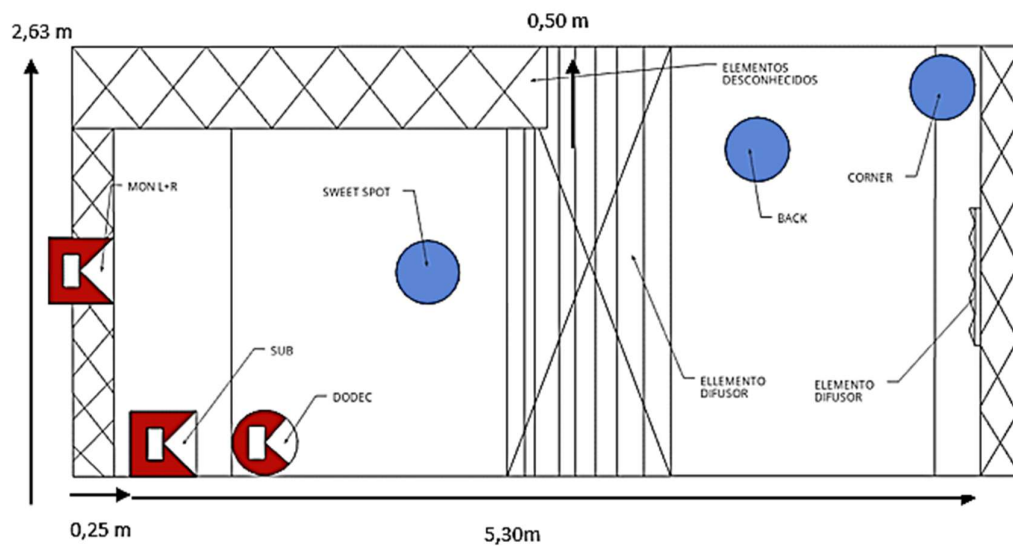


Figura 294 - Visão em corte da sala "Estúdio Miramar"

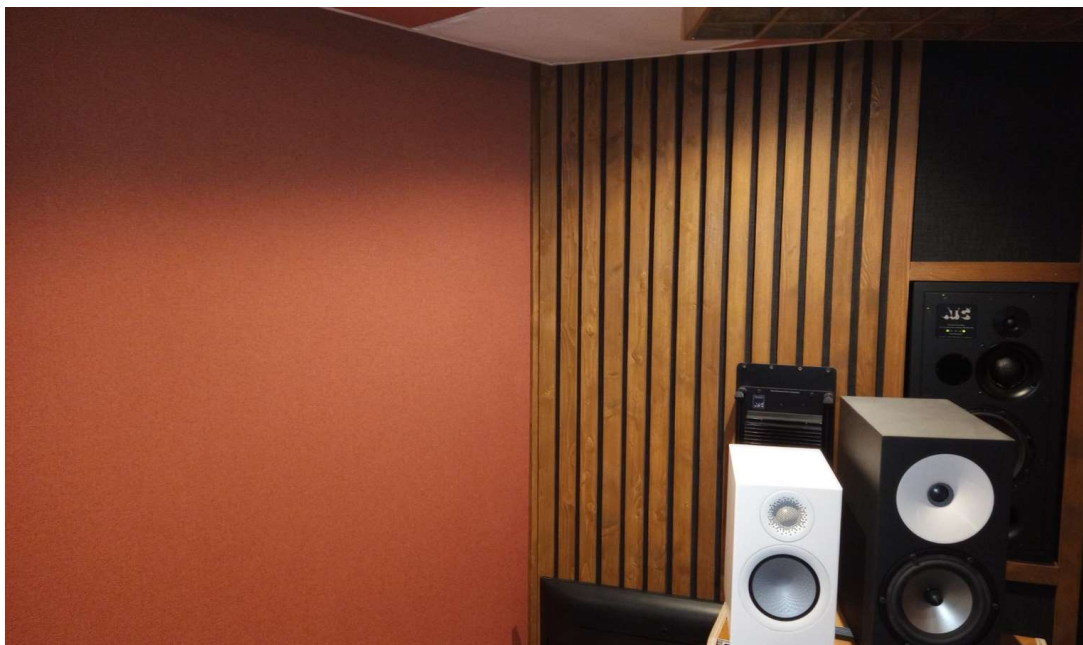


Figura 295 - Fotografia 1 da sala "Estúdio Miramar"

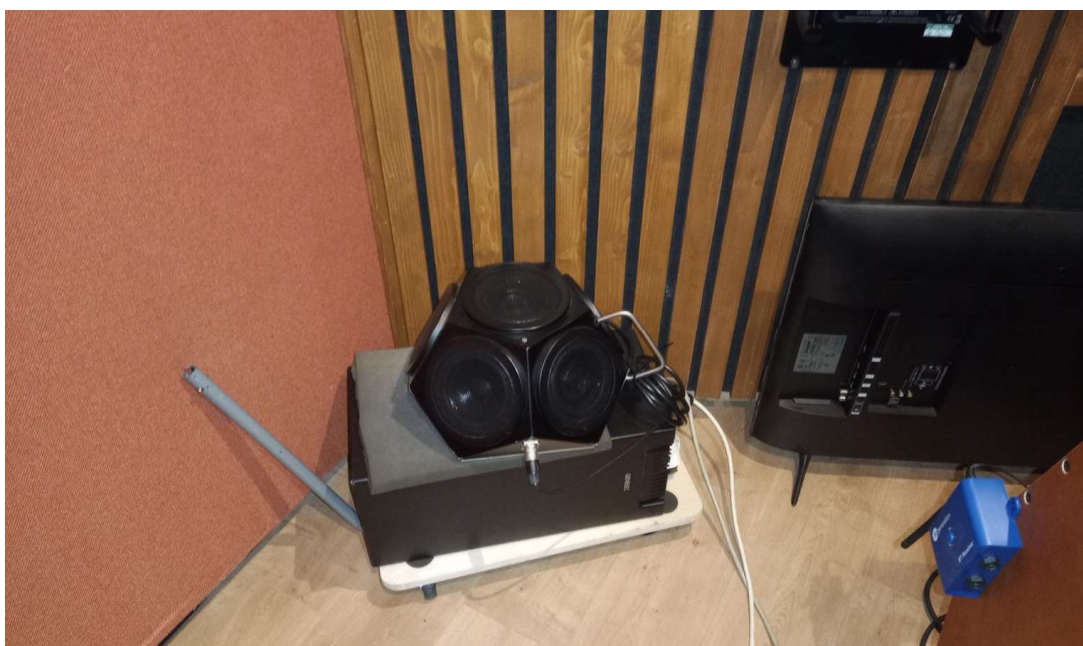


Figura 296 - Fotografia 2 da sala "Estúdio Miramar"

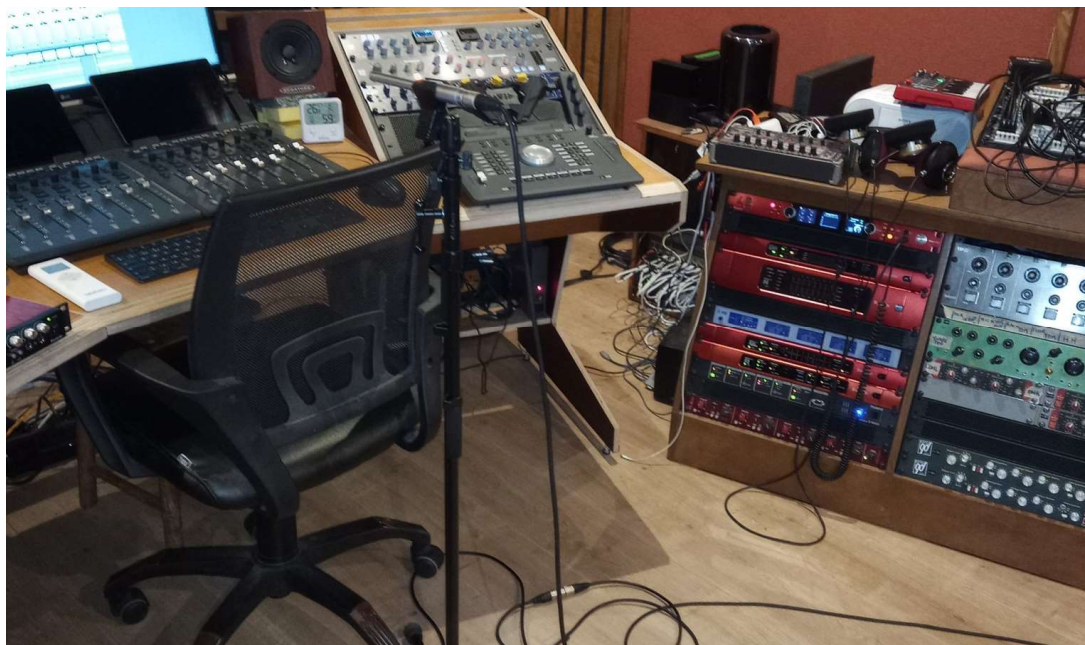


Figura 297 - Fotografia 3 da sala "Estúdio Miramar"



Figura 298 - Fotografia 5 da sala "Estúdio Miramar"



Figura 299 - Fotografia 6 da sala "Estúdio Miramar"

- Segundo o proprietário, sala foi construído em conjunto com John H. Brandt, aplicando a filosofia de acondicionamento acústico de *Balanced Non-Environment*;
- As paredes visíveis não são as paredes estruturais;
- O chão e teto visíveis são estruturais (parte do teto está coberto com painéis suspensos);
- Elementos difusores presentes nas esquinas e paredes laterais;
- Segundo o proprietário, existem painéis ressoadores de membrana, nas paredes laterais, ocultos por uma camada de tecido;
- O tipo de materiais contidos nas paredes interiores e painéis do teto são desconhecidos;
- Estúdio situado numa zona residencial, pouco movimentada;
- Não existem janelas;
- Aparelho de ar condicionado;
- Paredes interiores com 25 cm de espessura;
- 4 cantos, 4 construções híbridas de Bass Traps/Difusores;
- Porta lado esquerdo do *sweet spot* (folha simples).

### 12.7.2 Áreas e Volumes

Área inicial	Área ocupada m <sup>2</sup>	Área ocupada %
27,43 m <sup>2</sup>	4,98 m <sup>2</sup>	18,2%

Tabela 19 – Área inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e área perdida com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “Estúdio Miramar”.

Volume inicial m <sup>3</sup>	Volume ocupado m <sup>3</sup>	Volume ocupado %
72,15 m <sup>3</sup>	18,61 m <sup>3</sup>	25,8%

Tabela 20 - Volume inicial do espaço, considerando as dimensões estruturais e volume perdido com a aplicação de material destinado ao acondicionamento acústico da sala “Estúdio Miramar”

### 12.7.3 Caracterização do Sistema de Escuta

As informações relevantes para a caracterização do sistema de escuta da sala “Estúdio Miramar”, estão disponíveis no Anexo 8 e Anexo 9. Abaixo ficam elencadas as características mais importantes para definir o tipo de sistemas de reprodução disponíveis e algumas das suas capacidades.

- Par de altifalantes: ATC SCM 110 ASL\*
  - Sistema de colunas tri-amplificado de três vias;
  - 2 x Bass Woofers de 9”
  - Mid Woofer de 3”
  - Tweeter de 1”
  - Bass Reflex (*front ported*)
  - Resposta em frequência: 65 Hz - 17 kHz ( $\pm 2$  dB)
  - Resposta em frequência: 32 Hz - 25 kHz (Frequências de corte)
  - \*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R
- 
- Subwoofer Amphion Flex Bass 25
  - Sistema de colunas amplificado de duas vias;
  - Woofers de 2x10”
  - Closed Box
  - Resposta em frequência: 20 Hz - 260 Hz ( $\pm 3$  dB)

\*Altifalantes designados doravante de MON L e MON R.

\*\*O Subwoofer é considerado uma extensão de MON L e MON R e como tal, parte integrante dos mesmos.

\*\*\*O sistema não contempla a utilização de recursos de *hardware/software* dedicados, com o objetivo de corrigir e/ou alterar a resposta do sistema e/ou otimizar a performance do binómio sistema eletroacústico/espço acústico.

- Distância entre SS e MON L/MON R: 2,10m
- Limite inferior da resposta de MON L/MON R: 70 Hz
- $Distância^2 = 4,41$
- $\frac{Comprimento\ de\ Onda^2}{36} = 0,67$

#### 12.7.4 Função de Resposta ao Impulso

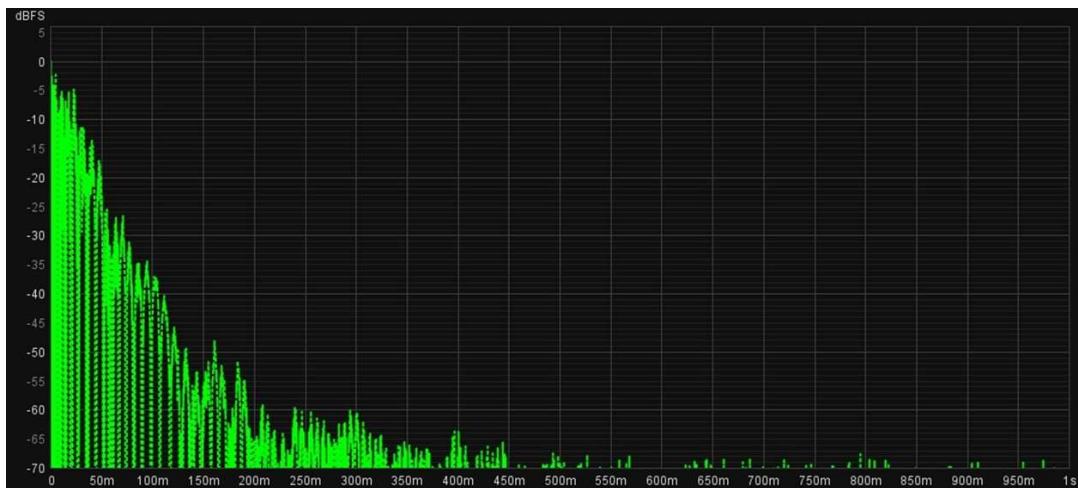


Figura 300 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição DODEC – SS na sala “Estúdio Miramar”

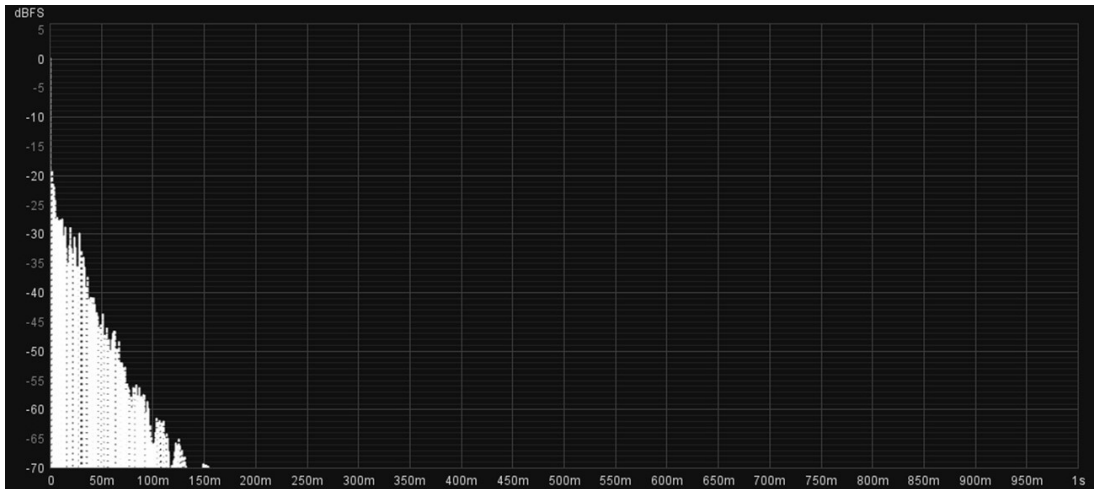


Figura 301- Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Estúdio Miramar”

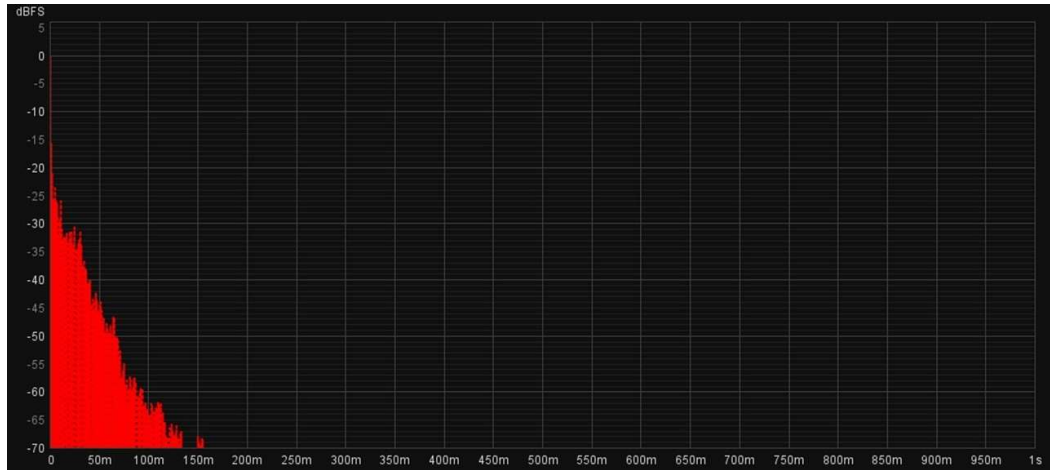


Figura 302 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS na sala “Estúdio Miramar”

A Figura 300, Figura 301 e Figura 302 apresentam graficamente a Função de Resposta ao Impulso das três fontes sonoras utilizadas (DODEC, MON L e MON R), para o ponto de medição SS.

### 12.7.5 Análise das Reflexões Especulares

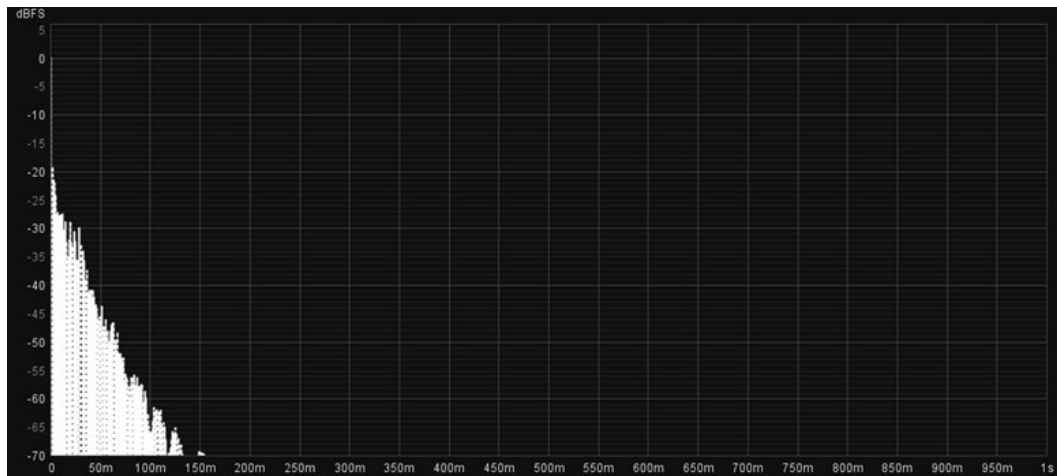


Figura 303 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar”

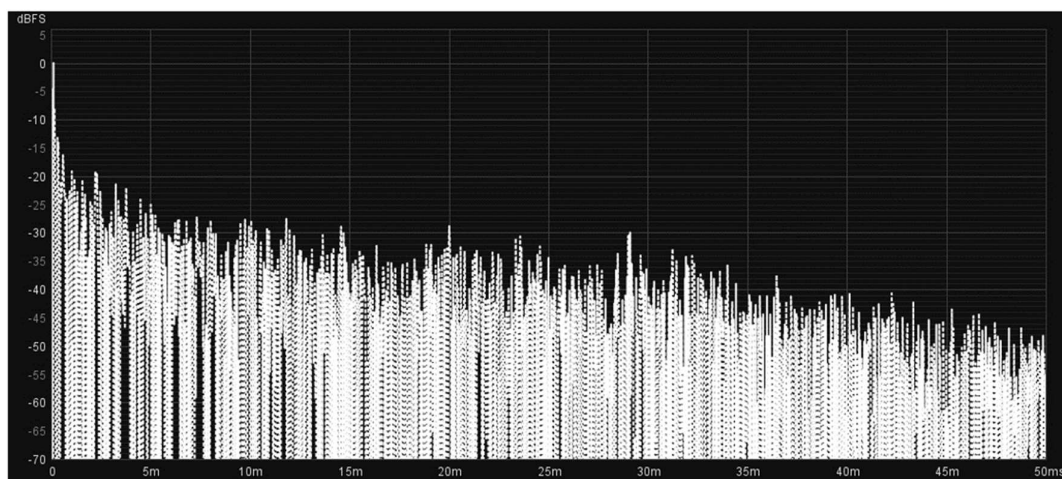


Figura 304 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar”

Analisando o par MON L – SS (Figura 303 e Figura 304) não se encontram conjuntos de reflexões, cuja energia se destaque em relação ao restante decaimento da energia acústica.

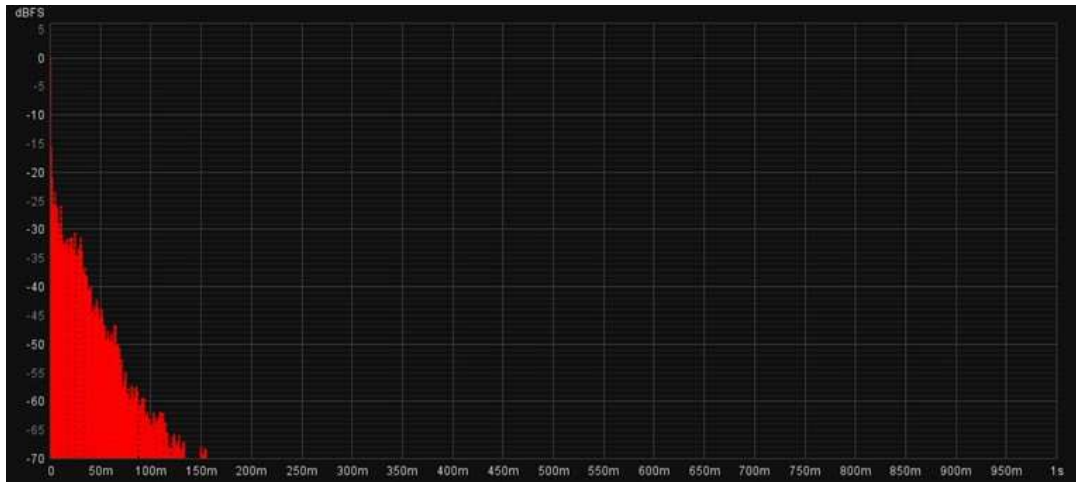


Figura 305 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar”

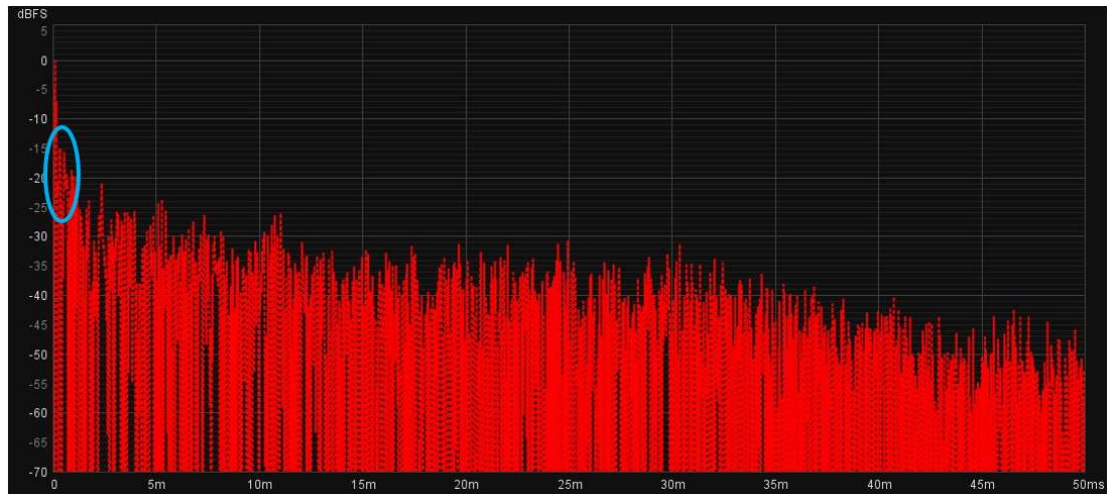


Figura 306 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar”

Analisando o par MON R – SS é (Figura 305 Figura 306) não se encontram conjuntos de reflexões especulares, cuja energia se destaque em relação ao restante decaimento da energia acústica. Apenas se pode destacar alguma energia, muito próxima ao impulso inicial, com energia igual ou inferior a - 12 dB. Estas diferenças em relação a MON L – SS, poderão ter origem em reflexões causadas pelos mobiliário e equipamentos dispostos no espaço.

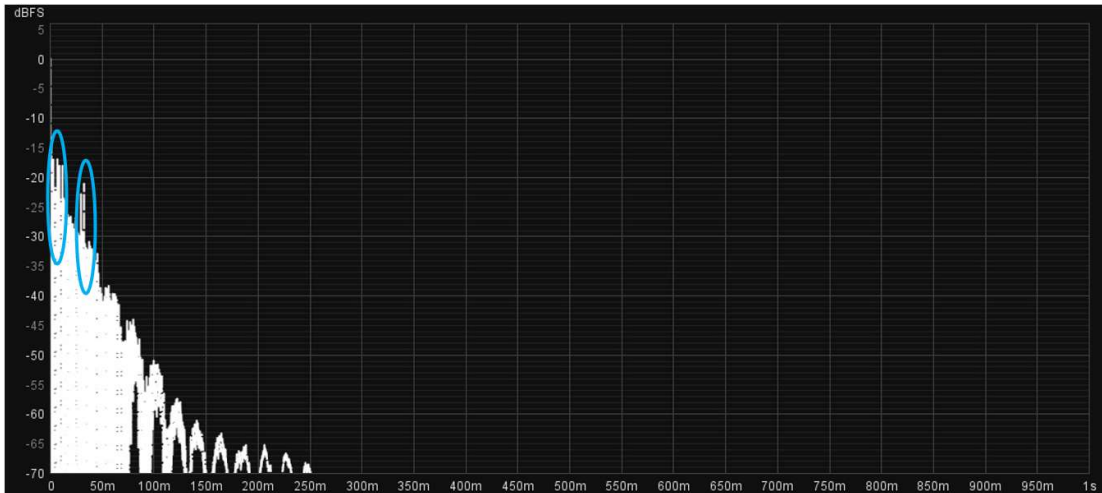


Figura 307 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento total, na sala “Estúdio Miramar”

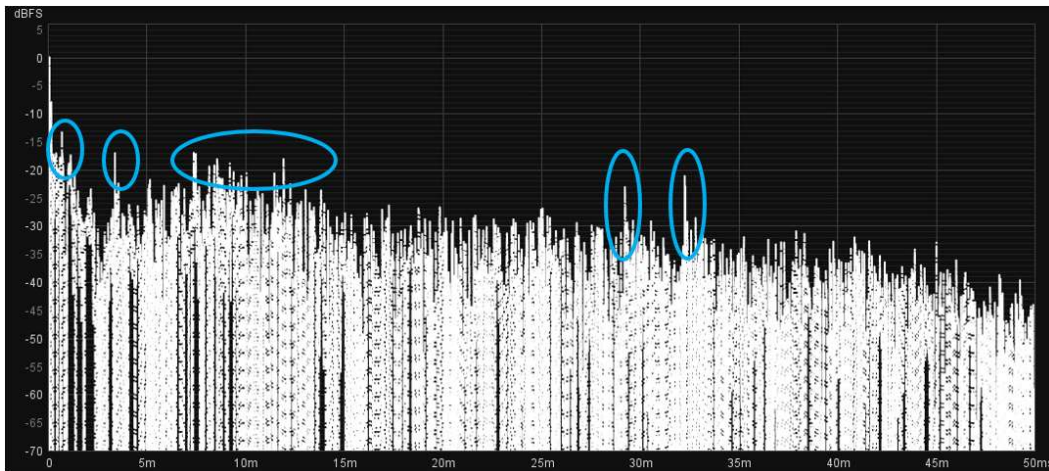


Figura 308 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – BACK, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar”

Uma análise das reflexões especulares no par MON L – BACK permite identificar um comportamento com algumas diferenças em relação ao ponto SS. As reflexões identificadas na Figura 308, tem cerca de -12 dB a -16 dB de energia em relação ao impulso inicial, concentrando-se nos intervalos entre 1 ms a 2 ms, 7 ms a 12 ms e 19 ms a 33 ms. É possível aferir que o ponto de medição SS (ponto preferencial de escuta) apresenta um maior grau de otimização no que toca à ausência de reflexões especulares, quando comparado com MON L – BACK. Também é de assinalar que existe uma “nuvem”, com elementos de acondicionamento acústico, suspensa sobre o ponto de escuta (SS), que não se estende até ao fundo da sala, onde se localiza o ponto de medição BACK, o que pode indicar que existem

reflexões provenientes da superfície do teto no ponto de medição BACK, que são eliminadas no ponto SS.

### 12.7.6 Initial Time Delay Gap (ITDG)

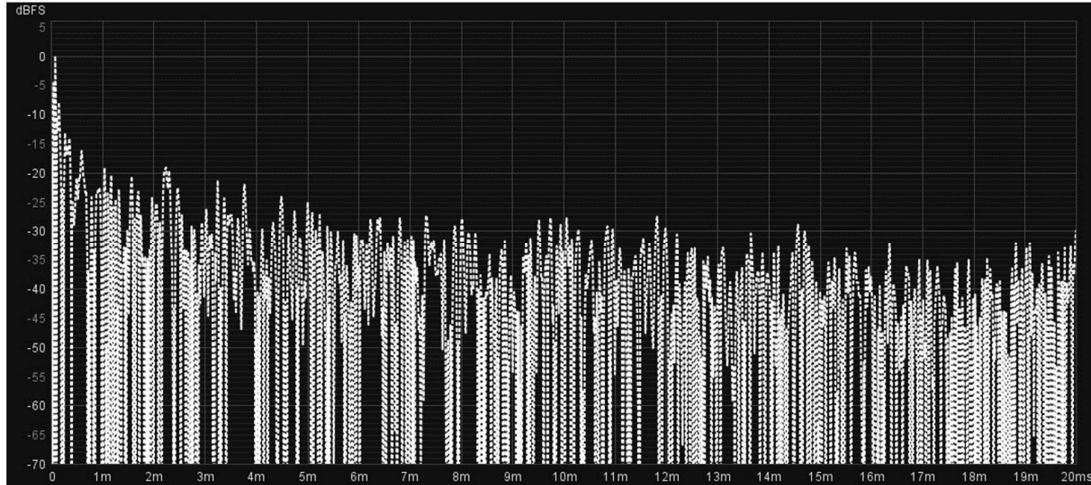


Figura 309 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON L – SS, para o decaimento inicial, na sala “Estúdio Miramar”

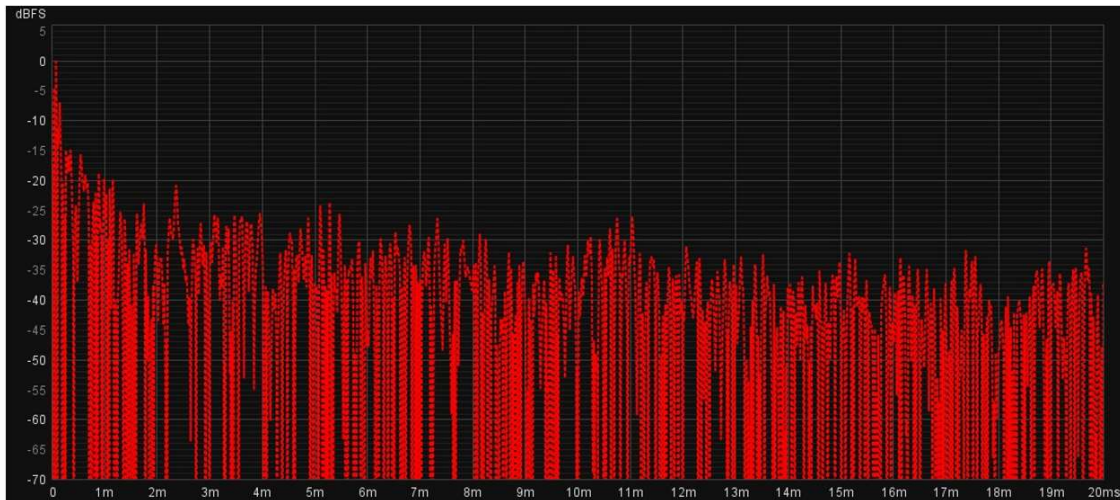


Figura 310 - Função de resposta ao impulso do par Fonte Sonora/Posição de Medição MON R – SS, nos primeiros 100 ms, na sala “Estúdio Miramar”

Na Figura 309 e Figura 310 não é possível identificar de forma clara energia acústica, próxima ao impulso inicial, que se destaque do normal decaimento da energia acústica.

### 12.7.7 Análise Modal

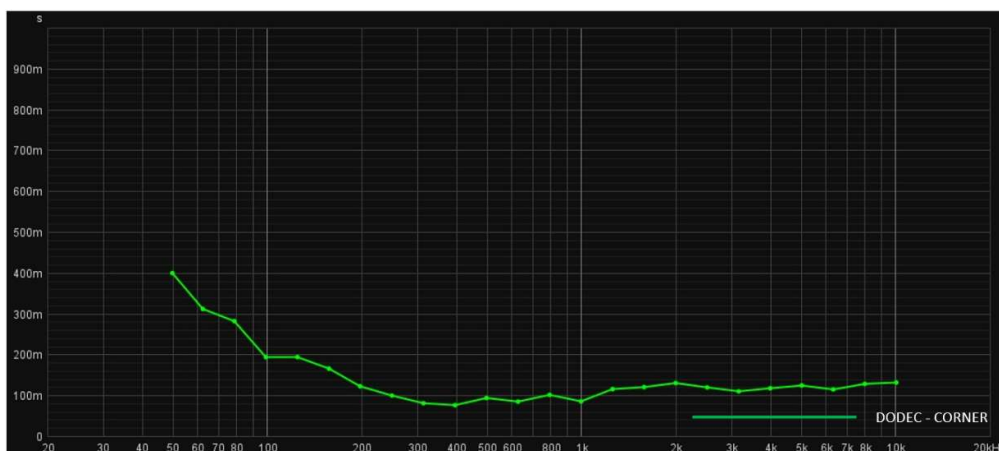


Figura 311 – Gráfico de T30 em bandas de 1/3 de oitava no par DODEC-CORNER para a sala “Estúdio Miramar”

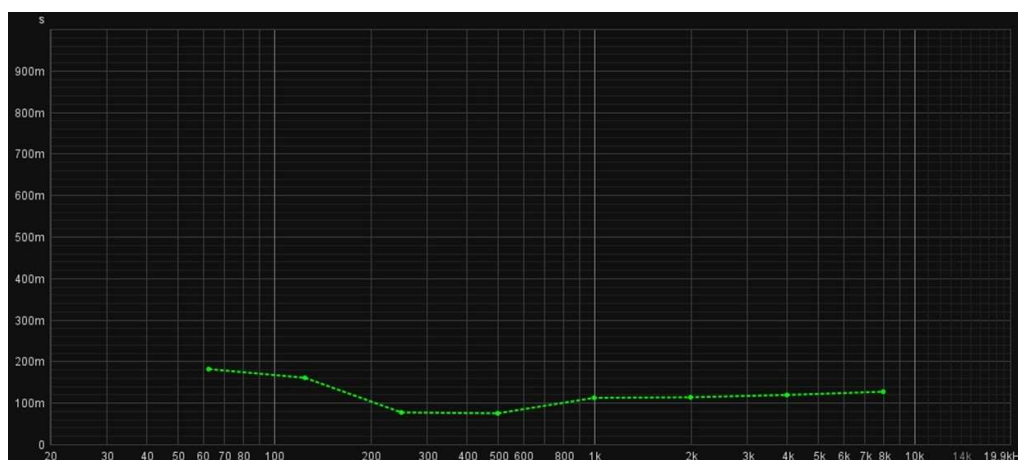


Figura 312 - Gráfico de T30 em bandas de oitava no par DODEC-SS para a sala “Estúdio Miramar”

A Figura 311 e Figura 312 representam a T30 para o par DODEC – CORNER, em bandas de 1/3 de oitava e para o DODEC – SS, em bandas de oitava. O aumento verificável nas gamas de frequências abaixo de 125 Hz poderá antecipar problemas na região modal, além de um *Bass Ratio* acima de 1, como será abordado no capítulo 14.5.9.

Frequência de Não-Suporte (considerando as dimensões estruturais):	30 Hz
Frequência de (considerando o valor médio de T30 derivado da medição DODEC – SS (0,123 seg.) e as dimensões limitadas pelas paredes estruturais)	83 Hz
Região Difração/Difusão – Região Especular	1565 Hz

Tabela 21 - Frequências calculadas para a transição entre regiões de comportamento acústico para a sala “Estúdio Miramar”

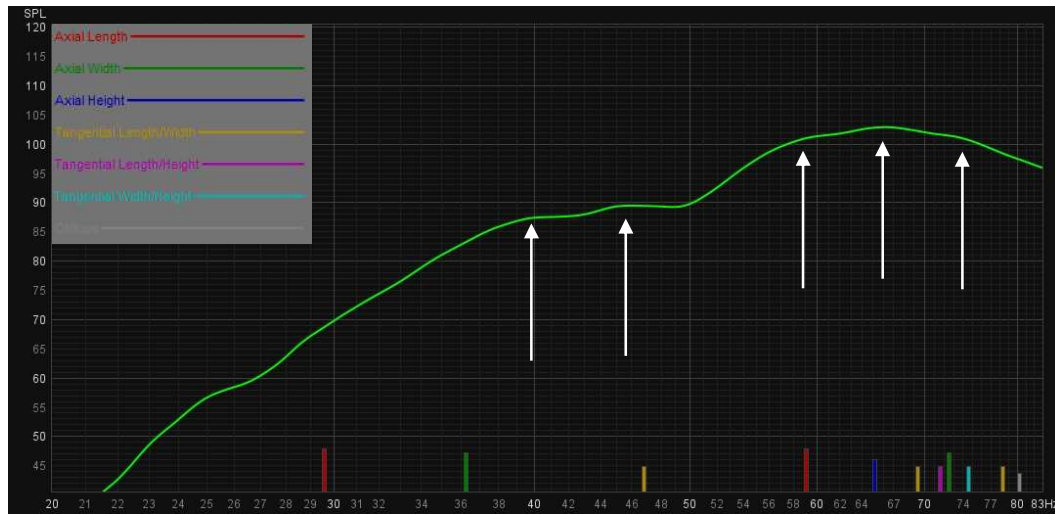


Figura 313 – Análise da atividade modal, utilizando o conjunto DODEC-CORNER, para a sala “Estúdio Miramar”

Na Figura 313, está apresentada a medição DODEC – CORNER, delimitada entre os 20 Hz e os 83 Hz, ou seja, o limite mínimo da gama audível e a frequência de Schroeder calculada para o espaço. A análise do gráfico (Figura 313), não deixa evidentes pontos de pressão óbvios, no entanto estão assinalados, no gráfico, pequenas inflexões que podem ser resultado de atividade modal na sala. Esta análise coloca em evidência a eficácia das soluções de acondicionamento em reduzir a atividade modal da sala.

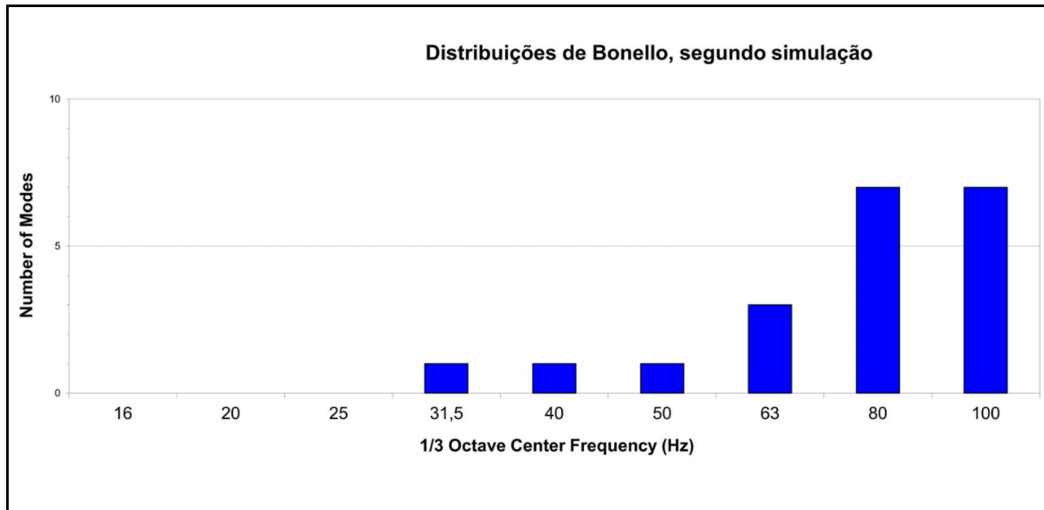


Figura 314 – Modelo teórico das Distribuições de Bonello, segundo modelo criado por John H. Brandt para a sala “Estúdio Miramar”, considerando as dimensões de 5,80 m x 4,73 m x 2,63 m

A Figura 314 apresenta um cálculo das Distribuições de Bonello, considerando as dimensões apresentadas na legenda da figura. Segundo o critério das Distribuições de Bonello, as dimensões da sala são favoráveis a uma distribuição modal com regiões de pouca “coloração”, uma vez que cada banda tem um número superior, ou pelo menos igual de modos associados em relação à banda anterior.

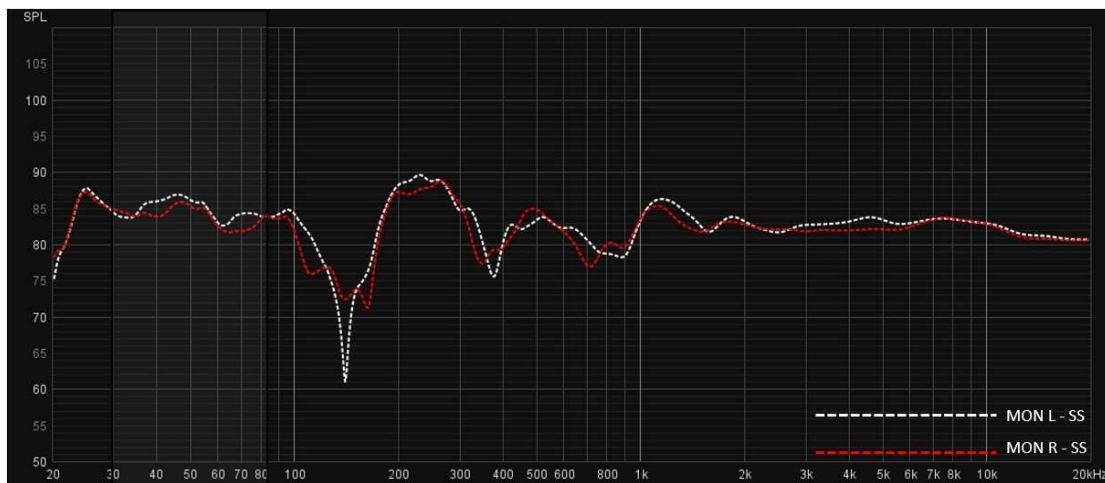


Figura 315 - Análise do impacto da atividade modal, na resposta em frequência dos altifalantes da sala, no Sweet Spot, para a sala “Estúdio Miramar”

A Figura 225 apresenta a sobreposição da resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS. Como é possível verificar, a resposta é bastante similar entre os dois. A área destacada trata-se da região modal calculada para o espaço, sendo que os picos e vales

são próximos e similares. Este elevado grau de coincidência conduz à conclusão de que não é necessária a avaliação das fontes MON L e MON R, em todas as circunstâncias, dada a similaridade entre os resultados obtidos.

É possível também identificar um corte, centrado nos 140 Hz, não sendo possível identificar a causa do mesmo.



Figura 316 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência das restantes fontes no ponto SS, para a sala “Estúdio Miramar”

A atividade modal ténue identificada na Figura 316 coincide com um pequeno vale na resposta frequência do par MON L – SS e outro no par MON R – SS, o que pode indicar que, apesar da influência da atividade modal estar maioritariamente eliminada, esta pode ainda afetar a resposta da sala, ainda que de forma menos dramática.

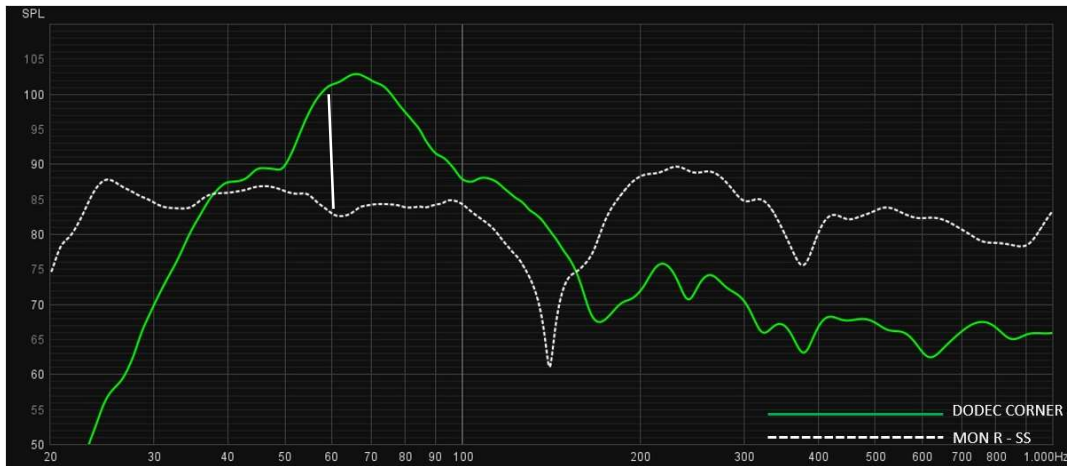


Figura 317 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência no par MON L – SS, para a sala “Estúdio Miramar”

Mais uma vez, na Figura 317, é possível verificar que um ponto de pressão medido em DODEC – CORNER, coincide com um pequeno vale na resposta de MON L – SS.

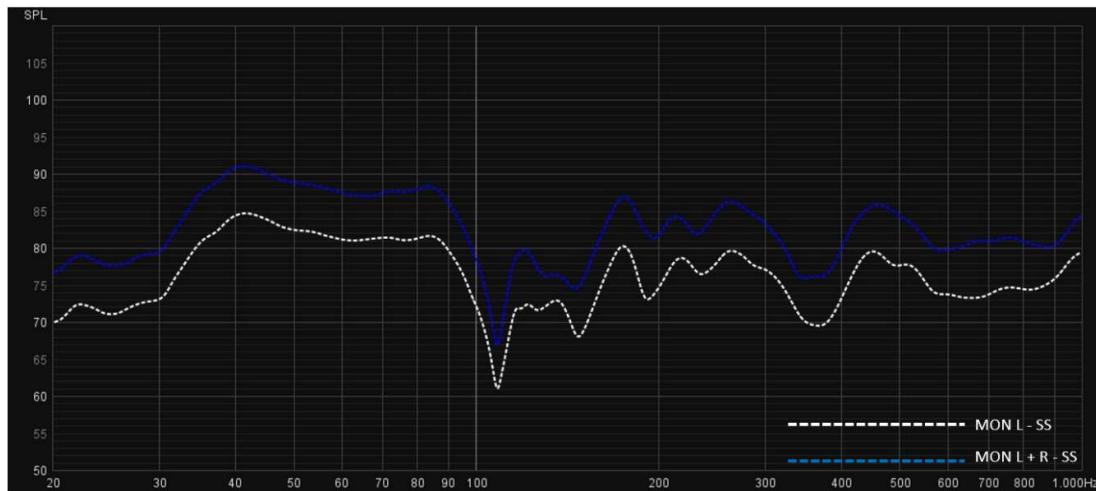


Figura 318 - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Estúdio Miramar”

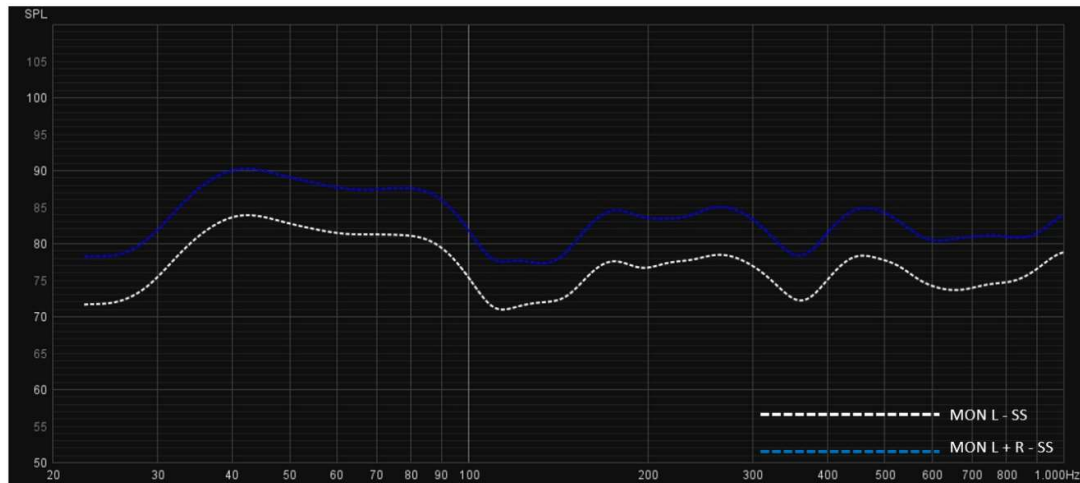


Figura 319 - - Comparação entre a resposta em frequência do conjunto MON L+R, com *smoothing* de 1 1/3 de oitava, com a fonte MON L na posição SS, para a sala “Estúdio Miramar”

A Figura 318 e Figura 319 apresentam comparações entre as respostas em frequência de MON L – SS e MON L +R – SS, com a Figura 43 a apresentar um *smoothing* de 1/3 de oitava. Esta comparação demonstra que a combinação dos dois altifalantes não resulta numa alteração significativa da resposta do sistema, no ponto de escuta preferencial (SS), manifestando-se apenas com um aumento da amplitude da resposta e diferenças muito ténues.

### 12.7.8 Análise da Reflexão do Chão

Aplicando a Equação 24, Equação 25 e Equação 26 pode-se determinar que, teoricamente a reflexão do chão terá os seus primeiros pico e cancelamento nas seguintes frequências:

- $f = 214$  Hz (primeiro pico);
- $f/2 = 107$  Hz (1º cancelamento).

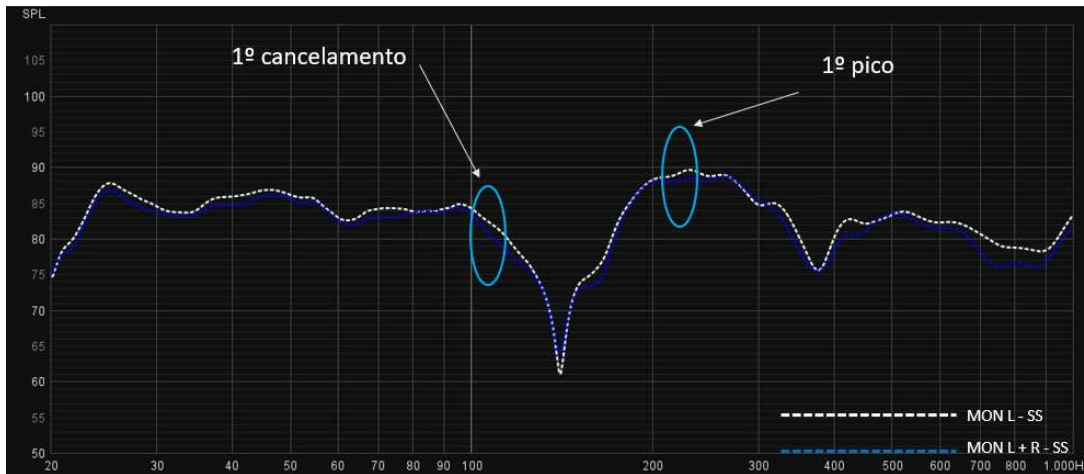


Figura 320 – Cancelamento detetado nas medições MON L – SS e MON L+R - SS, que, contrariamente ao expectável, não está localizado na região coincidente com as frequências calculadas para o cancelamento provocado pela reflexão do chão, na posição de escuta e trabalho preferencial

Na Figura 320 estão identificadas as frequências calculadas para os primeiros cancelamento e pico. No entanto, não foi encontrada coincidência entre os valores medidos e os valores calculados.

Não se identificam no gráfico regiões que possam estar associadas ao comportamento normalmente causada pela interação entre o som direto e o som refletido no ponto de escuta.

Não foi possível encontrar uma justificação para o vale, centrado nos 140 Hz, na reposta em frequência, com a atividade modal medida até aos 83 Hz ou com o cancelamento causado pela reflexão do chão.

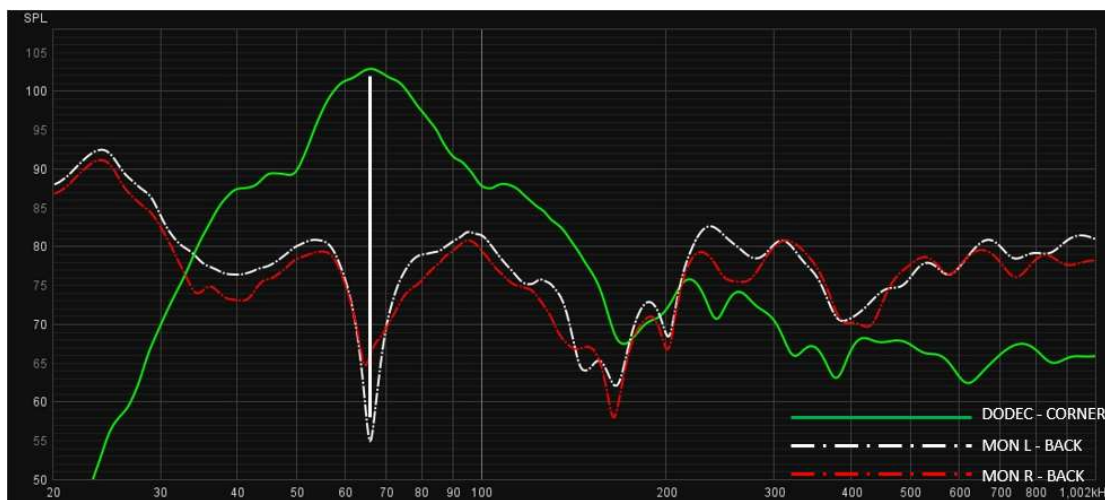


Figura 321 - Comparação entre pontos de pressão no par DODEC-SS e irregularidades na resposta em frequência dos pares MON L – BACK e MON R - BACK, para a sala “Estúdio Miramar”

O cancelamento detetado aos 140 Hz, no ponto de medição SS, e que é especialmente profundo para a fonte MON L, não é visível na análise dos pares MON L – BACK e MON R – SS. No entanto, analisando a o gráfico Figura 322, pode-se verificar que existe um cancelamento com características muito similares centrado na frequência de 66 Hz. Para a mesma frequência, é possível visualizar um ponto de pressão no ponto DODEC – SS, o que sugere que os cancelamentos em análise têm origem em atividade modal, que para a posição SS se manifesta em torno da frequência de 140 Hz; na posição BACK em torno dos 66 Hz. O facto de os pontos SS e BACK manterem a distância paredes laterais pode ser um fator que exclua modos axiais de largura, uma vez que se esta fosse a causa, sem alterar a distância às paredes laterais, o modo em questão manifestar-se-ia na mesma frequência, também como um vale na resposta em frequência. Os cancelamentos detetados em SS e BACK podem então estar relacionados com atividade modal associada às dimensões de comprimento e/ou altura, não existindo dados suficientes para identificar a causa concreta.

### 12.7.9 Tempo de Reverberação, Análise do Decaimento e Tempo de Decaimento Inicial [*Early Decay Time (EDT)*]

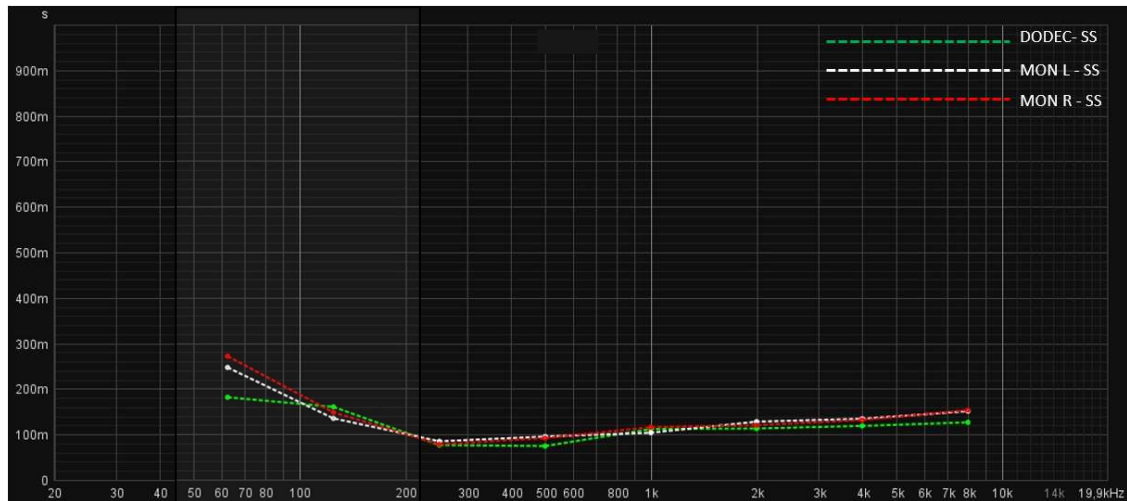


Figura 322 - Gráfico de T30 para o ponto SS e as fontes MON L, MON R, e DODEC, na sala "Estúdio Miramar"

A análise da Figura 322, que apresenta o T30 dos pares MON L – SS, MON R – SS e DODEC – SS, permite identificar uma região, abaixo dos 250 Hz, na qual se verifica um aumento do tempo de reverberação.

A comparação dos tempos de decaimento, por banda de 1/3 de oitava, também permite concluir que, para o ponto SS, o comportamento do decaimento é similar quando o espaço é excitado recorrendo a qualquer uma das três fontes sonoras disponíveis (MON L, MON R e DODEC).

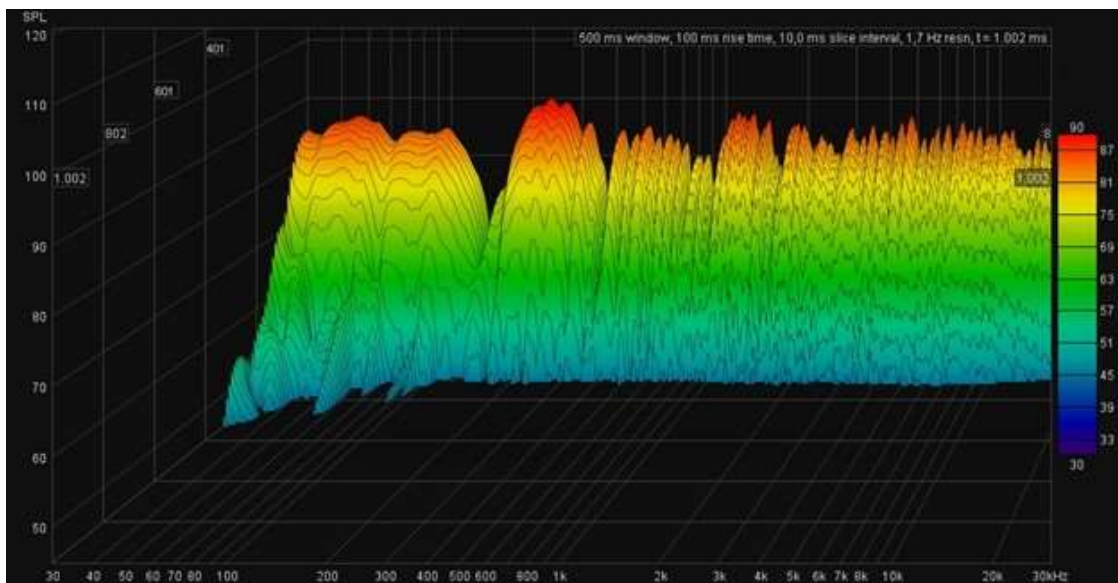


Figura 323 – Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – SS, na sala “Estúdio Miramar”

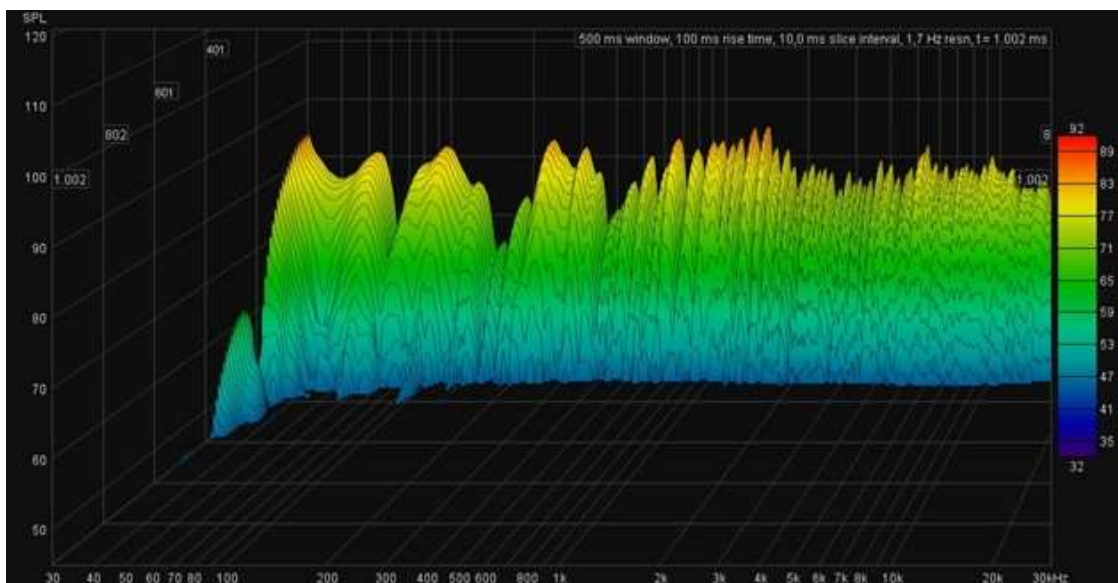


Figura 324 - Gráfico *Waterfall* do decaimento no par MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

Comparando os decaimentos de MON L - SS (Figura 323) e MON L - BACK (Figura 324), também se conclui que o comportamento dos decaimentos é similar.

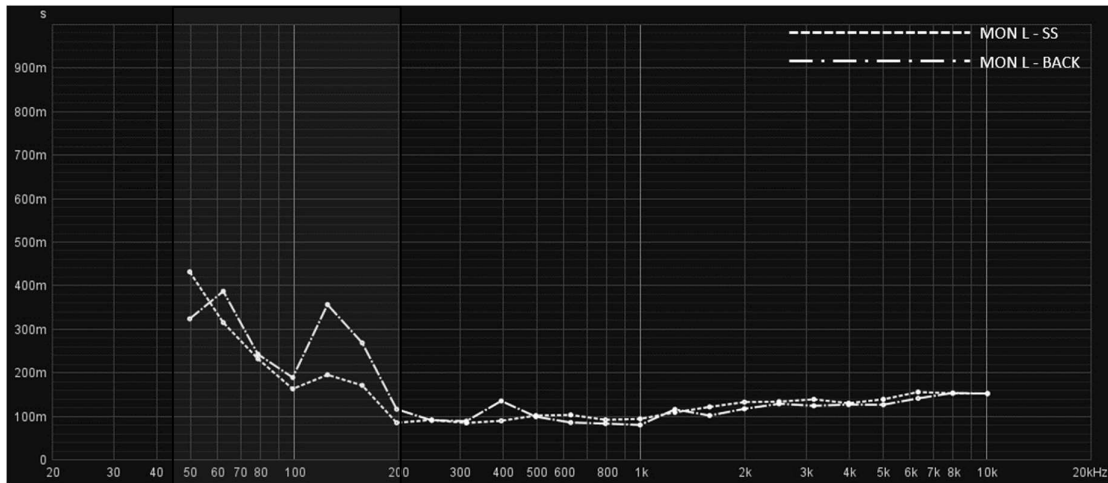


Figura 325 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “Estúdio Miramar”

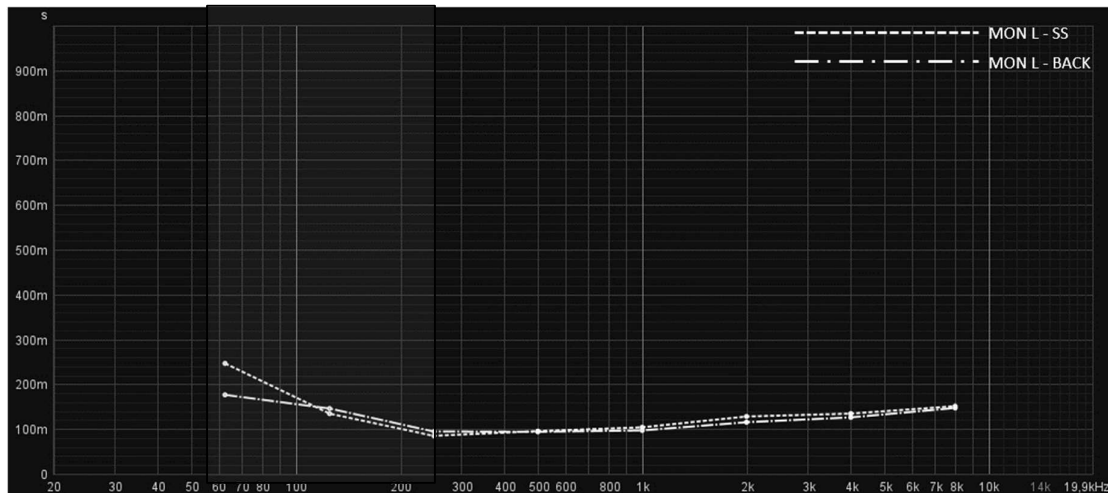


Figura 326 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L - BACK, na sala “Estúdio Miramar”

A Figura 325 e Figura 326 confirmam o ponto anterior, de que a gama de frequências mais baixas tem um decaimento mais longo, no entanto, o comportamento é similar ao longo de todo o espectro.

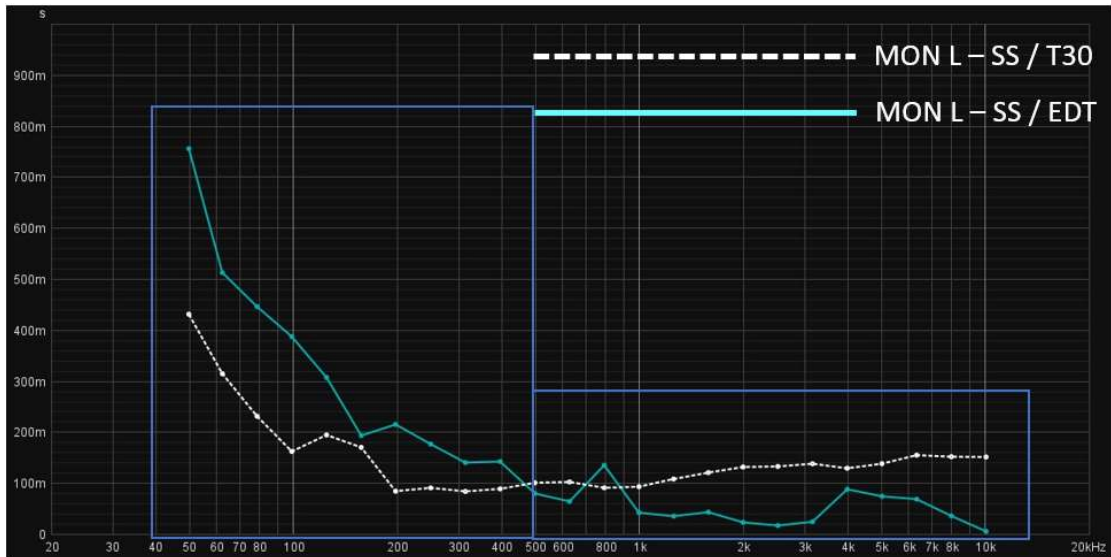


Figura 327 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava MON L - SS, na sala “Estúdio Miramar”

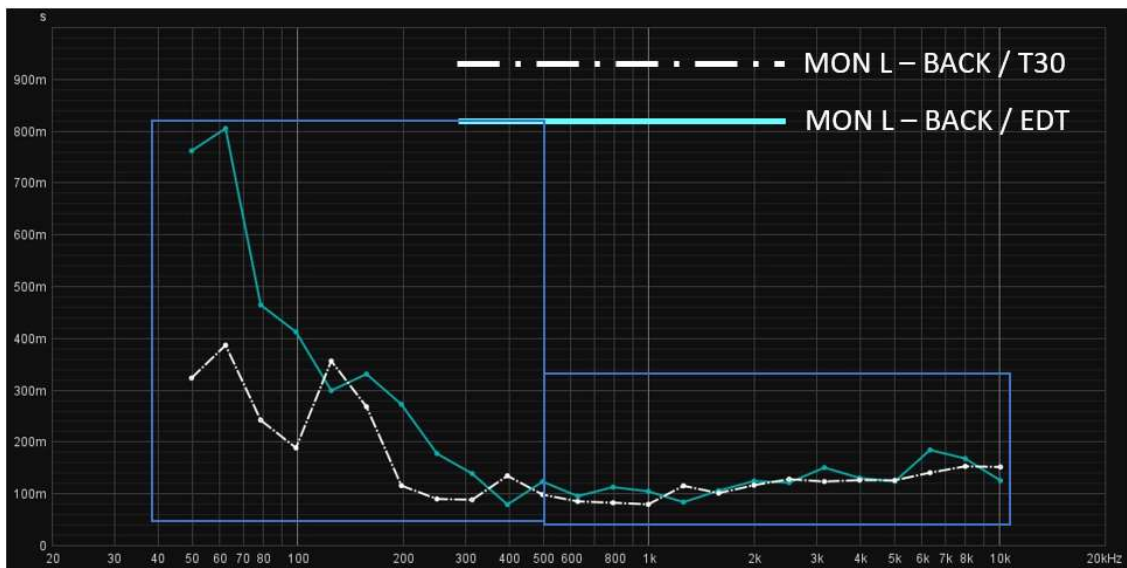


Figura 328 - T30 e EDT em bandas de 1/3 de oitava para MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

A análise da Figura 327 (MON L – SS) permite identificar duas regiões distintas, no que diz respeito ao comportamento do T30 comparado com EDT. Na região abaixo dos 500 Hz o EDT é superior ao T30, o que indica que o decaimento desta região frequencial (grave, médio-grave) é mais lento nos instantes iniciais, acelerando posteriormente. A gama de frequências acima de 500 Hz apresenta valores para EDT tendencialmente inferiores a T30, o que indica a energia reverberante está mais concentrada na etapa mais tardia do decaimento (após os primeiros 10 ms).

O par MON L – BACK (Figura 328) apresenta um comportamento muito similar a MON L – SS, com os valores de EDT tendencialmente mais próximos de T30 na região aguda. Pode-se concluir, pela análise da Figura 326, Figura 327 e Figura 328 que o comportamento do decaimento é similar para as posições SS e BACK, com exceção no diferencial entre os valores medidos para EDT e T30, acima dos 500 Hz.

### 12.7.10 Bass Ratio

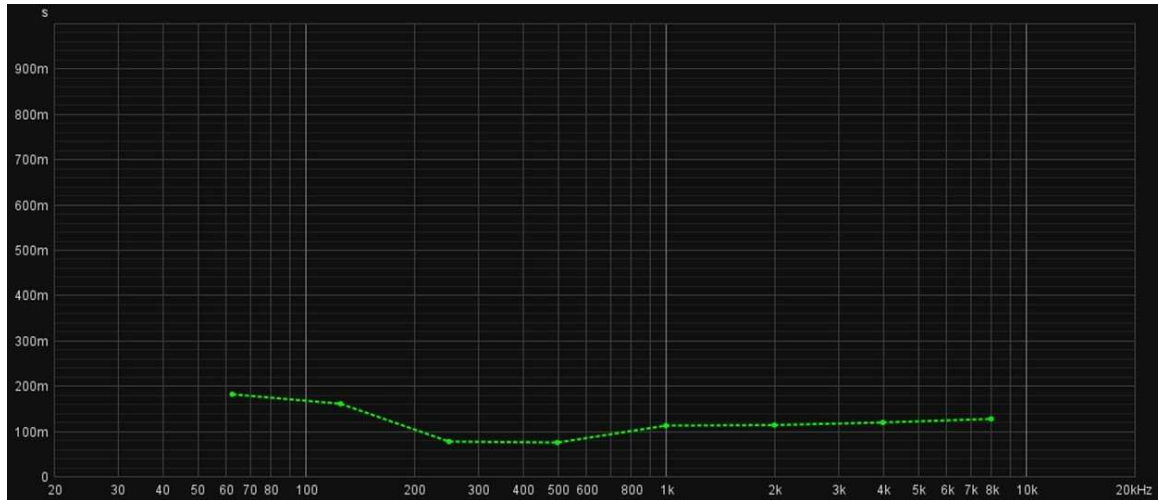


Figura 329 - T30 em bandas de oitava para o par DODEC - SS, na sala “Estúdio Miramar”

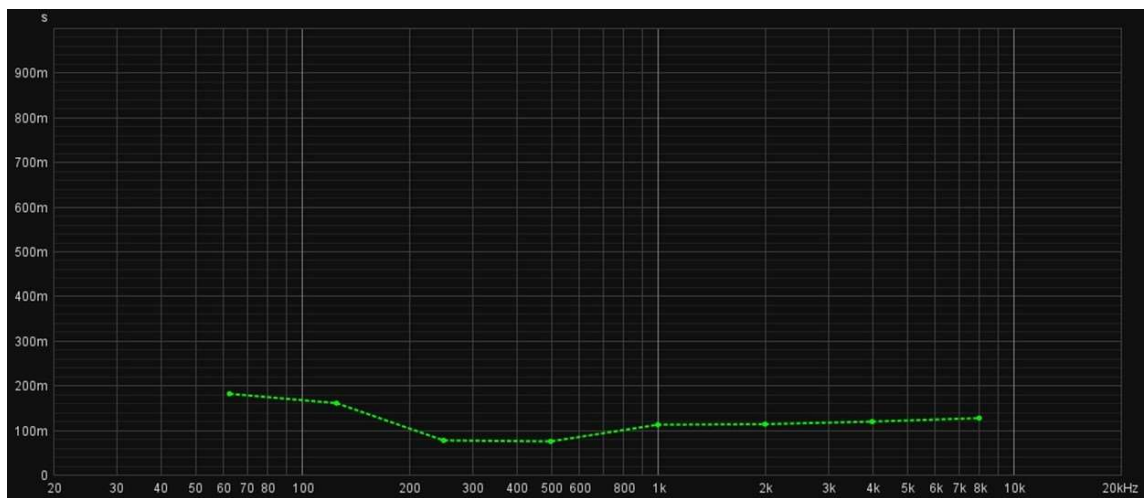


Figura 330 - T30 em bandas de oitava para os pares MON L- SS e MON R SS, na sala “Estúdio Miramar”

O cálculo do *Bass Ratio*, segundo a Equação 14, para os pares DODEC – SS e MON L – BACK apresenta os seguintes resultados:

- *Bass Ratio* – DODEC - SS = 1,38
- *Bass Ratio* – MON L - BACK = 1,36

A consulta da Figura 330 permite verificar, para o par DODEC – SS, o aumento do tempo de reverberação nas bandas de oitava de 125 Hz e 63 Hz, quando comparadas com o restante espectro.

Os tempos de reverberação nas bandas de oitava de 1000 Hz, 125 Hz e 63 Hz são os seguintes:

- 1000 Hz – RT60 = 0,112 seg.
- 125 Hz – RT60 = 0.160 seg.
- 63 Hz – RT60 = 0,181 seg.

Os valores de reverberação apresentados acima em segundos, representam os seguintes aumentos em valores percentuais:

- 125 Hz + 43% RT (comparado com 1000 Hz);
- 63 Hz + 61% RT (comparado com 1000 Hz).

### 12.7.11 Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

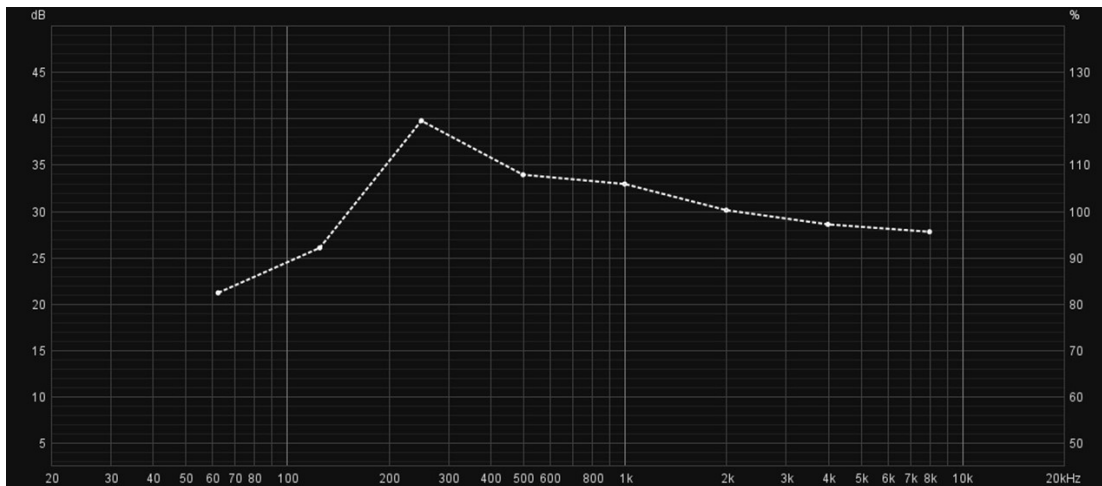


Figura 331 – Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -SS, para a sala “Estúdio Miramar”

Os valores de C50, apresentados na Figura 331, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 31,39 dB, para o par MON L – SS. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro.

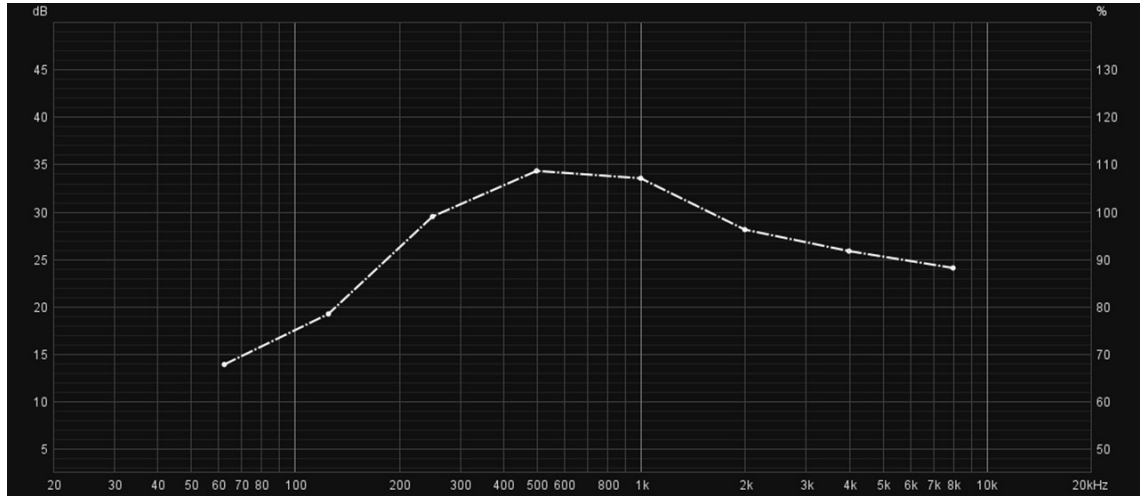


Figura 332 - Gráfico de C50 em bandas de oitava, para o par MON L -BACK, para a sala “Estúdio Miramar”

Os valores de C50, apresentados na Figura 331, e considerando as bandas de oitava de 500 Hz até 4000 Hz, conforme recomendado na literatura consultada, resultam numa média de 30,46 dB, para o par MON L – SS. Os valores mantêm-se acima do valor de 9,63 dB sugerido no capítulo 6.5, em todo o espectro. A análise dos valores de C50 nos pares MON L – SS e MON L – BACK apresenta resultados similares, na sua distribuição por bandas de frequência com a posição BACK apresentar valores ligeiramente mais baixos.

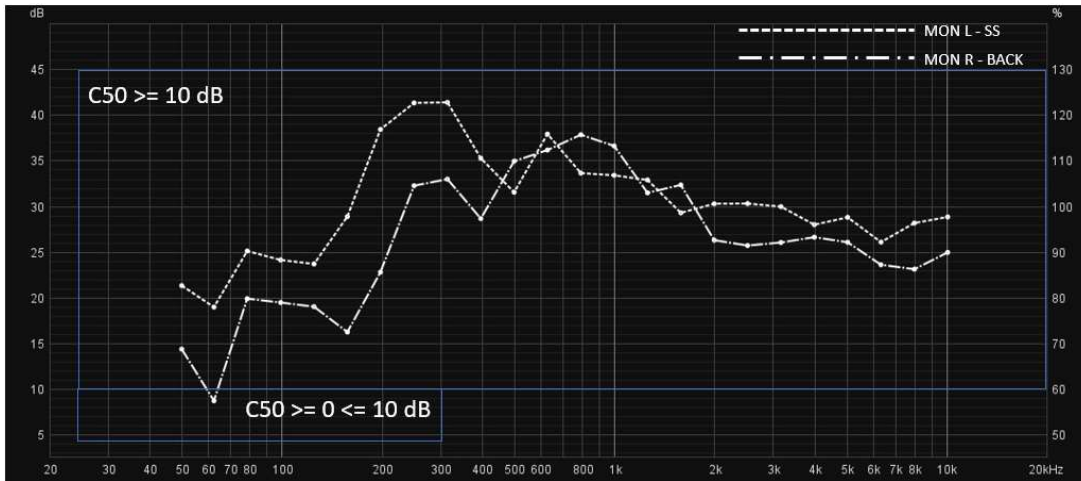


Figura 333 - C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

A Figura 332 permita comparar os valores de C50 em bandas de 1/3 de oitava. Conclui se que os resultados são similares, sobretudo acima da dos 500 Hz. Abaixo dos 500 Hz os valores de C50 são mais altos na posição SS. Apenas a banda de 1/3 de oitava de 63 Hz, correspondente ao par MON L – BACK apresenta um resultado inferior a 10 dB.

### 12.7.12 Relação entre T30 e Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

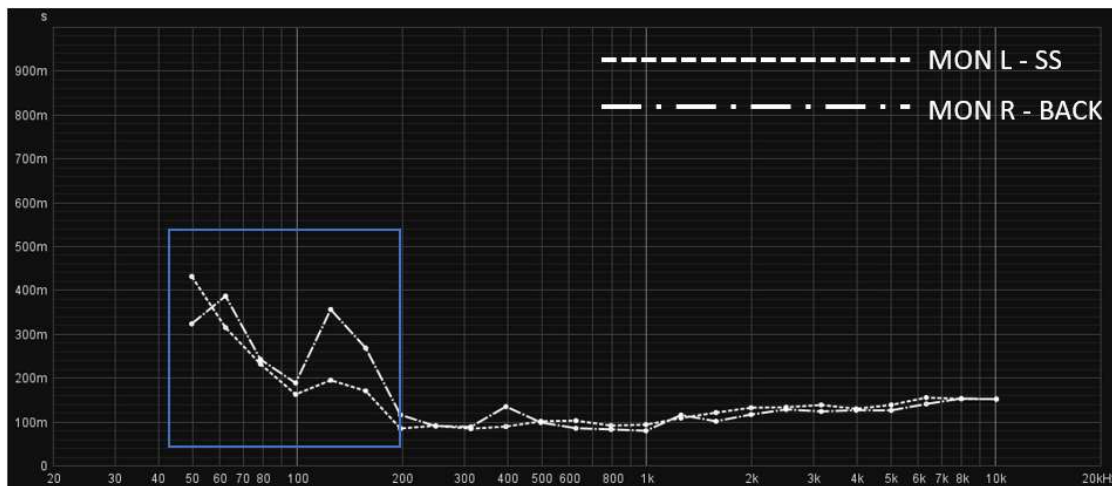


Figura 334 - T30 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

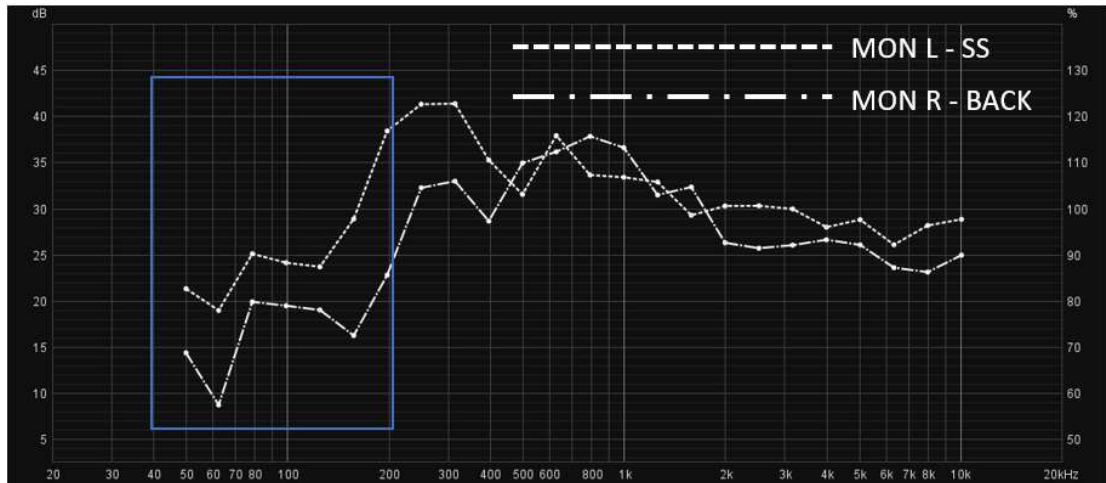


Figura 335 – C50 em bandas de 1/3 de oitava para os pares MON L - SS e MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

Consultando a Figura 333 e Figura 334, é possível verificar que região abaixo da banda de 1/3 de oitava de 200 Hz o aumento do T30, tem uma relação direta com a diminuição do parâmetro C50. O aumento do tempo de decaimento diminui o índice de clareza da sala, na região grave

### 12.7.13 Resposta em Frequência

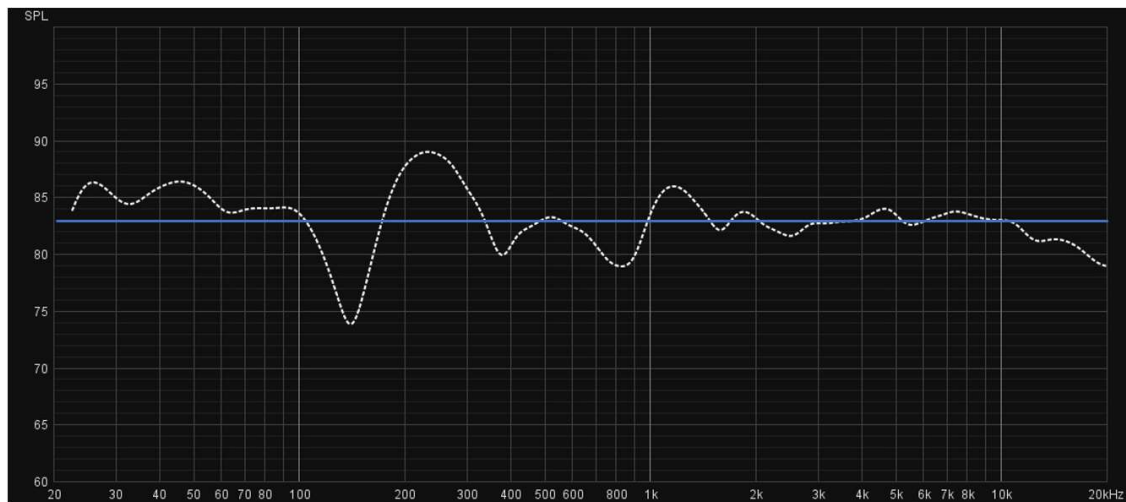


Figura 336 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – SS, na sala “Estúdio Miramar”

A resposta em frequência apresentada na Figura 335, para o par MON L – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 83,09 dB
- Desvio Médio Absoluto: 1,88 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 5,71 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,61 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 5,69 dB

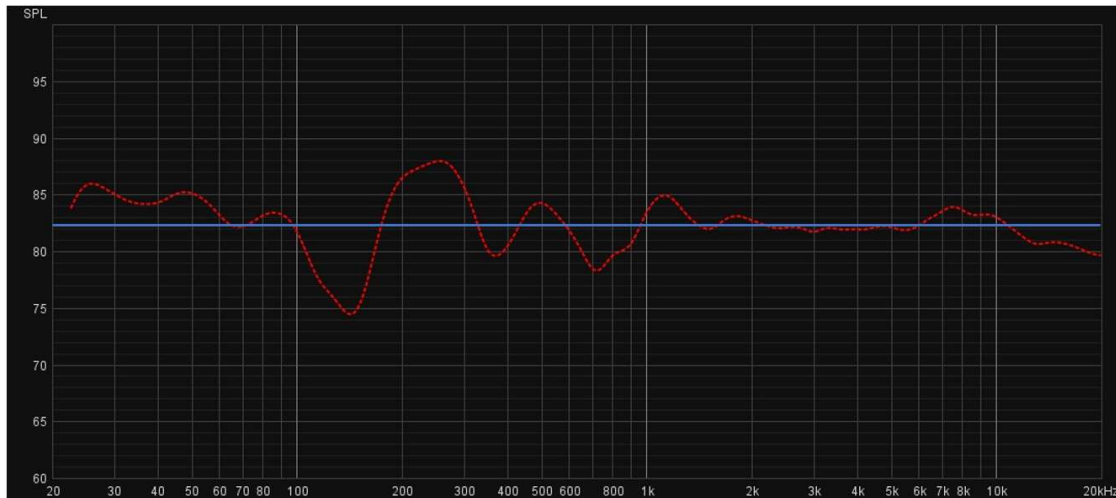


Figura 337 – Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – SS, na sala “Estúdio Miramar”

A resposta em frequência apresentada na Figura 336, para o par MON R – SS, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 76,77 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,34 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 7,93 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,14 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,73 dB

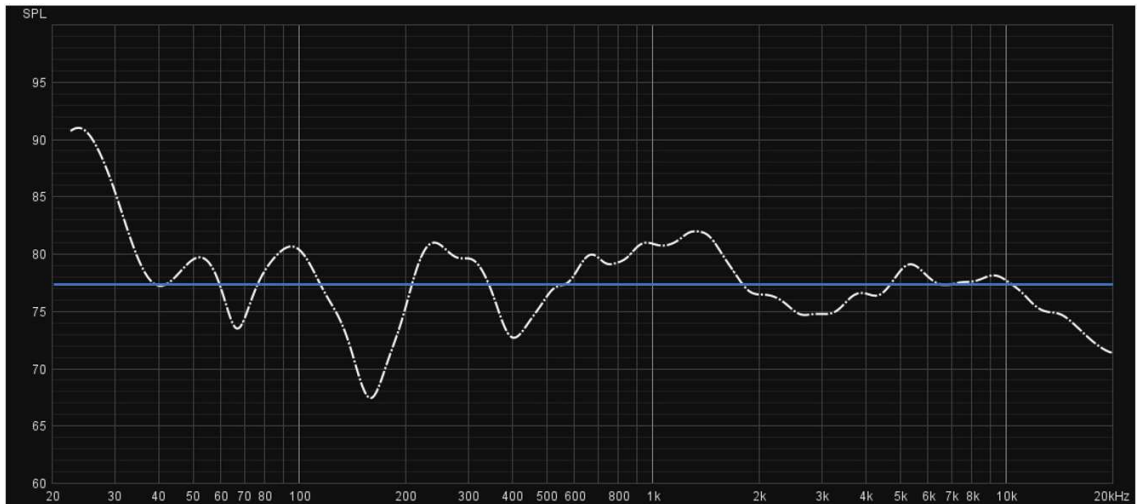


Figura 338 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON L – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

A resposta em frequência apresentada na Figura 337, para o par MON L – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 77,54 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,89 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 13,16 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 2,35 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 5,13 dB

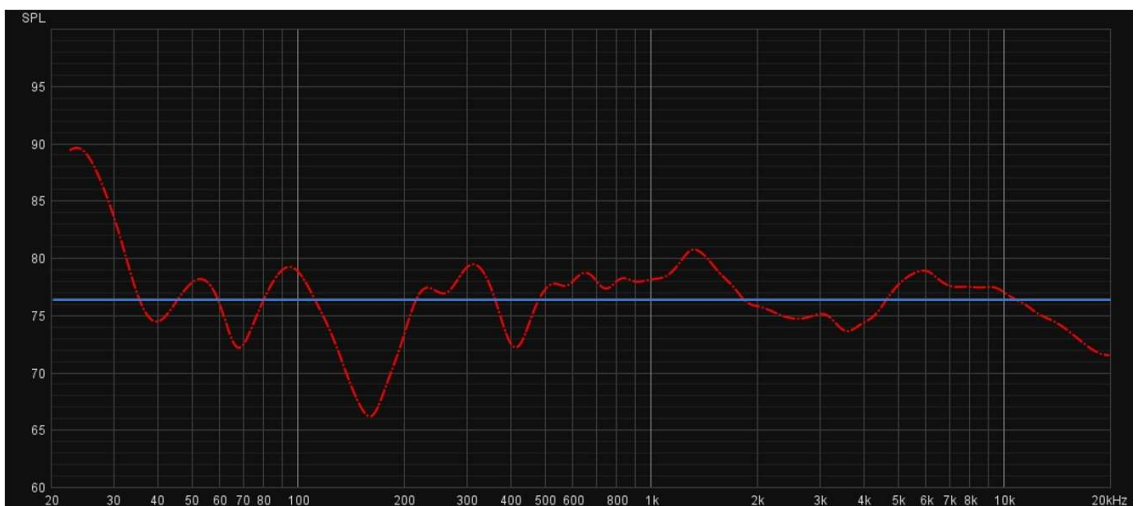


Figura 339 - Resposta em frequência, com *smoothing* em bandas de 1/3 de oitava, para o par MON R – BACK, na sala “Estúdio Miramar”

A resposta em frequência apresentada na Figura 338, para o par MON R – BACK, apresenta as seguintes características:

- Linha de tendência: 76,50 dB
- Desvio Médio Absoluto: 2,74 dB
- Desvio Máximo Absoluto): 12,70 dB
- Desvio Médio Absoluto (250Hz - 4000Hz): 1,84 dB
- Desvio Máximo Absoluto (250Hz - 4000Hz): 4,27 d

## 13. Análise Comparativa Entre Espaços

### 13.1 Comparação de Características Geométricas e Dimensionais

#### 13.1.1 Áreas Brutas e Úteis

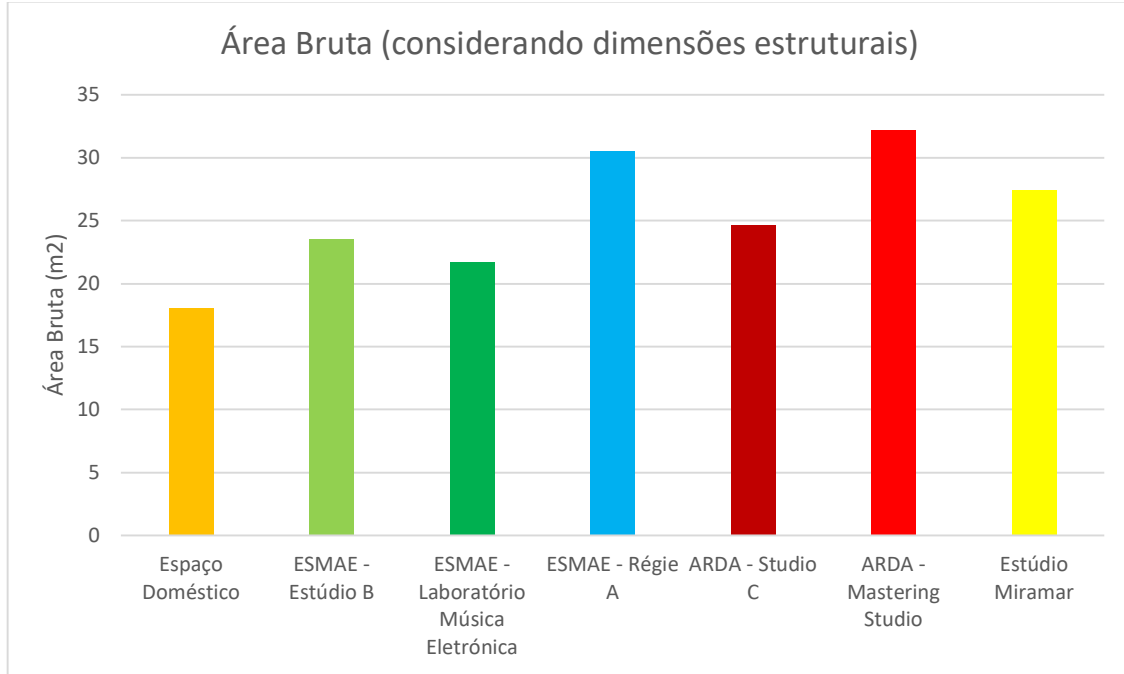


Figura 340 – Gráfico comparativo de áreas brutas das salas estudadas

Todos os estúdios profissionais têm uma área de planta, considerando as dimensões estruturais, superior a 24m<sup>2</sup>.

O espaço “ARDA – Mastering Studio” tem uma área de cerca de 32m<sup>2</sup>, o que permitiu uma intervenção acústica sem compromissos, possibilitando também colocar o ponto de escuta preferencial a uma distância que não seja demasiado próxima dos altifalantes. A grande área disponível também permite a criação/existência de um campo reverberante cuja distribuição da energia é constante ao longo do tempo (decaimento) e ao longo do espectro, conforme é possível confirmar com valores de *Bass Ratio* e *C50*.

A sala “ESMAE – Régie A” não sendo um estúdio profissional, tem uma área de planta similar aos espaços profissionais, no entanto, como será possível comprovar, o comportamento acústico do espaço é bastante diferente, quando comparado com os mesmos.

A sala “Espaço Doméstico” é o espaço com menor área disponível, o que tem implicações no comportamento modal, além de ser um fator limitador para uma hipotética intervenção de melhoramento do acondicionamento acústico.

Os espaços “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Criação” têm áreas cujas dimensões se encontram entre as dimensões dos espaços de utilização profissional e o “Espaço Doméstico”.

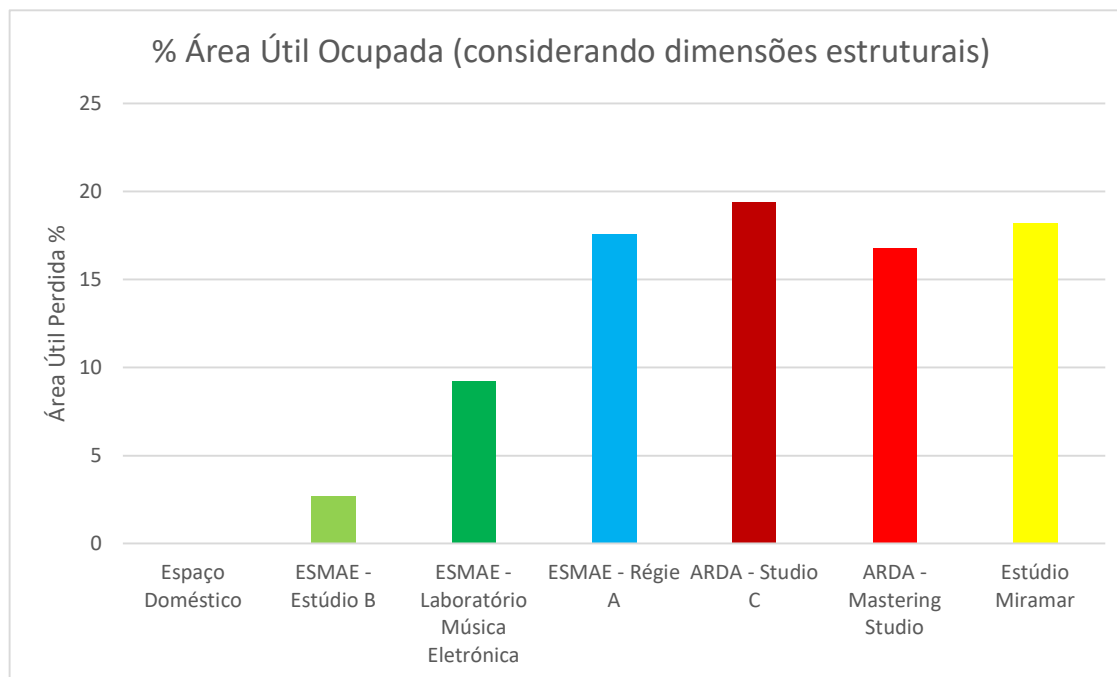


Figura 341 – Gráfico comparativo da percentagem de área perdida com materiais de acondicionamento acústico, para as salas analisadas no presente estudo

O “Espaço Doméstico” apresenta uma percentagem de ocupação com material de acondicionamento acústico de 0%, devido ao facto de este ser um espaço de habitação, que, no contexto deste trabalho, serve como forma de referenciar um espaço de habitação, ou cenário com o máximo de condições adversas.

Os espaços profissionais apresentam uma área de ocupação compreendida entre os 16,8% e 19,4%.

O estúdio “ESMAE - Régie A” apresenta uma área de ocupação de 17,6%, no entanto, a percentagem apresentada inclui a área perdida com criação do *hall* de entrada localizado ao fundo da sala (atrás do *sweet spot*). Excluído a área referida, a ocupação seria próxima aos estúdios “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Criação”, que apresentam valores de 2,7% e 9,2%, respetivamente.

### 13.1.2 Distância entre o ponto SS e MON L/MON R

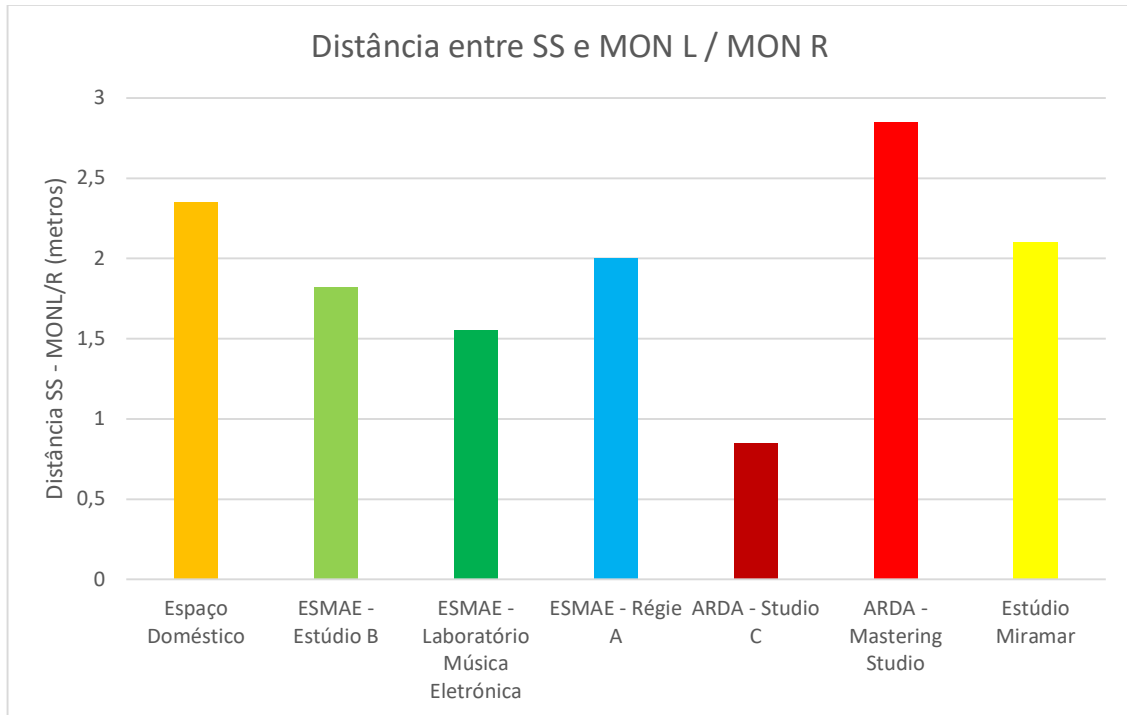


Figura 342 – Gráfico comparativa da distância entre o *sweet spot* (SS) e os altifalantes MON L e MON R, para as salas analisadas

A distância média aos altifalantes, para as salas estudadas é de 1,9 m. Excluindo a sala “ARDA – Studio C”, todos os espaços apresentam uma distância entre o *sweet spot* e os monitores de escuta superior a 1,5m. A sala “ARDA – Studio C”, trata-se de um caso especial, na medida em que os monitores estão perpendiculares à dimensão de comprimento da sala, sendo a única a apresentar essa característica.

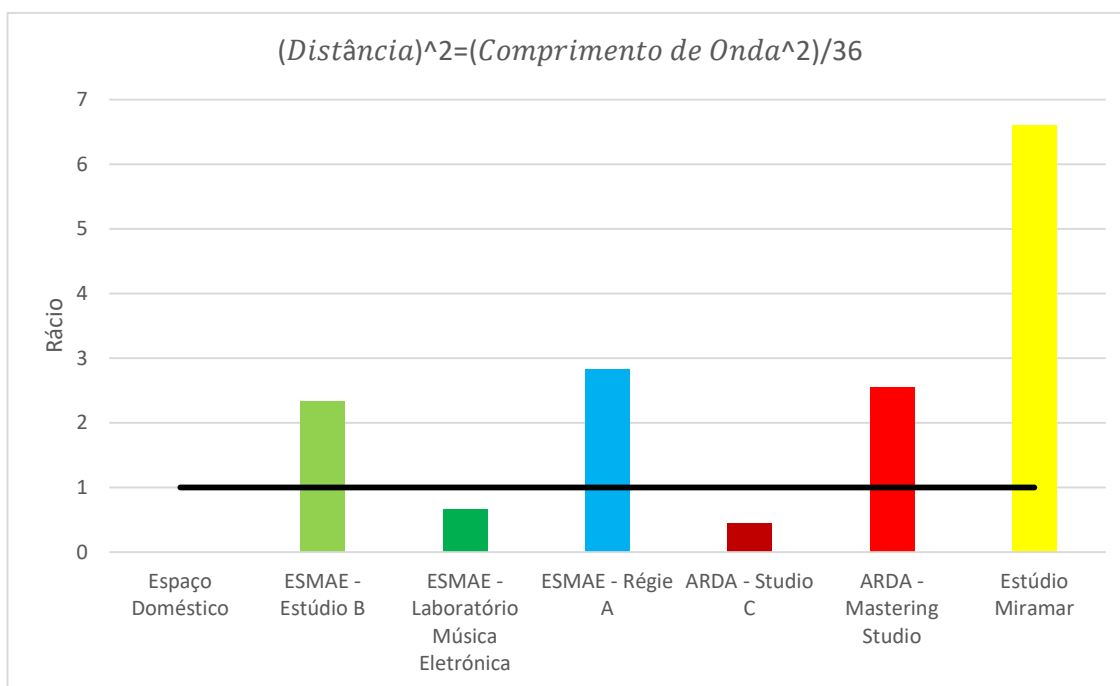


Figura 343 – Gráfico comparativo do rácio resultante da aplicação da Equação 15 a cada uma das salas estudadas

Aplicando o rácio da Equação 15, sendo que os rácios ideais sugeridos são de 1, ou superiores, apenas as salas “ARDA – Studio C” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” apresentam valores inferiores a 1. Para a sala “Espaço Doméstico”, não foi possível aferir o limite mínimo da resposta em frequência dos altifalantes MON L e MON R e, estando a referida equação dependente desta variável, não foi possível determinar um valor. Considerando um valor de 50 Hz, a sala “Espaço Doméstico” apresentaria um resultado superior a 1.

Analisando os gráficos da Figura 342 e Figura 343, pode-se concluir que uma distância de 2 m entre o ponto de escuta e os monitores será, na maioria dos casos suficiente para satisfazer a condição da Equação 15. Como também é possível verificar, 2 dos 3 espaços profissionais analisados cumprem a distância de 2m, com a exceção (“ARDA – Studio C”) que se trata de um caso especial devido à distribuição dos elementos no espaço.

### 13.1.3 Volumetrias

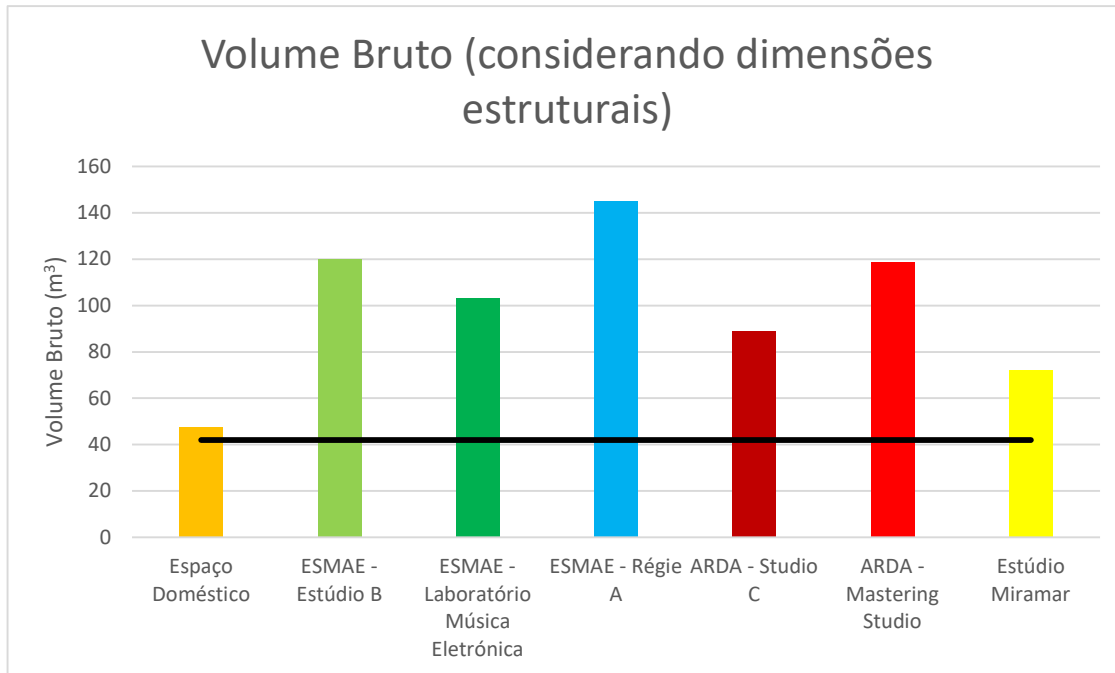


Figura 344 – Gráfico comparativo dos volumes brutos das salas estudadas; a linha preta apresenta a referência de 42 m<sup>3</sup>

O gráfico da Figura 344 apresenta o volume bruto (volume considerando as fronteiras estruturais) das salas estudadas, com linha preta a assinalar a referência de 42 m<sup>3</sup>, conforme descrita no capítulo 5.3. Convém assinalar que se considera como volume bruto da sala “ARDA – Studio C” o resultante da sala com os monitores e da sala contígua separada pela porta de vidro (Figura 204). Todas as salas apresentam um volume bruto superior à referência de 42 m<sup>3</sup>, no entanto é possível verificar que o “Espaço Doméstico” é, destacadamente, o espaço com menor volumetria. Convém frisar que se trata de um espaço de tipologia sala de estar, ou seja, esta é, muitas vezes, a maior divisão de uma habitação, o que sugere que adaptar espaços como quartos, ou escritórios pode resultar problemático, na medida em que volumetria do espaço é demasiado baixa, criando problemas com o comportamento das frequências modais e existindo pouco espaço para aplicar soluções de acondicionamento acústico.

A sala “ESMAE – Régie A” apresenta a volumetria mais alta, se considerarmos as dimensões da antecâmara (144,93 m<sup>3</sup>). Mesmo desconsiderando a antecâmara, a sala “ESMAE – Régie A” continua a apresentar a volumetria mais alta, 120,26 m<sup>3</sup>. No entanto, o grande volume do espaço não impede que se verifiquem valores de *Bass Ratio* superiores a 1,2 (os valores calculados foram 2 para o par DODEC – SS e 1,9 para o par MON L -

BACK). O espaço “ARDA – Mastering Studio”, com uma volumetria similar (118,72 m<sup>3</sup>) apresenta valores de *Bass Ratio* mais baixos (0,96 e 1,40). A grande volumetria dos dois espaços, por si só, não é suficiente para evitar o aumento relativo do tempo de decaimento da energia nas frequências mais graves comparado com as frequências médias e agudas.

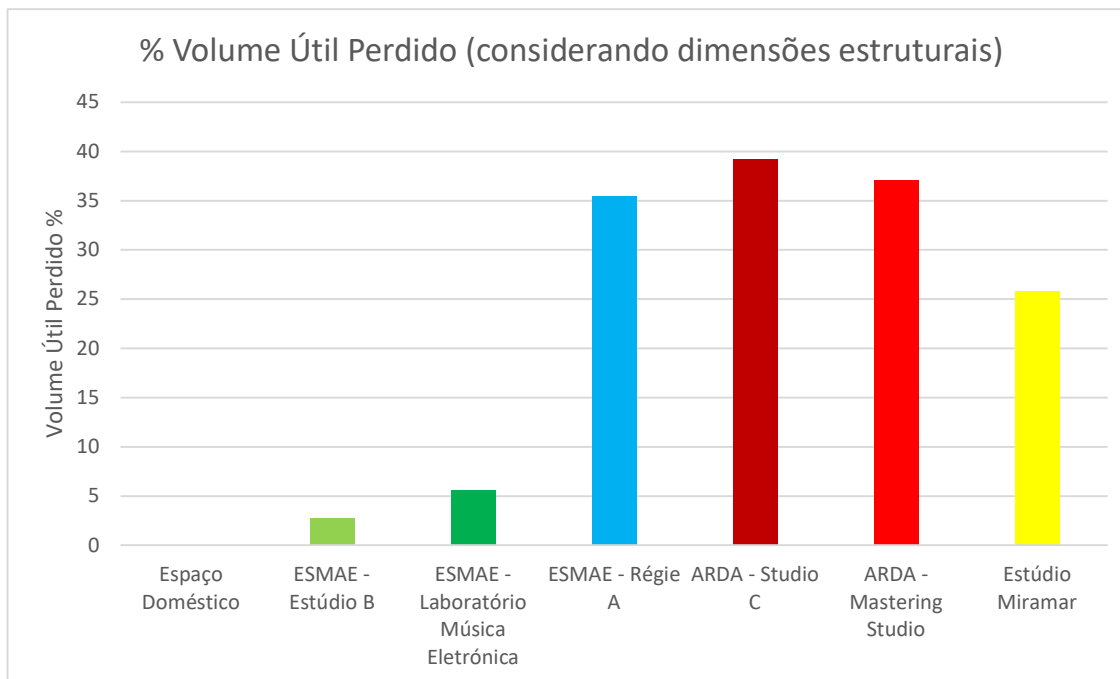


Figura 345 – Percentagem de volume perdido para a aplicação de elementos de acondicionamento acústico

A percentagem de volume utilizado para fins de acondicionamento acústico no conjunto dos espaços profissionais e do espaço “ESMAE – Régie A” é superior a 25%. Excluindo, o espaço “Estúdio Miramar”, o volume utilizado é superior a 35%. Os espaços “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” apresentam valores de 2,7% e 5,6%. Pode-se concluir que para aplicar soluções similares aos espaços profissionais analisados no presente estudo, cuja filosofia de acondicionamento acústico se trata de conceitos de salas *Non-Environment* ou, no caso do “Estúdio Miramar” *Neutral Non-Environment*, será expectável uma diminuição igual ou superior a 25% do volume útil do espaço.

A sala “ESMAE – Régie A” também apresenta valores de diminuição de volume útil altos (35,4%), no entanto não se identifica uma filosofia de espaço *Non-Environment* aplicada ao espaço. A maioria do volume utilizado para alojar elementos de acondicionamento acústico localiza-se perto do teto, que, nos estúdios da ESMAE, é mais alto que nos restantes espaços, por uma margem considerável.

### 13.1.4 Rácios Dimensionais

SALA	COMPRIMENTO	LARGURA	ALTURA
Espaço Doméstico	1	1,25	1,80
ESMAE - Estúdio B	1	1,75	1,26
ESMAE – Laboratório Música Eletrónica	1	1,65	1,26
ESMAE - Régie A (considerando parede da antecâmara)	1	1,51	1,30
ESMAE - Régie A (desconsiderando a parede antecâmara)	1	1,83	1,57
ARDA - Studio C	1	1,72	1,8
ARDA - Mastering Studio	1	1,21	1,74
Estúdio Miramar	1	1,23	2,21

Tabela 22 - Rácio de dimensões de todas as salas estudadas, considerando a dimensão de comprimento como a unidade

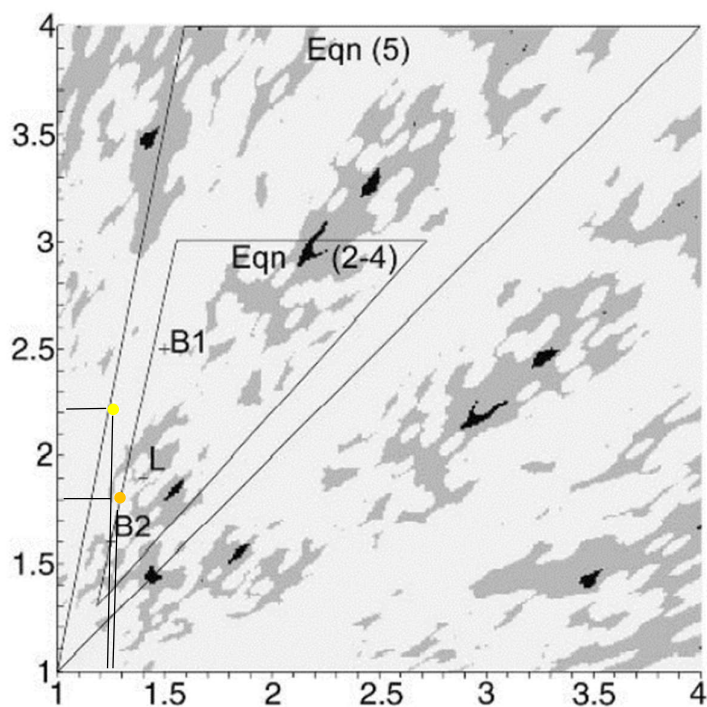


Figura 346 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de  $50 \text{ m}^3$ . A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649). O ponto dourado refere-se ao espaço “Estúdio Miramar” e o ponto amarelo ao “Espaço Doméstico”

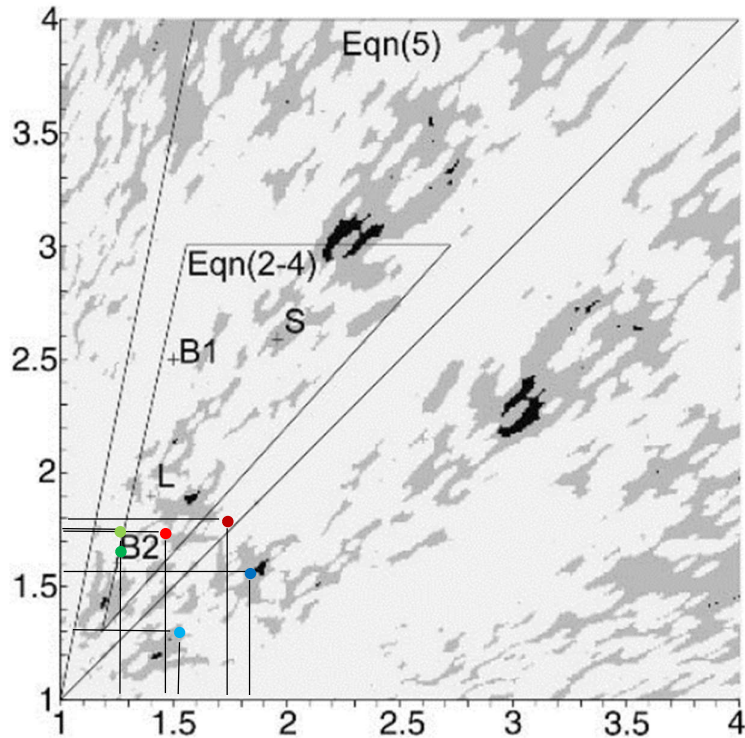


Figura 347 - Rácios ideais de dimensões para uma sala de 100 m<sup>3</sup>. A negro estão sinalizados os rácios que apresentam melhores resultados, segundo o estudo Room Sizing and Optimization at Low Frequencies. Os pontos B1 e B2 sinalizam rácios sugeridos por Bolt e o ponto L sinaliza o rácio sugerido por Louden (Cox, D'Antonio, & Avis, Room Sizing and Optimization at, 2004, p. 649). O ponto vermelho-claro refere-se ao espaço “ARDA – Mastering Studio”, vermelho escuro a “ARDA - Studio C”, verde claro a “ESMAE – Estúdio B”, verde escuro a “ESMAE – Laboratório de Música Eletrônica”, azul claro “ESMAE – Régie A” considerando a parede da antecâmara e azul escuro “ESMAE – Régie A” desconsiderando a parede da antecâmara

Os rácios apresentados na Tabela 22 permitem visualizar os rácios entre as dimensões dos três eixos de cada sala. Idealmente, os rácios entre as dimensões dos eixos devem ser tais que evitem múltiplos comuns próximos. Os rácios mais indesejáveis são números inteiros (1, 2, 3, etc.), seguidos dos múltiplos de 1/2 (0,50; 1; 1,50; etc.) e 1/3 (0,33; 0,66; 0,99; 1,33; etc....).

Nas tabelas estão assinalados a vermelho os rácios descritos muito pouco desejáveis, com uma margem de erro de 0,02 nos sentidos positivo e negativo.

Em primeiro lugar destaca-se a sala “ESMAE – Régie A”, cuja construção de uma parede adicional no fundo sala, de forma a isolar a sala das máquinas e o respetivo ruído do espaço de trabalho, conduziu a rácios entre as dimensões dos eixos que, teoricamente conduzem a uma maior coincidência de frequências modais, acentuando os respetivos efeitos. Considerando os rácios otimizados, sugeridos na Figura 347, a construção da referida

parede deslocou os rácios entre dimensões de uma região considerada ótima, para uma região cuja avaliação é mais baixa.

### 13.2 Intervalo de tempo de chegada inicial [*Initial Time Delay Gap (ITGD)*]

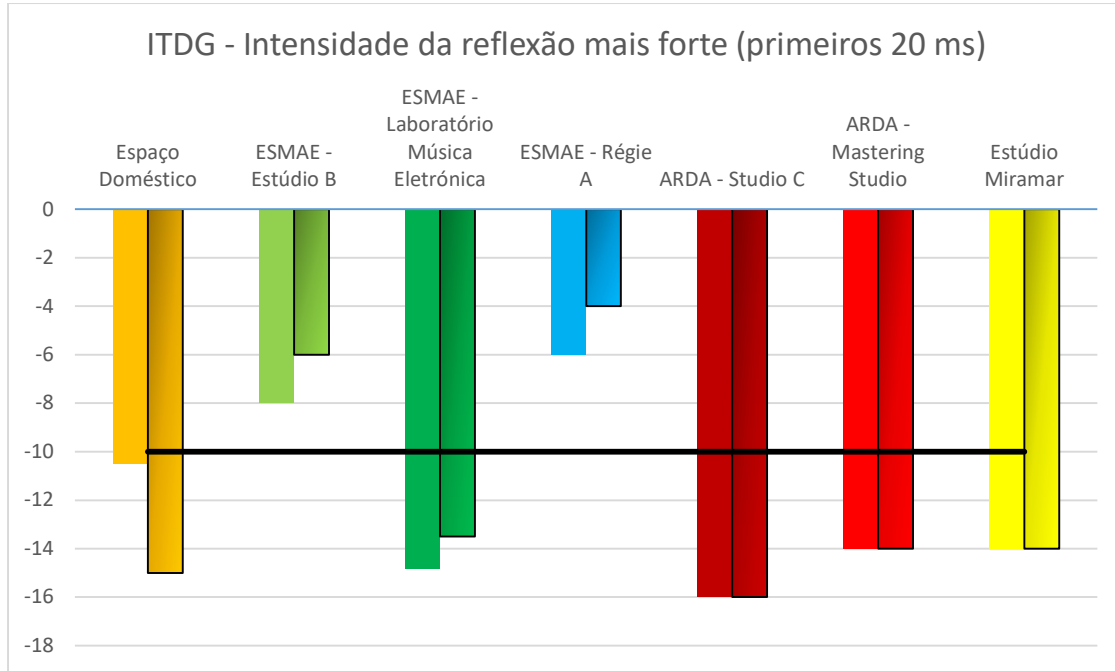


Figura 348 – Comparação entre todas as salas da intensidade da reflexão mais forte, contida nos primeiros 20 ms do decaimento (a claro MON L – SS, a escuro MON R - SS)

Analisando a energia da reflexão mais forte, contida nos primeiros 20 ms do decaimento (Figura 348), é possível verificar que as salas “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE - Régie A” não cumprem o critério referido no capítulo 6.3, que estabelece que as reflexões nos primeiros 20 ms não devem superar os -10 dB de energia em relação ao impulso inicial (assinalados pela linha horizontal preta).

Os estúdios profissionais cumprem o critério, além de não apresentarem diferenças entre os dois altifalantes. Observa-se que também é possível cumprir a referência de -10 dB em relação ao impulso inicial em espaços não profissionais, como é possível observar pelos resultados apresentados pelas salas “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” e pelo “Espaço Doméstico”.

### 13.3 Comparação e Análise da Atividade Modal

#### 13.3.1 Frequência de Não Suporte

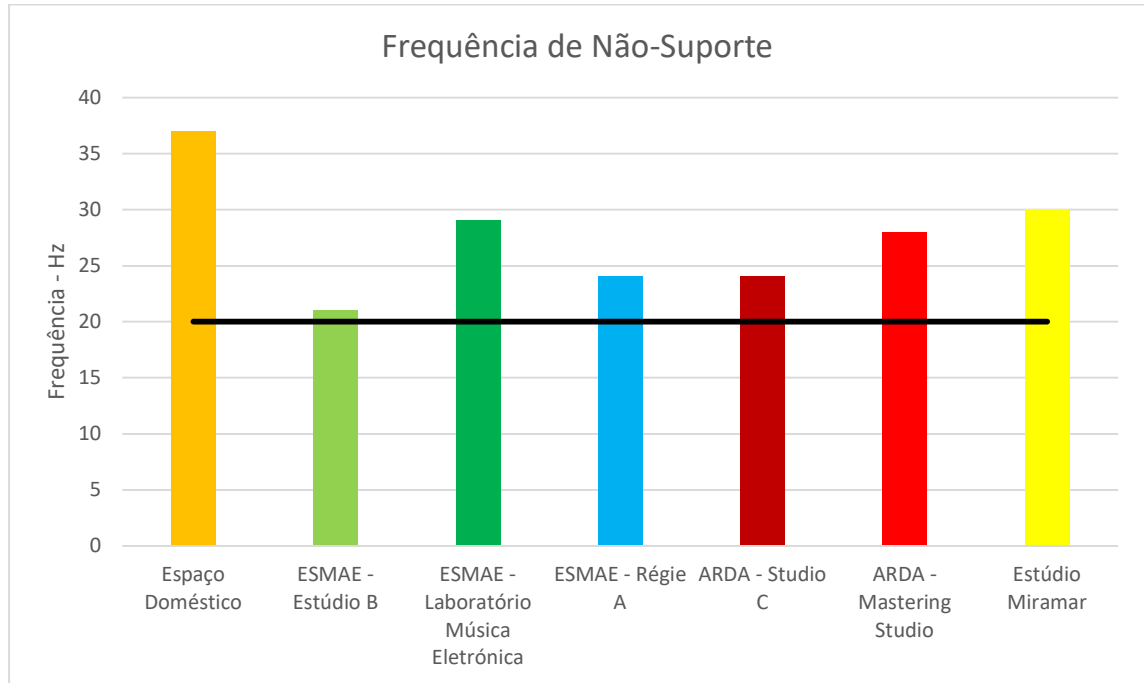


Figura 349 – Gráfico comparativo da frequência de não-suporte de cada uma das salas estudadas; a linha preta representa a referência de 20 Hz

Analisando o gráfico da Figura 349, é possível aferir que nenhum dos espaços em análise tem a sua Frequência de Não-Suporte abaixo dos 20 Hz (teoricamente o limite inferior da gama audível). O espaço “ESMAE – Estúdio B” é a sala cujo resultado (21 Hz) que mais se aproxima da linha de referência. Todos os espaços apresentam valores compreendidos entre os 21 Hz e 37 Hz.

### 13.3.2 Frequência de Schroeder

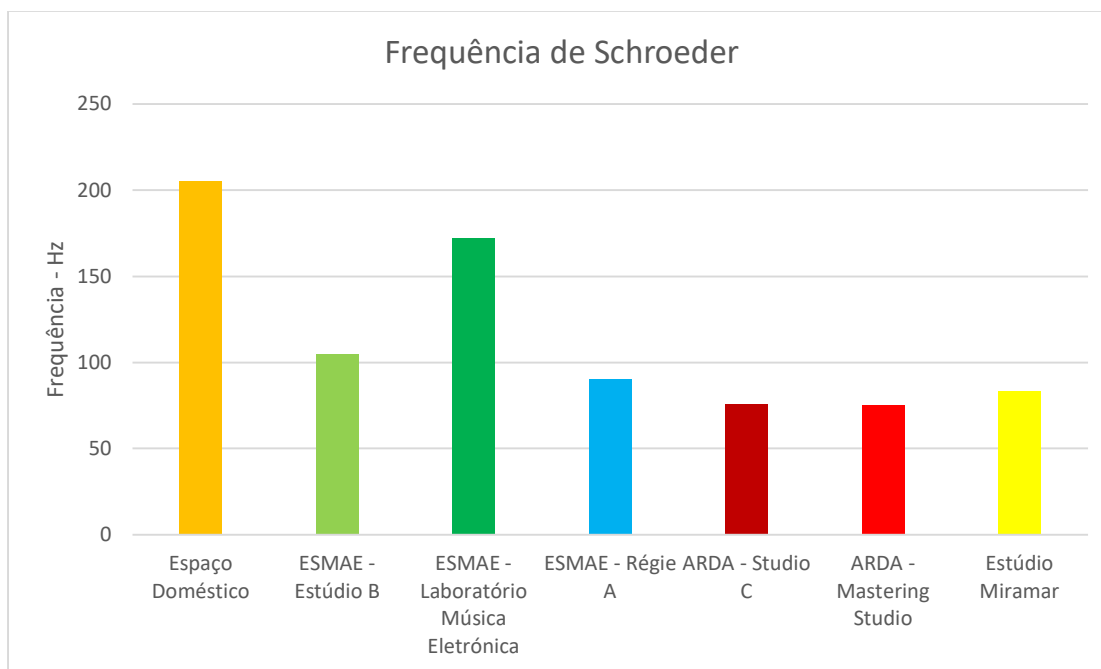


Figura 350 – Gráfico comparativo da Frequência de Schroeder calculada para cada uma das salas estudadas

O cálculo da Frequência de Schroeder está dependente do tempo de reverberação da sala, pelo que a comparação dos resultados apresentados no gráfico da Figura 350 está limitado a medições executadas em circunstâncias desiguais. Se considerarmos os espaços com mais recursos empregues em acondicionamento acústico (os espaços profissionais e a sala “ESMAE – Régie A”), estes apresentam tempos médios de reverberação mais curtos, quando comparados com os restantes. Esta diminuição do tempo médio de reverberação resulta no cálculo de uma Frequência de Schroeder mais baixa, segunda a Equação 2. É possível, para os espaços “ESMAE – Estúdio B” (Figura 87), “ESMAE – Régie A” (Figura 180) e “ARDA – Mastering Studio” (Figura 270) identificar, acima das respetivas Frequências de Schroeder calculadas, comportamentos na resposta em frequência que se assimilam a consequências de atividade modal (picos e vales no gráfico da resposta em magnitude).

É possível que resultados mais úteis sejam obtidos utilizando modelos preditivos para o tempo de reverberação para o espaço, considerando apenas a suas fronteiras estruturais expostas. O hipotético valor previsto de tempo de reverberação seria então utilizado para o cálculo da Frequência de Schroeder.

A análise do gráfico da Figura 350 permite aferir que, no caso dos espaços de utilização profissional, o cálculo da Frequência de Schroeder apresenta valores iguais ou inferiores a 83 Hz. Conclui-se que, segundo os espaços analisados, a Frequência de Schroeder é mais baixa nos estúdios profissionais; os restantes apresentam valores iguais ou superiores a 90 Hz.

### 13.3.3 Número de Modos Estimados

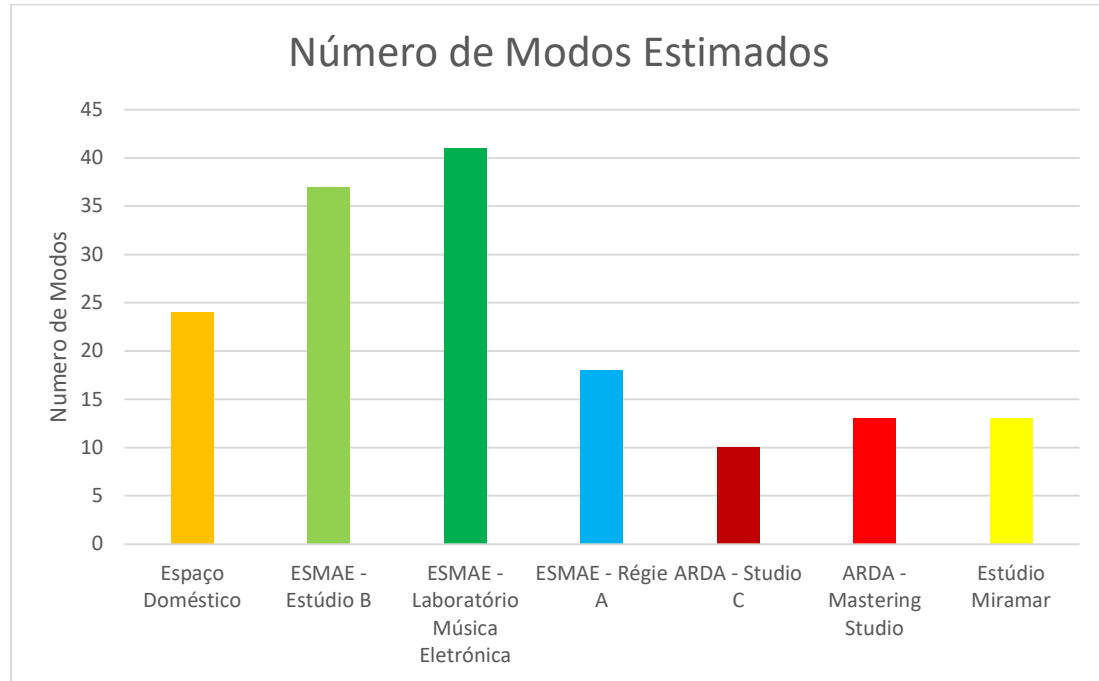


Figura 351 – Número de modos estimados, segundo o software REW e a aplicação da Equação 3, até à frequência de Schroeder calculada, para cada uma das salas estudadas (para a sala “Espaço Doméstico” apenas se incluem modos estimados até aos 135 Hz)

Uma vez que o número de modos estimados é limitado pela Frequência de Schroeder, verifica-se a mesma desigualdade de circunstâncias em comparar espaços com e sem acondicionamento acústico. A Frequência de Schroeder é muito mais baixa em salas com um tempo de reverberação médio mais baixo. De qualquer forma, é possível verificar que a aplicação do modelo preditivo dos modos próprios dos espaços utilizado no estudo, revela grandes diferenças no número de modos estimados entre as salas profissionais e as restantes salas.

### 13.3.4 Atividade Modal Medida (Número de Pontos de Pressão Detetados)

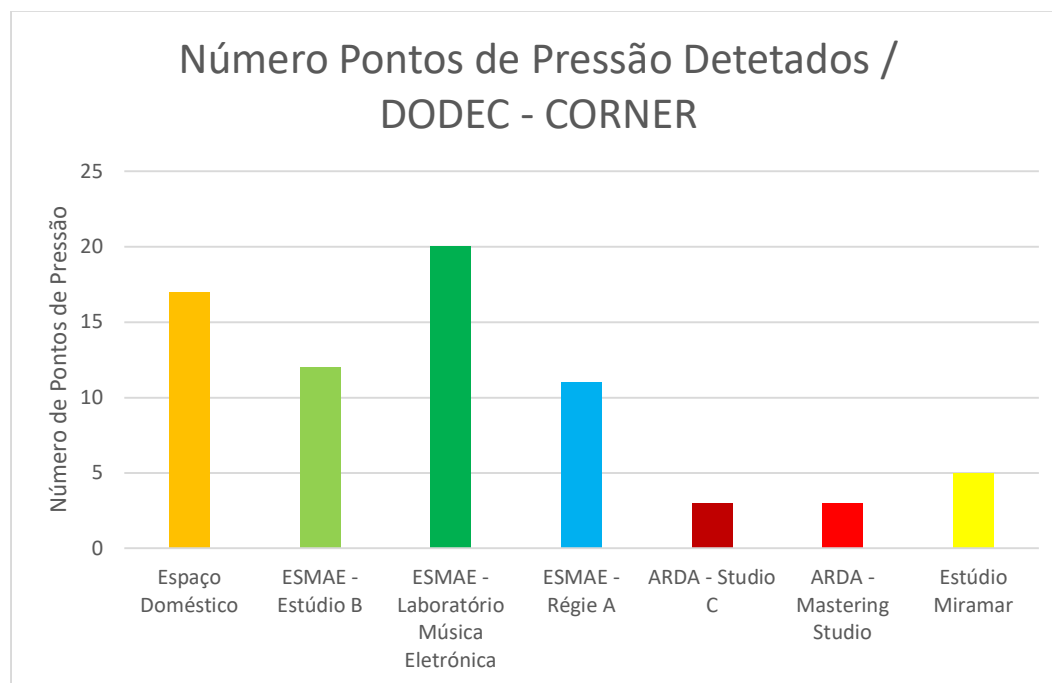


Figura 352 – Número de modos detetados, segundo análise do respetivo par DODEC – CORNER, para cada uma das salas estudadas

O gráfico da Figura 352 apresenta o número de pontos de pressão detetados na medição DODEC – CORNER. Este resultado pode ser análogo ao número de frequências modais ativas em cada espaço, no entanto, caso a frequência de dois ou mais modos seja coincidente, estes expressar-se-ão com apenas um ponto de pressão. O número de pontos de pressão detetados nos espaços profissionais é de 5 para o “Estúdio Miramar” e de 3 para os estúdios “ARDA – Studio C” e “ARDA – Mastering Studio”. Os espaços “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Régie A”, apresentam 12 e 11 respetivamente. O “Espaço Doméstico” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, espaços mais próximos de um espaço sem intervenção acústica, apresentam resultados de 17 e 20 pontos de pressão identificados.

A análise da resposta em frequência no par DODEC – CORNER dos espaços profissionais (Figura 223, Figura 268 e Figura 313), também permitem verificar que os pontos de pressão existentes têm pouca expressão nos respetivos gráficos. Os espaços profissionais, independentemente do seu potencial para manifestar frequências modais, no estado pré acondicionamento acústico, não apresentam pontos de pressão com muita energia, ou seja, independentemente das dimensões brutas, foi possível minimizar quase na totalidade os efeitos da atividade modal.

### 13.4 Comparação e Análise da Reflexão do Chão

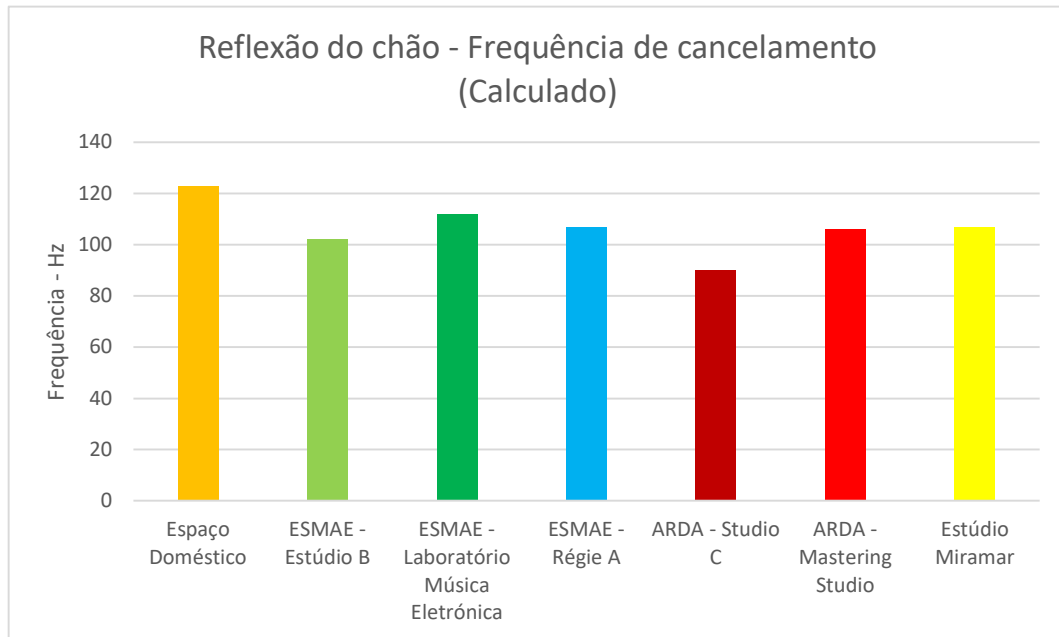


Figura 353 – Gráfico comparativo da frequência calculada, para o primeiro cancelamento associado à reflexão do chão, para cada uma das salas estudadas

A reflexão do chão calculada para todos os espaços, está contida entre os 90 Hz e os 123 Hz. Se excluirmos o espaço “ARDA – Studio C”, cuja distância aos altifalantes MON L e MON R é bastante inferior aos restantes espaços (0,85 m) este intervalo fica compreendido entre 102 Hz e 123 Hz. Pode-se concluir que a distância aos altifalantes, no intervalo apresentado pelos espaços estudados (0,85 m e 2,35 m) não faz variar de forma muito significativa o resultado do cálculo das frequências de pico e cancelamento atribuídos à reflexão do chão. Num estúdio com distância aos altifalantes e altura do ponto de escuta e dos monitores com medidas expectáveis, um cancelamento atribuído à reflexão do chão estará compreendido entre valores próximos de 90 Hz e 123 Hz. Quanto maior a distância aos altifalantes, mais altas as frequências afetadas.

## 13.5 Comparação e Análise de Tempos de Reverberação

### 13.5.1 Comparação de Valores Médios de T30 no par DODEC - SS

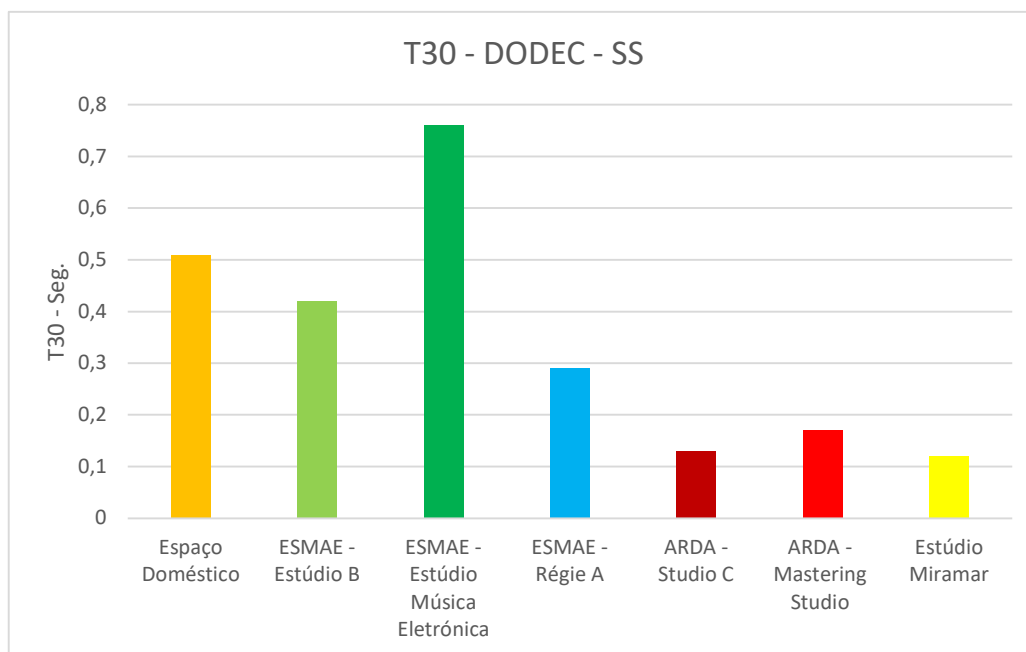


Figura 354 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, medido para o par DODEC – SS, para cada um dos espaços estudados

A Figura 354 apresenta o tempo de reverberação médio (T30), para os espaços em análise. A comparação direta entre salas é um método com limitações, uma vez que existem salas de diferentes volumetrias, e com diferentes quantidades de materiais destinados ao acondicionamento acústico. A sala “Espaço Doméstico”, por exemplo, não conta com qualquer tipo de materiais destinados ao controlo das reflexões; enquanto os espaços profissionais têm 25% ou mais das suas volumetrias ocupadas com materiais destinados a efeitos de controlo acústico.

Os dados apresentados podem servir como referências/pontos de comparação na análise de outras salas. Por exemplo, 3 espaços profissionais com volumetrias distintas apresentam tempos de reverberação entre os 0,1 segundos e 0,2 segundos. O tempo de reverberação medido numa sala-de-estar de cerca de 47m<sup>3</sup> de volume apresenta um tempo de reverberação de 0,5 segundos.

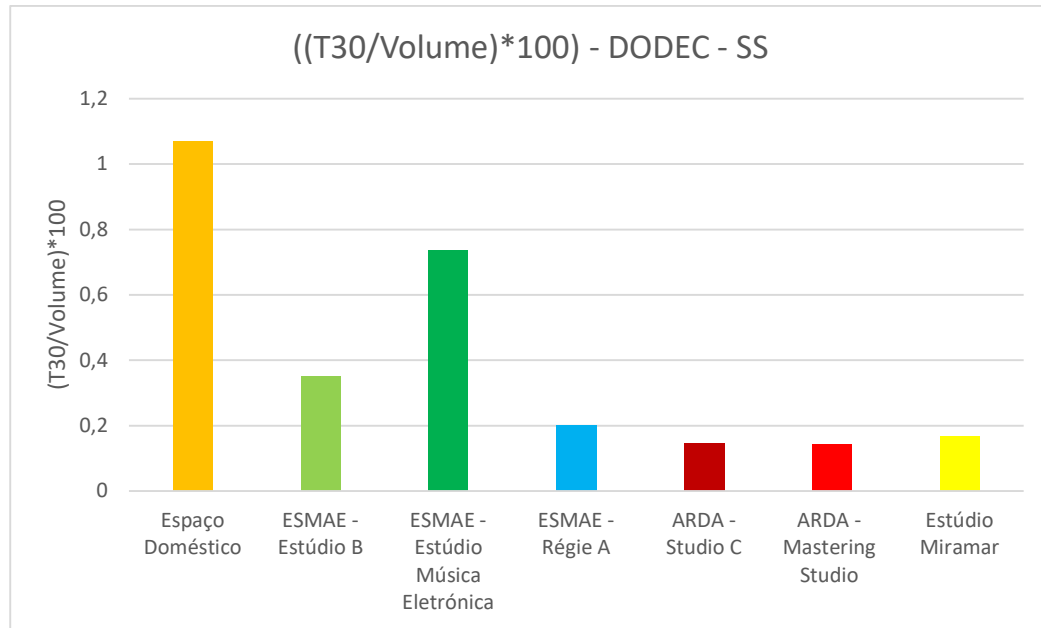


Figura 355 - Comparação Figura 356 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, medido para o par DODEC – SS e dividido pelo respetivo volume, para cada um dos espaços estudados

A Figura 355 apresenta um gráfico comparativo do T30 dos espaços analisados, mas com os resultados normalizados segundo a volumetria da sala. Aplicando este processo de normalização, torna-se possível comparar o resultado das intervenções em cada espaço, no que toca à sua afetação dos tempos de reverberação.

O resultado do T30 do “Espaço Doméstico”, quando normalizado segundo o volume passa ser o valor mais alto, o que faz sentido, tendo em conta a ausência de elementos destinados ao controlo do tempo de decaimento da energia acústica.

É também possível observar que os espaços “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, apesar das suas volumetrias serem próximas (119,93 m<sup>3</sup> e 103,28 m<sup>3</sup> respetivamente) os valores de T30 normalizados são consideravelmente diferentes. A sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, que é, inclusive, o espaço de menor volumetria, apresenta um valor de T30 normalizado superior (0,74), comparado com a sala “ESMAE – Estúdio B” (0,35). Esta comportamento poderá dever-se à utilização de elementos de difusão nos cantos e à presença de um menor número de elementos de absorção do que na sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”.

Também é de referir que o valor de T30 do “Estúdio Miramar”, quando normalizado segundo a volumetria do espaço, é mais alto que os restantes estúdios profissionais (“ARDA – Studio C” e “ARDA – Mastering Studio”). Observando os elementos de acondicionamento acústicos presentes em cada um dos espaços profissionais, verifica-se que o “Estúdio

Miramar" apresenta elementos de difusão dedicados, contrariamente aos dois espaços “ARDA”. A presença dos elementos de difusão acústica caracteriza a diferença entre o “Estúdio Miramar” e a filosofia de salas *Balanced Non-Environment*, comparados com os espaços “ARDA” e a filosofia *Non-Environment*.

Finalmente, os espaços profissionais apresentam valores de T30, normalizados segundo a volumetria da sala, entre 0,14 segundos e 0,17 segundos. O espaço “ESMAE – Régie A” apresenta um valor próximo, 0,2 segundos. A normalização do T30, segundo a volumetria, aproxima os valores da sala “ESMAE – Régie A” dos estúdios profissionais analisados.

### 13.5.2 Comparação e Análise de Valores de T30 (200 – 4000Hz)

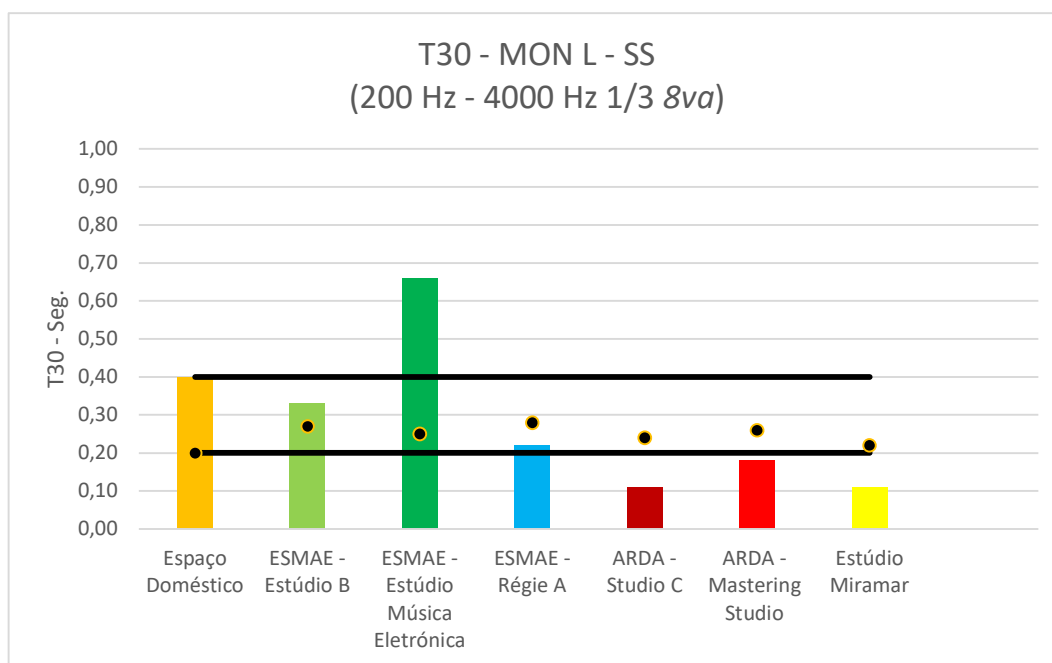


Figura 357 – Gráfico comparativo do tempo de reverberação médio, entre os 200 HZ e os 4000 Hz, medido no par MON L – SS, para cada uma das salas estudadas; os pontos representam valores referência, obtidos segundo a aplicação da Equação 11

O gráfico da Figura 357 apresenta os valores médios de T30, segundo medições no par MON L – SS, entre as bandas de 1/3 de oitava de 200 Hz e 4000 Hz. Com estes valores, é possível quantificar o tempo de reverberação de cada espaço, eliminando em grande parte o alongar do tempo de reverberação associado à região modal. No capítulo 6.2 é apresentada uma referência para os tempos de reverberação expectáveis em espaços similares àqueles analisados no presente estudo, na gama de frequências acima referida. Os valores referidos compreendem o intervalo entre os 0,2 segundos e 0,4 segundos. A Equação 11, que resulta

em valores de referência para o T30, compreendido o intervalo entre os 200 Hz e 4000 Hz, e segundo a volumetria do espaço tem os respetivos resultados, por sala, assinalados no gráfico como pontos. O resultado da Equação 11, aplicada a cada espaço resulta em valores que se encaixam no intervalo entre 0,2 segundos e 0,4 segundos.

É de destacar os espaços profissionais e a sala “ESMAE – Régie A” apresentam valores inferiores aos sugeridos pela Equação 11. A sala “ESMAE – Régie A” apresenta uma filosofia de acondicionamento acústico diferente dos espaços profissionais, apresentando-se como uma *Reflection Free Zone*. Mesmos com uma filosofia que não apresenta uma quantidade tão grande de elementos de absorção, comparado com as salas *Non-Environment*, o valor de T30 continua abaixo do resultante da Equação 11. Segundo os resultados medidos no pequeno grupo de espaços profissionais e no espaço “ESMAE – Régie A” (o espaço adaptado mais próximo de um espaço profissional), pode-se especular que os tempos de reverberação, quando medidos na gama média e média-aguda são, tendencialmente, curtos, para espaços dedicados à função de escuta crítica e trabalho nas áreas da criação sonora e musical.

### 13.5.3 Comparação dos Valores Médios de T30 e EDT

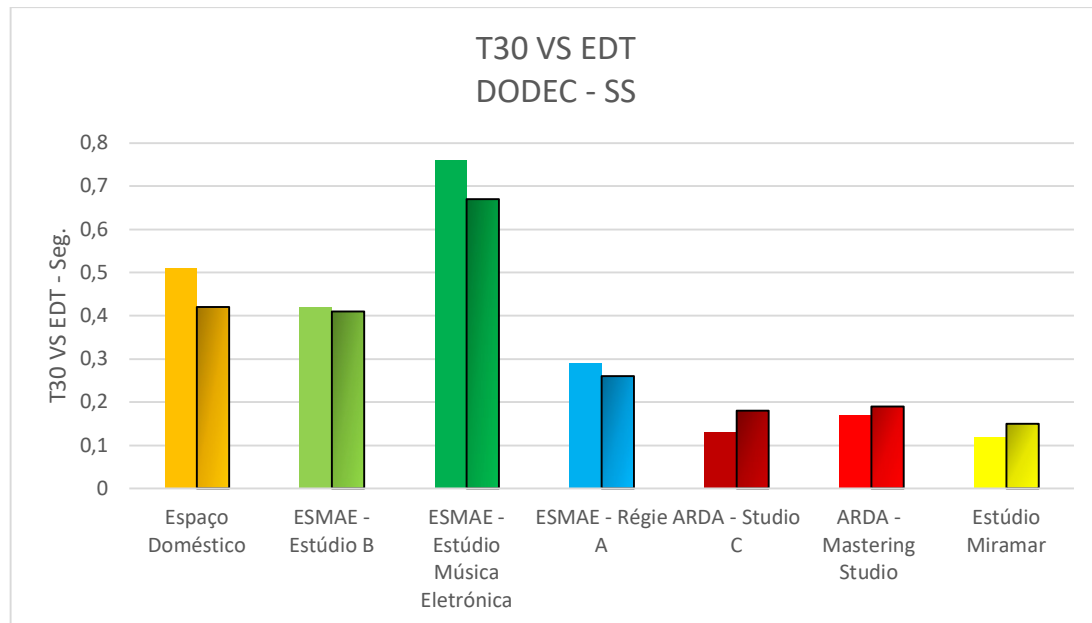


Figura 358 – Comparação dos valores médios de T30 (barra esquerda) e EDT (barra direita), medidos em cada uma das salas estudadas, no par DODEC – SS

A comparação dos valores de T30, com os valores de EDT, para cada um dos espaços (Figura 358), revela que os espaços profissionais apresentam valores médios de EDT mais altos que T30, com os restantes espaços a apresentar resultados inversos. O facto de o conjunto de espaços profissionais estar limitado a salas baseadas no conceito *Non-Environment* não permite concluir se valores de EDT mais altos que T30 é um resultado comum a espaços de utilização profissional, ou resultado da filosofia de acondicionamento acústico implementada. No entanto, é possível especular que em salas *Non-Environment*, que apresentam uma grande área de superfície absorvente, as primeiras reflexões, provenientes do chão, mobiliário e equipamentos, encontram como segunda superfície de impacto superfícies absorventes, sendo minimizadas as reflexões de segunda e terceira ordem. Este comportamento resulta numa quantidade superior de reflexões nos instantes iniciais (valor mais alto de EDT) que rapidamente são absorvidas (T30 mais baixo). Não foi possível analisar um ou mais estúdios profissionais, concebidos segundo outra filosofia que não a *Non-Environment*, para perceber se a relação entre EDT e T30 se mantém. O exemplo mais próximo de um espaço profissional que não apresenta uma filosofia de *Non-Environment* é a sala “ESMAE – Régie A”, na qual o EDT não é superior ao T30.

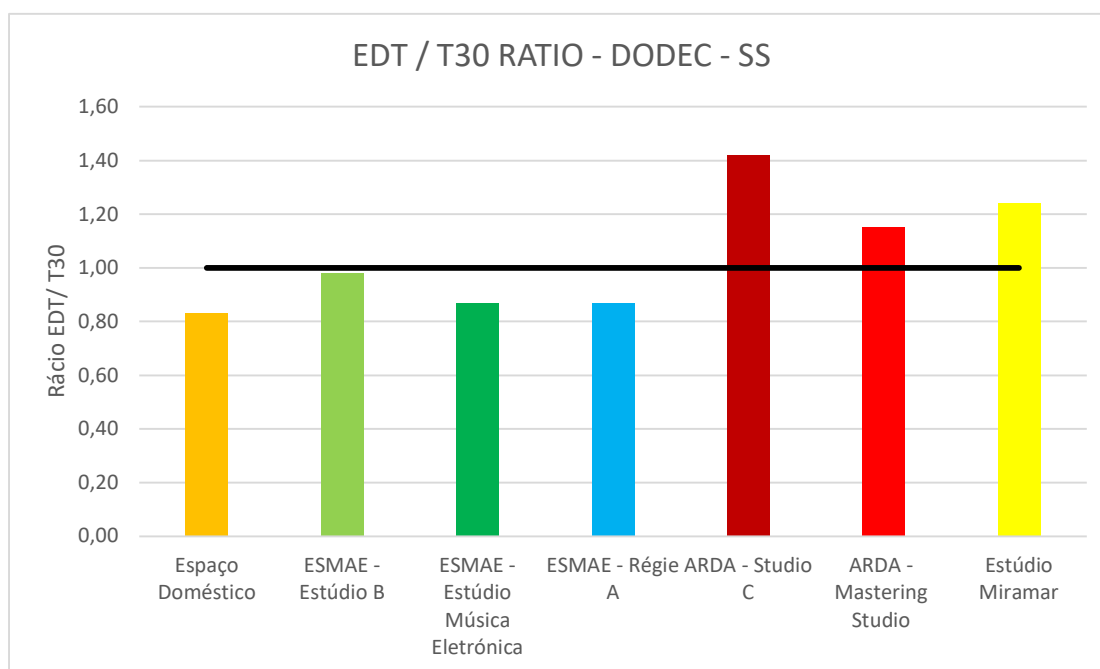


Figura 359 – Comparação do rácio entre os valores de T30 e EDT, no par DODEC – SS. Linha preta sinaliza o valor de 1 como referência

Como é possível verificar no gráfico da Figura 359, os espaços profissionais apresentam um rácio entre os valores de EDT e T30, no ponto de escuta, superior a 1, com valores compreendidos entre 1,15 e 1,42.

### 13.6 Comparação e Análise de Valores de *Bass Ratio*

#### 13.6.1 Comparação e Análise dos valores de *Bass Ratio* no par DODEC - SS

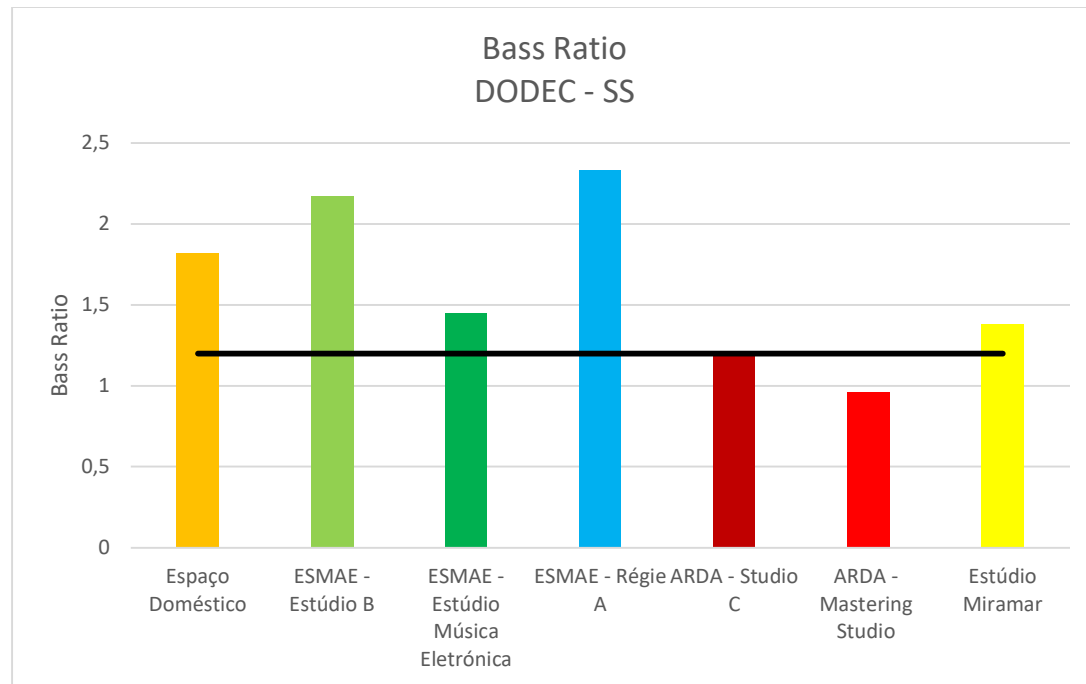


Figura 360 – Comparação dos valores de *Bass Ratio*, obtidos segundo os valores medidos no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas; linha preta representa o valor de referência de 1,2

Analisando os valores de *Bass Ratio*, para todas as salas, no par DODEC – SS (Figura 360), e considerando como referência valores entre 1 e 1,2 (capítulo 6.6), revela-se que a obtenção de valores iguais, ou ligeiramente inferiores a 1 é apenas observada num espaço (“ARDA – Mastering Studio”). O espaço “ARDA – Studio C” apresenta um valor de 1,18, sendo que os restantes espaços apresentam valores superiores à referência de 1,2. Analisando apenas os três espaços profissionais, encontra-se uma relação entre o *Bass Ratio* e a volumetria bruta da sala: quanto maior a volumetria do espaço, mais baixo o valor de *Bass Ratio*. Não é possível estabelecer uma relação direta de causa efeito, uma vez que o acondicionamento acústico difere em cada espaço, apesar de as filosofias aplicadas são similares. A observação destes dados pode sugerir que é mais fácil a obtenção de valores de *Bass Ratio* iguais ou inferiores a 1 em salas de maior dimensão.

Observando os valores associados aos restantes espaços, destaca-se a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, cujo tempo de reverberação é o mais longo, entre todos os espaços analisados, no entanto apresenta o valor de *Bass Ratio* mais baixo entre os espaços não profissionais. Este comportamento deve-se ao facto de, apesar dos o decaimento nas frequências mais graves ser lento, a presença de elementos de difusão e menor área de elementos de absorção (excluído o “Espaço Doméstico”), conduzem ao alongar do tempo de reverberação nas frequências mais altas, o que minimiza o rácio do tempo de decaimento entre frequências graves e agudas.

A sala “ESMAE – Régie A” apresenta o valor de *Bass Ratio* mais alto. Os tempos de reverberação são constantes ao longo do espectro, exceto nas bandas de oitava de 125 Hz e 63 Hz, cujo decaimento é mais longo. Neste espaço, os elementos de absorção distribuídos nas paredes, provavelmente não atuam de forma significativa sobre as gamas de frequências mais baixas, o que contribuí para que o respetivo decaimento seja mais longo que o das frequências médias e agudas.

Os resultados comparados no presente capítulo sublinham a noção de que a diminuição do tempo de decaimento nas baixas frequências apresente maiores desafios e requer uma ocupação de volume da sala muito superior às altas frequências, para a obtenção de resultados similares.

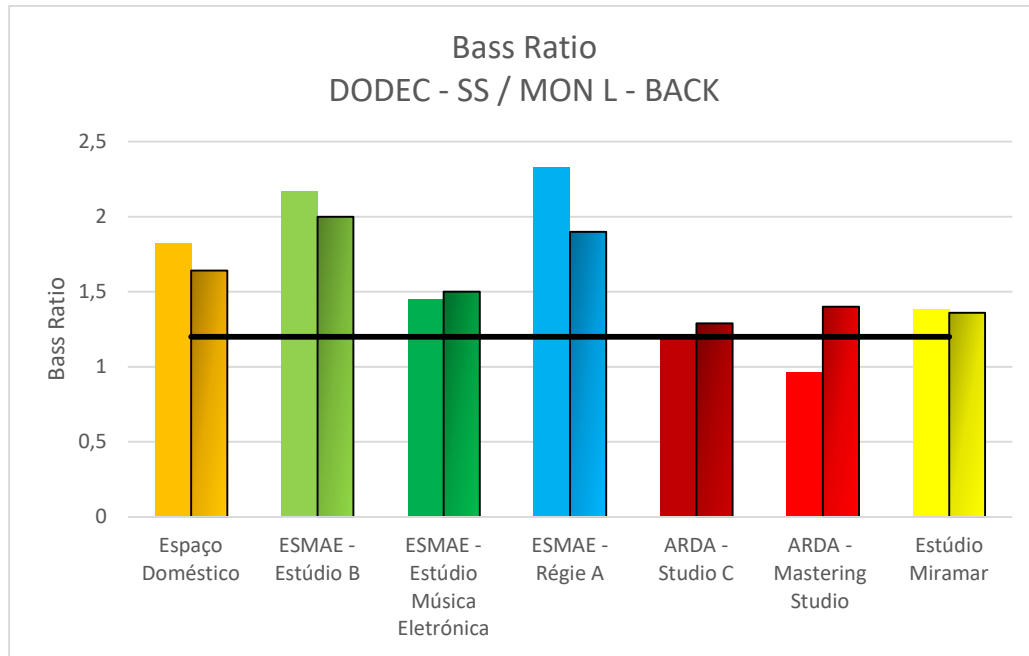


Figura 361 - Comparação dos valores de *Bass Ratio*, obtidos segundo os valores medidos no par DODEC – SS (à esquerda), e valores medidos no par MON L – BACK (a sombreado à direita) para cada uma das salas estudadas; linha preta representa o valor de referência de 1,2

Segundo é possível confirmar na Figura 361, não existe um padrão para justificar o aumento do *Bass Ratio* na posição BACK, em relação ao ponto SS, ou vice-versa. Os espaços profissionais apresentam um *Bass Ratio* similar ou inferior no ponto de escuta (SS), em relação ao ponto BACK. Destaca-se o espaço “ARDA – Mastering Studio”, cujo valor no ponto BACK aumento 45% em relação ao ponto SS.

No espaço “ESMAE – Régie A”, o *Bass Ratio* no ponto de escuta (SS) é 23% mais alto em relação ao valor de medido na posição BACK. O aumento substancial do tempo de reverberação medido na banda de oitava de 125 Hz no ponto SS contribui para este aumento. O restante espectro apresenta tempos de reverberação similares entre as duas posições.

Se não se considerarem as salas “ARDA – Mastering Studio” e “ESMAE – Régie A”, as diferenças positivas nos valores de *Bass Ratio* entre os pontos SS e BACK estão compreendidas entre 1,5% (Estúdio Miramar) e 10% (Espaço Doméstico). Pode-se admitir que a obtenção de valores similares de *Bass Ratio* em vários pontos de uma sala é possível em salas de filosofia *Reflection Free Zone* e *Non-Environment*, salas profissionais construídas de raiz, ou espaços adaptados. O *Bass Ratio* tende a manter-se similar no espaço, com a tendência do aumento da energia grave junto das fronteiras a poder ser equilibrada com uma maior presença de energia média e aguda proveniente de reflexões.

### 13.6.2 Comparação e Análise do Aumento dos valores de T30 (125Hz VS 1000Hz / 63Hz VS 1000Hz)

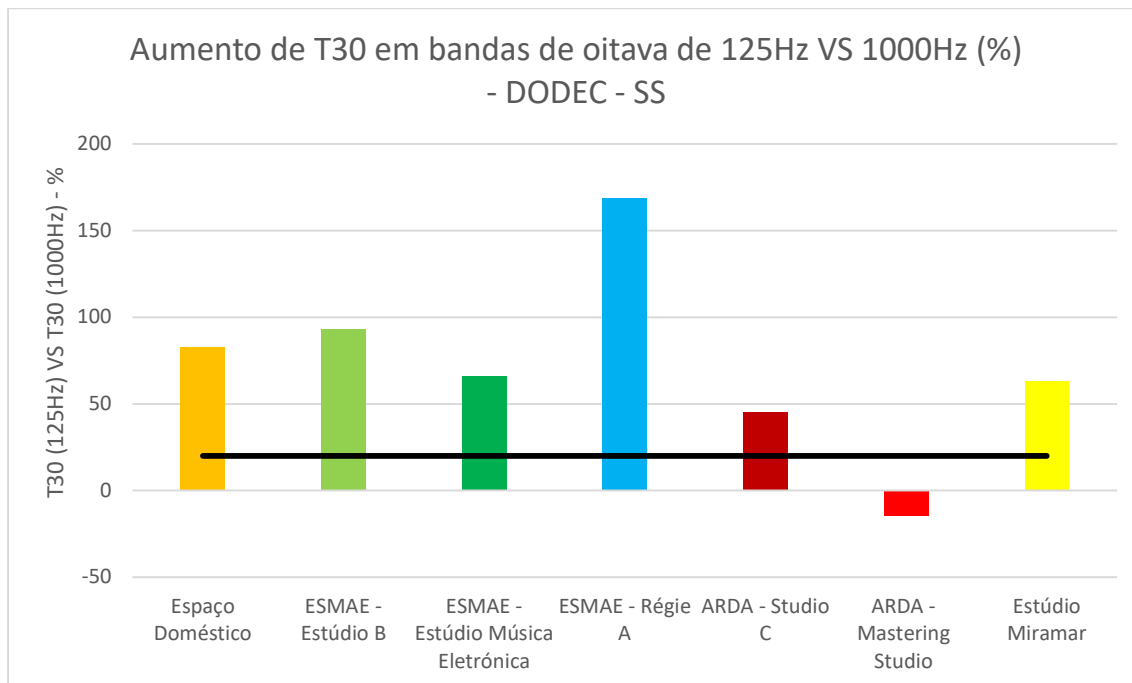


Figura 362 – Comparação do aumento em percentagem do tempo de reverberação da banda de oitava de 125 Hz, em comparação à banda de oitava de 1000 Hz, no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas

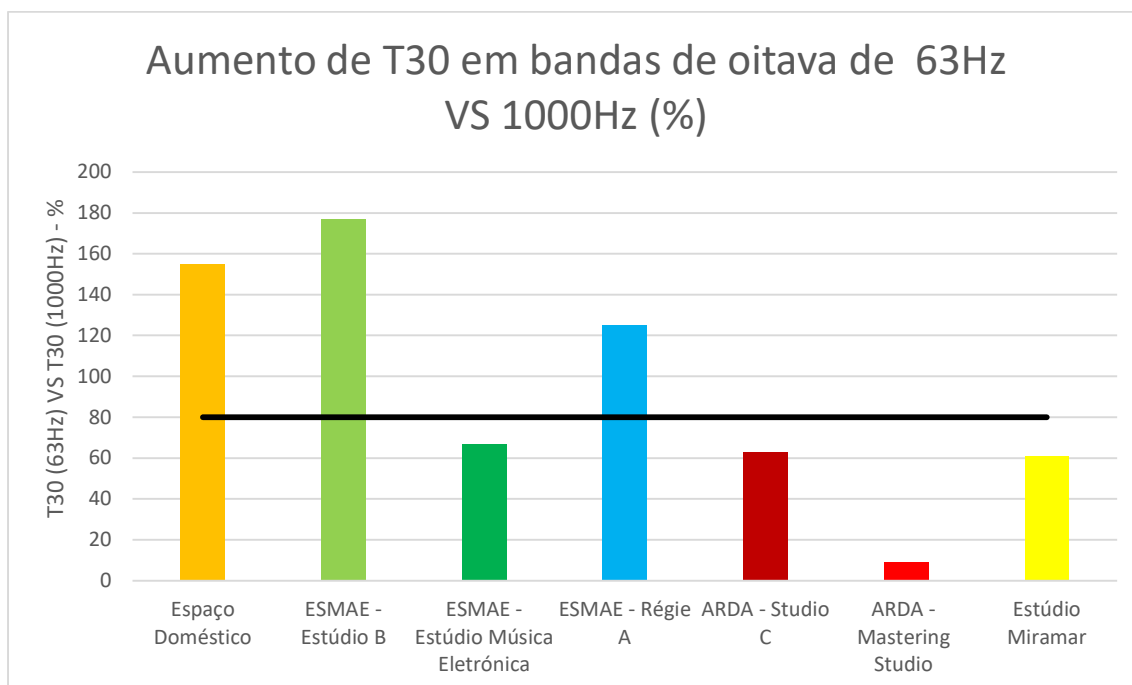


Figura 363 - Comparação do aumento em percentagem do tempo de reverberação da banda de oitava de 63 Hz, em comparação à banda de oitava de 1000 Hz, no par DODEC – SS, para cada uma das salas estudadas

A análise do tempo de reverberação nas bandas de oitava de 125 Hz e 63 Hz, em comparação com a banda de oitava de 1000 Hz (Figura 362 e Figura 363) serve como um método alternativo para quantificar o decaimento das baixas frequências, em relação ao restante espectro.

O primeiro fator de destaque prende-se com o comportamento da sala “ESAME – Régie A”, cujo aumento do tempo de reverberação na banda de 125 Hz é 169%, enquanto nos 63 Hz o valor é de 125%. As restantes salas apresentam valores tendencialmente superiores na banda de 63 Hz, ou muito próximos entre esta e a banda de 125 Hz.

A sala “ARDA – Mastering Studio” apresenta um valor de -15% na banda de 125 Hz, ou seja, uma diminuição do tempo de reverberação, em comparação com a banda de 1000 Hz. O valor de 63 Hz é de 9%. O espaço “ARDA – Mastering Studio” é o único que se valores dentro das referências propostas no capítulo 6.6, de aumentos de 20% e 80% no tempo de reverberação, nas bandas de 125 Hz e 63 Hz, respetivamente, em relação à banda de 1000 Hz. Inclusive, mais nenhum espaço em análise se encontra abaixo do valor de referência, para a banda de frequência de 125 Hz.

Todos os espaços profissionais se encontram abaixo do valor de referência na banda de 63 Hz, com as três salas a estar limitadas a aumentos do tempo de reverberação iguais ou inferiores a 63%, comparando as bandas de 63 Hz e 125 Hz, com a banda de 1000 Hz.

O espaço “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” apresenta valores abaixo da referência, na banda de 63 Hz, o que não se verifica nos restantes espaços não-profissionais. Este comportamento deve-se ao facto de a sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” beneficiar de um decaimento longo (em comparação com os restantes espaços), com superfícies refletoras e difusores dedicadas a manterem os valores do tempo de decaimento nas bandas de frequências agudas, que aproxima o tempo de decaimento nas mesmas do tempo de decaimento nas bandas mais graves do espectro.

### 13.7 Limite da Região de Difusão e Difração (Calculado) (Hz)

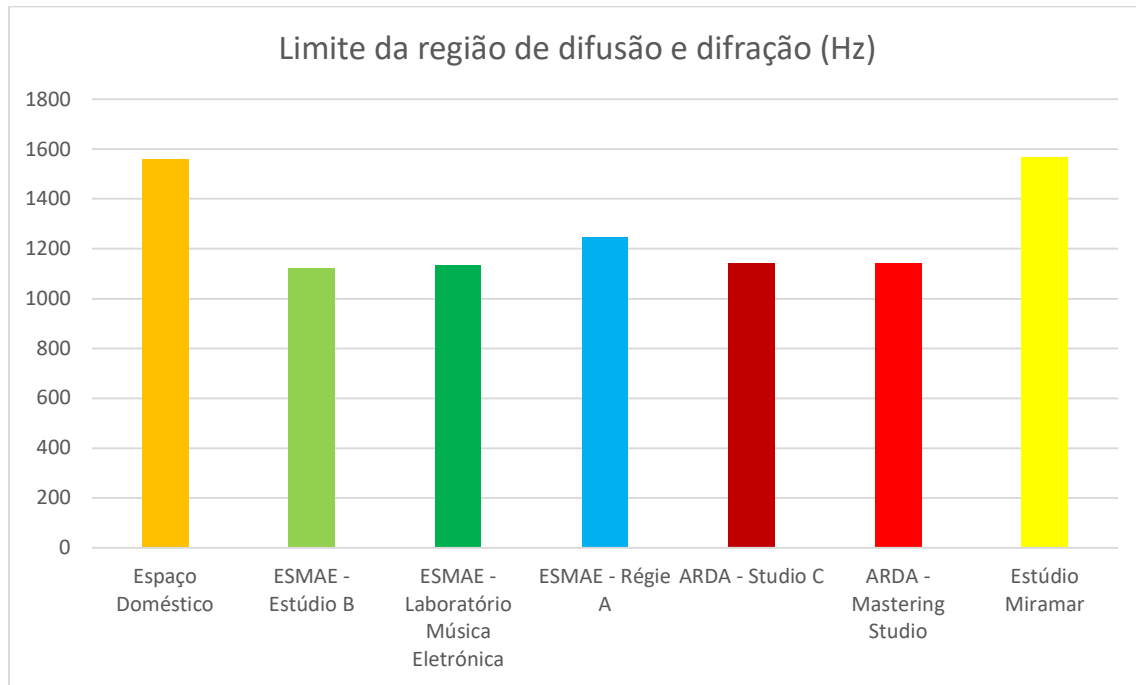


Figura 364 - Frequências calculadas para o limite da Região Difusão e Difração, para todas as salas.

Como é possível verificar pelo gráfico da Figura 364, não existem diferenças óbvias, que permitam agrupar os resultados em dois grupos distintos (estúdios profissionais e os restantes). O cálculo da frequência limite da Região de Difusão e Difração depende apenas da menor dimensão da sala. Normalmente a menor dimensão da sala é a altura, se bem que na casa das salas das instalações das ESMAE não é o que se verifica (trata-se de um edifício, antigo, com tetos muitos altos). Como é possível verificar, a sala “Espaço Doméstico” e a sala “Estúdio Miramar” têm frequências limite da Região de Difusão e Difração similares, no entanto o comportamento medido é muito diferente nos restantes parâmetros. A frequência limite da Região de Difusão e Difração não se trata de um parâmetro que distinga (de forma mais ou menos inequívoca) salas adaptadas, de salas de utilização profissional.

## 13.8 Comparação e Análise de Valores de Fator de Clareza [*Clarity (C50)*]

### 13.8.1 Comparação e Análise de Valores de Fator de Clareza [*Clarity (C50)*] (500 Hz – 4000 Hz)

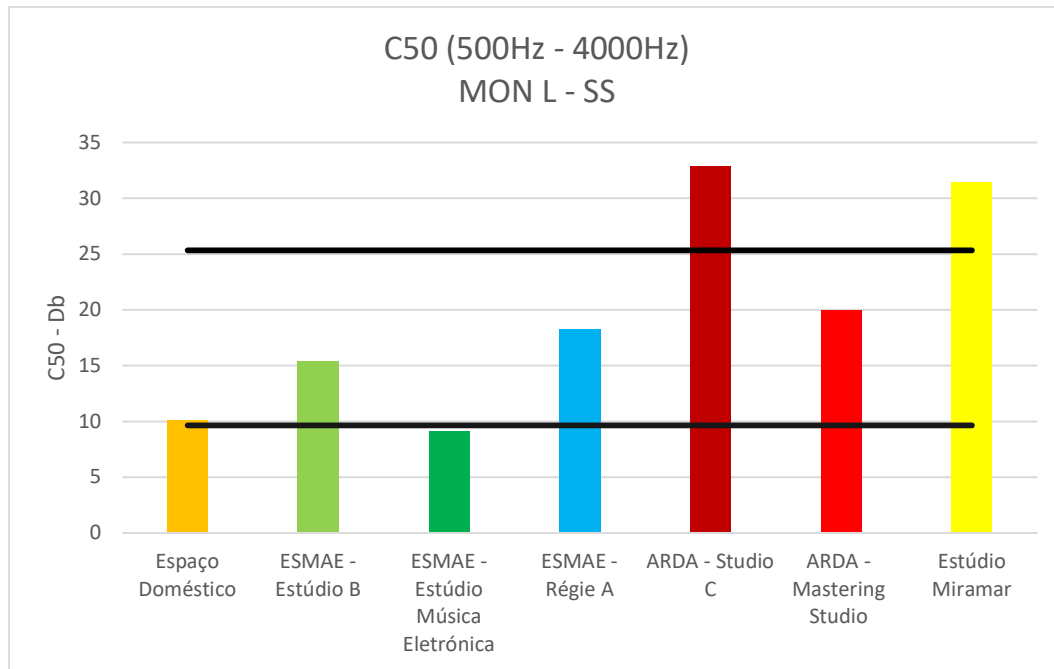


Figura 365 – Gráfico comparativo do valor médio de C50, entre as bandas de oitava de 500 Hz e 4000 Hz, segundo os valores medidos no par MON L - SS, para cada uma das salas estudadas; as linhas pretas representam os valores de referência de 9,63 dB (linha inferior) e 25,33 dB (linha superior)

Segundo a referência apresentada no capítulo 6.5, que insere um conjunto de vários estúdios profissionais nos valores de C50 compreendidos entre os 9,63 dB e 25,33 dB (valores assinalados como valores de referência no gráfico da Figura 365), valor médio das bandas de oitava de 500 Hz a 4000 Hz, pode-se concluir que a obtenção de tais valores de C50, medidos no par MON L – SS é possível para também para espaços não profissionais. As salas “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Régia A” também estão dentro do intervalo de referência. Destaca-se o “Espaço Doméstico”, que mesmo sem qualquer tipo de intervenção acústica, apresenta um valor de C50 de 10,08 dB. A sala “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”, apresenta um valor de C50 inferior a 9,63 dB (9,11 dB).

Os espaços profissionais estão todos acima do valor mínimo de referência, com os estúdios “ARDA – Studio C” e o “Estúdio Miramar” a apresentar valores acima do valor máximo de referência. O estúdio “ARDA – Mastering Studio” tem o seu valor de C50, dentro dos valores de referência.

### 13.8.2 Comparação e Análise de Valores de *Bass Ratio* aplicados a Fator de Clareza [*Clarity* (C50)]

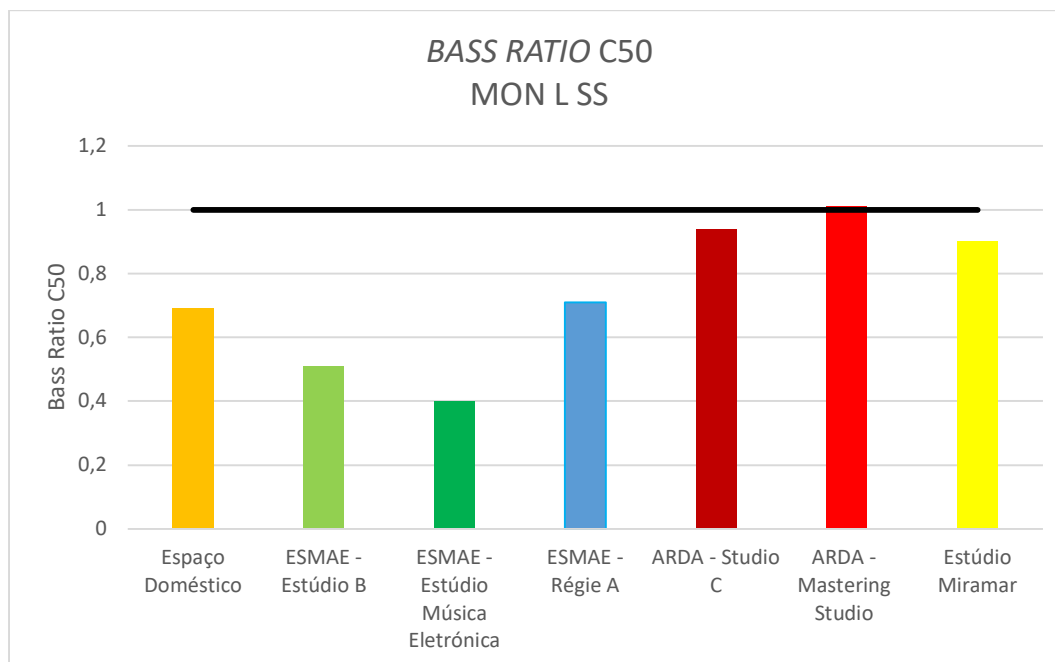


Figura 366 – Gráfico comparativo dos valores obtidos com a aplicação da equação do *Bass Ratio* aos resultados de C50, no par MON L – SS, para cada uma das salas estudadas

Reconhecendo a necessidade de uma escuta precisa ao longo de todo o espectro, os valores apreciados no gráfico da Figura 365 não representam na totalidade a performance de cada espaço, no que diz respeito à medição do Fator de Clareza.

No gráfico da figura Figura 366 é apresentado, para cada espaço, o rácio entre os valores de C50 nas bandas de oitava de 63 Hz, 125 Hz e 250 Hz, com as bandas de 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz. Trata-se da aplicação da fórmula do *Bass Ratio* (Equação 14), aos valores de C50.

Desta forma, é possível perceber que a sala “ARDA – Mastering Studio”, apesar de apresentar o valor mais baixo de C50, entre os estúdios profissionais, o rácio entre os valores medidos nas bandas frequências baixas e bandas de frequências altas é de 1,01, ou seja, o Fator de Clareza é muito similar ao longo de todo o espectro. Os espaços “ARDA – Studio C” e “Estúdio Miramar” apresentam rácio de 0,94 e 0,90, respetivamente. O Fator de Clareza nas bandas de frequência mais graves é inferior às bandas superiores.

Dos restantes espaços, destaca-se o “Espaço Doméstico”, que apesar do valor de C50 apresentado no gráfico da Figura 365, apresenta um rácio de 0,69, mais alto que as salas “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica”; a aplicação de

soluções de acondicionamento acústico que não atuem sobre a toda a gama de frequências conduz não só a tempos de reverberação diferentes entre altas e baixas frequências, mas também a um Fator de Clareza dispar entre a região grave e aguda.

A análise dos valores de *Bass Ratio* e do rácio entre frequências graves e agudas aplicado aos valores de C50 são esclarecedores quanto ao resultado da utilização de elementos de correção acústica cuja eficácia se concentre nas regiões médias e agudas.

## **13.9 Comparação e Análise da Resposta em Frequência**

### **13.9.1 Comparação e Análise dos Desvios Médios na Resposta em Frequência**

Os desvios médios na resposta em frequência apresentados neste capítulo são derivados dos resultados apresentados no capítulo 14. A única diferença prende-se com o facto de os resultados apresentados serem obtidos através de uma média aritmética dos valores de desvio de MON L e MON R. A Figura 367 apresenta uma, para cada sala, o resultado dos desvios médios na resposta em frequência, para os pontos SS e BACK.

O objetivo é perceber se os desvios médios são menores no ponto SS, comparado com o ponto BACK, como seria expectável, uma vez que SS é o ponto de escuta privilegiado. A análise foca-se apenas na gama de frequências contida entre os 250 Hz e os 4000 Hz, para eliminar a influência da região modal e focar as frequências médias.

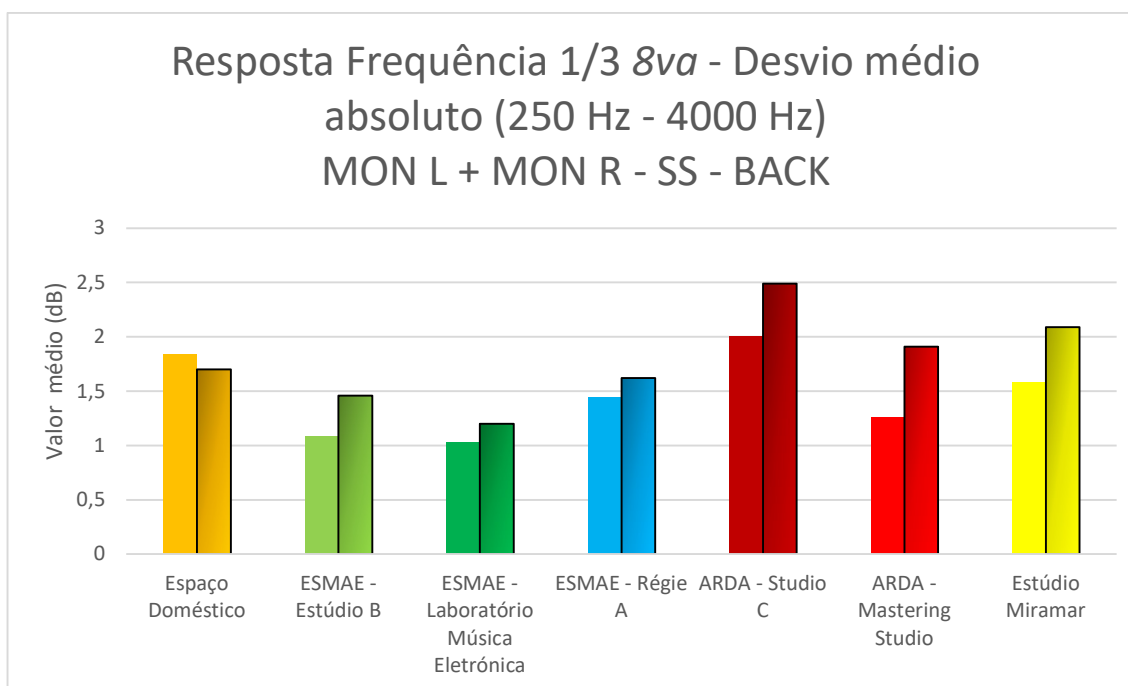


Figura 367 - Gráfico comparativo do valor de desvio médio absoluto na resposta em frequência, segundo método apresentado no capítulo 14.1.14, para a média das fontes MON L e MON R, nos pontos SS (à esquerda) e BACK (à direita)

A sala “Espaço Doméstico” apresenta um valor de desvio médio próximo, entre os pontos SS e BACK, o que pode sugerir alguma consistência na resposta em frequência, na zona média, entre as duas posições da sala, no entanto, é preciso considerar que os desvios a resposta em frequência podem ser similares na sua amplitude absoluta, mas concentrados em gamas de frequência diferentes, ou com direções opostas (desvios positivos ou negativos). Assim, a principal conclusão a reter da Figura 367 é de que todos os espaços à exceção do espaço doméstico estão otimizados para a obtenção de uma resposta em frequência mais linear no ponto SS, quando comparado com o ponto BACK.

Também é de realçar que os estúdios “ESMAE – Estúdio B” e “ESMAE – Laboratório de Música Eletrónica” tem um valor médio de desvios mais baixo que os três estúdios profissionais: “ARDA – Studio C”, “ARDA – Mastering Studio” e “Estúdio Miramar”. Este último ponto pode indicar que a otimização da resposta em frequência na gama média apresenta baixa dificuldade, associada ao espaço e quantidade de materiais necessários. É possível em espaços adaptados, alcançar resultados de resposta em frequência comparáveis a espaços profissionais. Também fica vigente que a resposta em frequência não é suficiente para colocar uma sala num patamar de performance profissional. Outros fatores como o C50, ou *Bass Ratio* são igualmente importantes.

## 14. Conclusões

### **Medições em salas assimétricas / Necessidade de utilização de dois monitores na medição da resposta em frequência no ponto de escuta**

Diferenças na simetria da sala resultam em alterações no comportamento das reflexões, com a influência na resposta em frequência no ponto de escuta (SS) a ser variável consoante o espaço.

A sala “ESMAE – Régie A”, que é um espaço estruturalmente assimétrico apresenta algumas diferenças na resposta em frequência entre MON L – SS e MON R – SS, como se pode verificar na Figura 180.

As medições realizadas na sala “ARDA – Studio C” apresentam uma resposta em frequência muito similar entre os dois monitores (MON L e MON R), como se verifica na Figura 225. É possível que as diferenças causadas pelo comportamento das reflexões, devidas à presença de uma janela lateral, se manifestem de forma subtil, sobretudo como distorções do palco sonoro, efeitos que são difíceis de quantificar e apresentar no tipo de medições realizadas.

A relação entre som direto e som refletido pode ter influência nas diferenças detetadas entre MON L – SS e MON R – SS. Tanto a sala “ESMAE – Régie A”, como a sala “ARDA – Studio C” apresentam uma superfície de vidro à direita de ponto de escuta, no entanto, a distância relativa entre o ponto de medição (SS) e fontes sonoras (MON L e MON R), comparada com a superfície refletora (vidro) é significativamente superior na sala “ARDA – Studio C”, com os altifalantes a estarem mais próximos, o que diminui a influência da energia refletida na resposta.

A utilização de dois altifalantes (MON L e MON R) é recomendável na medição da resposta em frequência no ponto de escuta de salas assimétricas. A importância da medição dos dois monitores depende da distância relativa entre o ponto de medição e as superfícies refletoras (relação som direto/som refletido) e o grau de assimetria do espaço.

No caso da sala “ESMAE – Régie A”, o espaço tem uma superfície de vidro à direita do ponto de escuta e a sala não é perfeitamente retangular, ao que se soma o facto de os altifalantes não estarem encostados/encastrados na parede, o que acrescenta mais variáveis aos conjuntos de reflexões e som direto possíveis, entre altifalantes e superfícies fronteira. Em situações similares, justifica-se a necessidade de efetuar medições com os dois

monitores, uma vez que se detetam algumas diferenças na resposta em frequência dos pares MON L – SS e MON R – SS (Figura 180).

### **Utilização de uma fonte dodecaédrica/semi-dodecaédrica**

No estudo realizado e conforme apresentado no capítulo 11, foi utilizada uma fonte sonora semi-dodecaédrica, além dos monitores de cada espaço estudado, como elementos de reprodução do sinal de excitação.

A utilização de uma fonte sonora semi-dodecaédrica, para medição do tempo de reverberação, no tipo de espaços analisados (pequena e média dimensão), é recomendável, apesar de os resultados obtidos com a fonte semi-dodecaédrica e os monitores de cada sala serem, na maioria dos casos, muito similares.

A abordagem seguida revela-se útil quando analisados os resultados obtidos na medição da sala “ARDA – Mastering Studio” cujos valores de T30 nos pares MON L – SS e MON R – SS apresentam um aumento significativo na banda de 1/3 de oitava de 125 Hz, que não se manifesta no par DODEC – SS (Figura 276). Neste caso a utilização de uma fonte adicional aos monitores da sala permitiu identificar que a causa do aumento do tempo de reverberação na região dos 125 Hz, provavelmente não está ligada diretamente/exclusivamente à resposta da sala.

Não existindo a possibilidade de movimentar MON L e MON R pelo espaço, a utilização de uma fonte externa (dodecaédrica ou não), ganha relevância.

### **Influência de janelas laterais**

A presença de janelas e a sua influência na resposta acústica de uma sala é um fator importante. As janelas podem servir como forma de ligar visualmente dois espaços, ou simplesmente para servir a vontade de fornecer ao espaço luz natural. Muitas vezes, espaços adaptados para a construção de *Home Studios*, ou *Project Studios* contam com janelas na sua construção.

Especulando sobre os resultados medidos na sala “ARDA – Studio C”, a obtenção de bons resultados depende da relação som direto/som refletido e do facto de as restantes superfícies (excluindo o chão), serem não-refletoras, de forma que energia refletida seja absorvida após a primeira reflexão. Analisando Figura 348 e comparando o resultado da sala “ARDA – Studio C” com as restantes, demonstra-se que mesmo numa sala com uma superfície refletora de grandes dimensões, é possível que as primeiras reflexões tenham pouca relevância/energia, em relação ao som direto.

### **Distância preferencial aos altifalantes**

Consoante verificado em espaços profissionais (“ARDA – Mastering Studio” e “Estúdio Miramar”) e cálculos obtidos segundo a aplicação da Equação 15, uma distância igual ou superior a 2 metros entre o ponto de escuta preferencial e os monitores de escuta é, geralmente, adequada a um standard profissional. Foi possível também verificar que um dos estúdios profissionais analisado não cumpre esta condição (“ARDA – Studio C”), por questões de logística da distribuição dos elementos de mobiliário e meios técnicos no espaço. A maior proximidade entre o ponto de escuta e os altifalantes pode ser benéfica caso seja necessário aumentar a relação som direto/som refletido.

Uma distância superior a 2 metros entre os altifalantes e o ponto de escuta é recomendável, mas não é uma condição encontrada em todos os espaços profissionais.

### **Utilização da resposta em magnitude como parâmetro de avaliação da performance de um espaço**

Quando se mede a resposta de um espaço, mede-se sempre binómio fonte sonora – espaço, para um ponto específico do espaço.

A resposta em magnitude, por si só, não é suficiente para quantificar a performance de um espaço. Como se pode verificar no capítulo 13.8.1, é possível obter uma resposta em frequência, na gama média, com desvios iguais ou inferiores aos detetados num espaço profissional, como foi possível verifica na análise do “Espaço Doméstico”, no entanto, o mesmo espaço apresenta, por exemplo, o valor de *Bass Ratio* bastante acima de 1 (1,82 no par DODEC - SS), e valores de C50 baixos (10,08 dB entre os 500 e 4000 Hz, com valores de 3,1 dB na banda de oitava de 63 Hz), quando comparados com salas de referência (que apresentam valores de C50 iguais ou superiores a 17dB, em todas as bandas de oitava).

### **Estimativa de frequências modais – dimensões a considerar**

Quando se realiza uma previsão da atividade modal, a consideração das dimensões das fronteiras estruturais conduz a resultados mais próximos da realidade, como se pode verificar no Apêndice 1, Apêndice 2 e Apêndice 3. A consideração das superfícies interiores (paredes falsas), conduz a erros superiores na previsão do comportamento modal de um espaço, uma vez que estas superfícies, normalmente, não se apresentam enquanto elementos refletoras às baixas frequências.

### **Salas tratadas acusticamente e cálculo da Frequência de Schroeder**

Em algumas das salas analisadas os problemas associados à região modal (picos e vales na resposta em frequência) manifestam-se acima da frequência de Schroeder calculada. Mesmo tendo em conta que a Frequência de Schroeder assinala uma região e não um limite absoluto, nas salas “ESMAE – Estúdio B”, “ESMAE – Régie A” esta região de transição prolonga-se muito acima da frequência calculada. As salas referidas apresentam valores calculados para a Frequência de Schroeder de 119 Hz e 118 Hz respetivamente, no entanto, como é possível verificar na Figura 87 e Figura 180. A resposta visível em ambos os gráficos apresente fenómenos que se podem associar a comportamento modal até cerca dos 180 Hz.

O cálculo da Frequência de Schroeder utiliza o tempo de reverberação médio como variável. A utilização do tempo de reverberação médio, em salas com aplicação de elementos de absorção eficazes sobretudo nas médias e altas frequências (acima de 250 Hz), conduz a uma variável de tempo de reverberação médio mais baixa e, conseqüentemente, resulta no cálculo de uma Frequência de Schroeder mais baixa. Quanto mais homogêneo o tempo de reverberação ao longo do espectro, mais curto o intervalo associado à região de transição da Região Modal para a Região de Difração e Difusão.

Independentemente do problema acima apresentado, verifica-se que a Frequência de Schroeder, calculada para os estúdios profissionais, apresenta valores iguais ou inferiores a 83 Hz, com os restantes a apresentarem valores iguais ou superiores a 90 Hz. Estes valores indiciam que o cálculo da Frequência de Schroeder, num espaço de standard profissional deverá estar próxima, ou abaixo dos 83 Hz, para obtenção de uma performance de padrão profissional.

### **Importância dos rácios de dimensões**

A sala “ARDA – Studio C” tem um rácio de dimensões que, segundo a Figura 347, não são considerados favoráveis ao controlo da atividade. No entanto, neste espaço, a influência das frequências modais não se manifesta de sobremaneira na resposta medida, no par DODEC – SS Figura 223 (método utilizado para a deteção de frequências modais), o que sugere que mesmo que os rácios das dimensões de um espaço não sejam favoráveis, é possível colmatar os efeitos adversos da atividade modal, caso sejam aplicadas soluções acústicas em quantidades suficientes para o efeito. Caso o espaço não conte com níveis tão altos de absorção às baixas frequências, a importância da relação entre as dimensões dos eixos da sala ganha importância.

### **Número de frequências modais estimadas e detetadas**

O número de frequências modais estimadas para os estúdios profissionais é igual ou inferior a 13, sendo este valor igual ou superior a 18 para os restantes espaços (Figura 351). Foram detetados 5 ou menos frequências modais ativas nos espaços profissionais, com os restantes estúdios a apresentarem valores iguais ou superiores a 11 (Figura 352).

A redução/eliminação da influência dos modos próprios é uma característica que distingue o comportamento acústico dos espaços de utilização profissional, quando comparados com os espaços de tipologia *Home Studio/Project Studio*.

### **T30 e EDT nos espaços profissionais estudados**

As salas profissionais, todas com grande percentagem de superfície absorvente, apresentam valores de EDT tendencialmente iguais ou inferiores a T30 na região média e aguda. Na região grave o EDT é sempre superior a T30. Todas as salas profissionais são salas *Non-Environment*.

Seria necessário analisar mais espaços de utilização profissional, construídos segundo outras filosofias que não a *Non-Environment*, de forma a perceber se tendencialmente os espaços de padrão profissional apresentam a relação entre EDT e T30 acima descrita, ou se se trata, simplesmente, do comportamento normal de salas *Non-Environment*.

A sala profissional com valores de EDT e T30 mais próximos na região grave é “ARDA – Mastering” (a sala de maior dimensão). Não existem dados para comprovar que este comportamento se deve às dimensões da sala, no entanto a bibliografia sugere que salas de maiores dimensões apresentam menos comportamentos associados a frequências ressonantes. Os materiais utilizados para a atuação sobre as frequências graves (membranas e ressoadores) também apresentam algum “comportamento ressoador” e são “lentas” na sua atuação, pelo que uma maior distância entre os pontos de medição e os elementos de acondicionamento acústico poderá permitir um comportamento mais linear do decaimento da energia reverberante. Coincidentemente também foi o estúdio “ARDA – Mastering Studio” o único a apresentar valores de C50 lineares ao longo do espectro.

### **Tempo de reverberação e *Bass Ratio* adequados**

A obtenção de tempos de reverberação ideais ou próximos de ideais, nas frequências médias e agudas, segundo a Equação 11, é possível em espaços não profissionais, como é possível verificar na Figura 357. A manutenção de um valor de *Bass Ratio* adequado é um critério mais difícil de cumprir, como se pode verificar na Figura 360. Os espaços

profissionais apresentam um valor de *Bass Ratio* igual ou inferior a 1,38 (MON L - SS) com os restantes a apresentar valores iguais ou superiores a 1,45 (MON L - SS).

### **O aumento do tempo de reverberação nas bandas de oitava de 125 Hz e 63 Hz é um comportamento expectável**

Apenas a sala “ARDA - Mastering” apresentou um *Bass Ratio* inferior a 1, apenas no ponto de escuta, e uma diminuição do tempo de decaimento na gama de 125 Hz (Figura 362). Todos os restantes espaços apresentam um valor de *Bass Ratio* superior a 1, com aumentos do tempo de decaimento superiores a 20% na banda de oitava de 125 Hz, comparada com a banda de oitava de 1000 Hz. Na banda de oitava de 63 Hz todos espaços profissionais apresentam aumentos do tempo de reverberação com aumentos inferiores a 80%, em relação à banda de 1000 Hz (Figura 363). O aumento do tempo de reverberação nas bandas de oitava de 63 Hz e 125 Hz, em relação à banda de 1000 Hz, é expectável, mesmo em espaços de padrão profissional, no entanto, verifica-se que estes aumentos são inferiores aos verificados nos espaços adaptados.

### **ITDG (Initial Time Delay Gap)**

Para os espaços profissionais, pôde-se verificar que, durante os primeiros 20 ms do decaimento, não existem reflexões que se destaquem da restante energia, com exceção da sala “ARDA – Studio C”, cuja reflexão em questão, provavelmente será proveniente do vidro à direita do ponto de escuta (no entanto, esta reflexão apresenta cerca de -16 dB em relação ao impulso inicial).

O “Espaço Doméstico”, por exemplo, apresenta várias reflexões, com cerca de -10 dB em relação ao som direto, fruto das várias superfícies refletoras presentes no espaço.

Destacam-se os valores medidos na sala “ESMAE – Régie A”, na qual se deteta uma reflexão com cerca de -6 dB em relação ao som direto, nos instantes iniciais do decaimento. Comparando a sala “ESMAE – Régie A”, com a sala “ARDA – Studio C”, podem-se traçar algumas similaridades, com ambas a apresentarem uma superfície refletora (vidro) à direita do ponto de escuta, no entanto, a intensidade das reflexões causadas pelas referidas superfícies, em relação ao som direto, no ponto de escuta, é muito menor no espaço de utilização profissional. A manutenção de um decaimento sem reflexões fortes nos primeiros 20 ms, não depende apenas da presença/ausência de superfícies refletoras, mas também da relação som direto/som refletido, e/ou do posicionamento das superfícies refletoras em relação ao ponto de escuta.

Segundo os espaços profissionais analisados, a ausência de reflexões com -10 dB ou mais energia em relação ao impulso inicial é uma constante (Figura 348) (excluindo potencial energia refletida proveniente das superfícies de trabalho, que se trata de energia muito próxima ao impulso inicial e difícil de quantificar com as ferramentas disponíveis neste estudo). Assim, conclui-se que a ausência de reflexões com energia superior a -10 dB em relação ao som direto, conforme sugerido na bibliografia consultada e apreciável nas medições efetuadas, se trata de uma condição a cumprir para um espaço adaptado (*Home Studio/Project Studio*), caso se pretenda uma performance acústica similar a um espaço de utilização profissional.

### **As dimensões estruturais típicas de um *Home Studio* permitem um condicionamento acústico eficaz?**

Teoricamente, é possível adaptar um espaço doméstico para obter um padrão de qualidade similar a um estúdio profissional, pelo menos no ponto preferencial de escuta. Utilizando o “Estúdio Miramar” como referência, espaço que apresenta uma altura de 2,63 m (capítulo 12.7.1), dimensão similar ao teto de um espaço de habitação, pode-se verificar que é possível resolver problemas associados a reflexões do teto, à custa de volume útil do espaço. Os recursos de acondicionamento acústico nas paredes e teto resultam na redução da influência dos modos da sala, controlo do tempo de reverberação e valores altos do Fator de Clareza. O “Estúdio Miramar” não apresenta uma estrutura de caixa dentro de caixa, na totalidade das superfícies. Dos estúdios profissionais abordados, o “Estúdio Miramar” apresenta a volumetria bruta mais baixa (Figura 344). A área bruta disponível é de 27,43 m<sup>2</sup>, que comparada com o “Espaço Doméstico” (18,05 m<sup>2</sup>), utilizado como referência, é 51% maior.

O “Estúdio Miramar” apresenta uma redução de 4,98 m<sup>2</sup>, para aplicação do acondicionamento acústico no espaço. Aplicando a mesma perda absoluta no “Espaço Doméstico”, resultaria numa área útil sobrando de 13,07 m<sup>2</sup>, ou seja, uma redução de 27,6%. Esta comparação não inclui os materiais colocados junto ao teto (que não reduzem a área útil).

Considerando o volume ocupado com material de acondicionamento acústico no “Estúdio Miramar”, este é igual a 25,8% do volume da sala. Aplicando a mesma percentagem ao volume do “Espaço Doméstico”, obtém-se um volume sobrando de 12,29 m<sup>3</sup> e volume sobrando de 35,36 m<sup>3</sup>.

O volume ocupado com acondicionamento acústico no “Estúdio Miramar” é de 18,61 m<sup>3</sup>. Aplicando a mesma volumetria de material destinado ao acondicionamento acústico do espaço, no “Espaço Doméstico”, sobra uma volumetria útil de 29,04 m<sup>3</sup>, uma redução de 39% do volume útil do espaço.

Considerando que se poderia baixar o teto do Espaço Doméstico de 2,64 m, para 2,20 m, utilizando o volume útil perdido para acomodar material de controlo acústico, essa volumetria seria de 7,94 m<sup>3</sup>. Para igualar a volumetria de material de controlo acústico presente no “Estúdio Miramar”, seriam necessários mais 10,67 m<sup>3</sup>, que seriam colocados junto das paredes. A área ocupada, para distribuição do restante material, considerando a nova altura de 2,20 m, seria de 4,85 m<sup>2</sup>, ou seja, uma redução de 26,87% da área útil, de 18,05 m<sup>2</sup>, para 13,2 m<sup>2</sup>. Este processo admite a total eliminação da janela presente no espaço.

O procedimento acima descrito não garante uma performance similar entre os dois espaços, tratando-se apenas de uma série de referências em relação à quantidade de área e volume necessários para o acondicionamento acústico de um espaço de habitação, tendo como referência processos aplicados num estúdio profissional.

Muitos espaços domésticos poderão não contar com dimensões que permitam a utilização de recursos que possibilitem a atuação sobre as frequências mais baixas. Para as regiões média e aguda, a obtenção de uma resposta em frequência linear é perfeitamente possível, como é possível observar pelos resultados demonstrados pela sala “ESMAE – Estúdio B”, cuja instalação de painéis acústicos é pouco dispendiosa em termos de espaço.

## Conclusões Finais

Após a análise quantitativa dos parâmetros acústicos abordados conclui-se que:

- os principais fatores diferenciadores entre os espaços de tipologia *Home Studio/Project Studio* e os espaços de utilização profissional estão ligados sobretudo ao comportamento das baixas frequências;
- os espaços profissionais apresentam um baixo número de frequências modais ativas (número igual ou inferior a 5 detetadas);
- o tempo médio de reverberação em espaços de utilização profissional é curto (entre 0,12 segundos e 0,17 segundos);
- o *Bass Ratio* é mais próximo 1 (entre 0,96 e 1,38, quando medido no *sweet spot*), nos espaços profissionais, em comparação com restantes espaços (que apresentam valores iguais ou superiores a 1,45);

- em espaços profissionais, as reflexões contidas nos primeiros 20 ms apresentam valores de energia similares, quanto medidas no ponto de escuta com os monitores esquerdo e direito, com uma diferença em relação ao impulso inicial igual ou superior de -14 dB (que cumpre os -10 dB recomendados na bibliografia);
- os valores de C50, em espaços de utilização profissional, são superiores aos restantes espaços, com uma variação reduzida ao longo do espectro. O valor médio de C50, compreendido entre as bandas de oitava de 500 Hz e 4000 Hz, mais baixo entre os estúdios profissionais é igual a 19,98 dB. Os espaços não profissionais apresentam valores iguais ou inferiores a 18,23 dB. O rácio entre os valores médios entre as bandas de oitava de 63 Hz, 125 Hz e 250 Hz com as bandas de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz é igual ou superior a 0,9 para os espaços profissionais. Os espaços não profissionais, para o mesmo rácio, apresentam valores iguais ou inferiores a 0,71, ou seja, os valores de C50 são mais baixos nas baixas frequências;
- em suma, os fatores mais relevantes, detetados no presente estudo, para distinção entre espaços profissionais e espaços adaptados estão ligados ao acondicionamento da energia nas baixas frequências, ou seja, ausência de interferência modal e equilíbrio do tempo de decaimento entre as baixas frequências e as restantes, que se manifesta em valores de *Bass Ratio* próximos a 1 e valores de C50 iguais ou superiores a 19,98 dB (média 500 Hz – 4000 Hz). As reflexões contidas nos primeiros 20 ms após o impulso inicial apresentam uma energia igual ou inferior a -14 dB, com resultados similares entre os dois monitores, quando medidos no ponto de escuta preferencial. A resolução de grande parte dos problemas apresentados necessita da disponibilidade áreas e volumes mínimos, que acomodem a instalação de elementos de controlo acústico adequados.

## 15. Trabalho Futuro

Os sistemas de excitação acústica dos espaços (altifalantes) não foram, na sua totalidade, os mesmos em todos os espaços. É possível apresentar o argumento de que algumas das conclusões obtidas podem ser fruto das diferenças nos sistemas de reprodução e não das características do espaço. Poderia ser interessante (ainda que logisticamente difícil) a possibilidade de realizar um estudo similar, no qual as fontes sonoras se mantêm em todos os espaços.

Como referido anteriormente, o cálculo da frequência de Schroeder depende muito do tempo médio de reverberação, o que resulta em valores artificialmente baixos (a atividade modal estende-se muito acima da frequência obtida pelo cálculo), em salas com muita absorção concentrada nas médias e altas frequências. Poderia ser importante a proposta/utilização de um método para o cálculo do limite da região modal, que permitisse obter resultados úteis em salas com mais ou menos reverberação (por exemplo: considerar apenas a média do tempo de reverberação nas bandas de oitava mais graves).

O estudo de espaços profissionais construídos com outras filosofias que não variações do conceito *Non-Environment*, poderia ser importante, de forma a perceber se os resultados medidos no presente estudo (que conta apenas com estúdios profissionais construídos segundo filosofias de espaços *Non-Environment*), podem ser igualados em espaços construídos segundo outras filosofias. Também a medição e estudo de *Home Studios/Project Studios* construídos segundo filosofias diferentes da *Reflection Free Zone* poderia esclarecer se algumas das limitações identificadas neste tipo de espaços está relacionada com a filosofia empregue na conceção dos mesmos, ou se estão ligadas à menor profundidade das intervenções em geral.

Poderia ser útil a comparação de resultados em espaços com janelas, com as superfícies de vidro expostas VS cobertas (com elementos com características similares às superfícies que contornam as janelas), de forma a avaliar a real afetação destes elementos nos resultados. Também poderia ser útil um estudo focado no estudo das consequências da colocação de uma superfície de vidro em vários pontos do espaço (com os restantes elementos do espaço a manterem-se constantes), num estudo comparativo, de forma a avaliar qual a diversidade de consequências da colocação de superfícies de vidro em diferentes posições.

## Bibliografia

- B.M.Fazenda, & Angus, J. (2002). *INTERNAL ACOUSTIC DESIGN FOR A MULTI-CHANNEL CONTROL ROOM - MEASUREMENT AND PERCEPTION*. University of Salford, School of Acoustics and Electronic Engineering, UK: University of Salford, School of Acoustics and Electronic Engineering, UK.
- Ballou, G. (2008). *Handbook for Sound Engineers* (4<sup>a</sup> ed.). 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA: Focal Press.
- Behringer GmbH. (07 de abril de 2022). *behringer.com*. Obtido de behringer.com: <https://www.behringer.com/product.html?modelCode=P0118>
- Brandt, J. H. (2016). *Resources*. Obtido de John H. Brandt Acoustic Designs: <https://jhbrandt.net/resources/>
- Cox, T. J., & D'Antonio, P. (2009). *Acoustic Absorbers and Diffusers 2nd Edition*. Taylor & Francis 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, USA: Taylor & Francis.
- Cox, T. J., D'Antonio, P., & Avis, M. R. (junho de 2004). Room Sizing and Optimization at. *JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY*, 640-651.
- Dunn, M., & Protheroe, D. (2014). Visualization of early reflections in control . *137th Audio Engineering Society Convention* (pp. 1 - 10). Los Angeles, USA: Audio Engineering Society.
- Everest, F. A. (2001). *Master Handbook of Acoustics*. United States of America: McGraw-Hill.
- Fazenda, B., & Davies, W. J. (2001). The views of recording studio control room users. *Proceedings- Institute of Acoustics*.
- Focusrite PLC. (07 de abril de 2022). *store.focusrite.com*. Obtido de store.focusrite.com: [https://store.focusrite.com/en-gb/categories/focusrite/scarlett/product/scarlett-18i20-2nd-gen/MOSC0015DM~MOSC0015DM?utm\\_term=&utm\\_campaign=&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=9998263402&hsa\\_cam=16634448189&hsa\\_grp=137558284489&hsa\\_ad=589104644830&](https://store.focusrite.com/en-gb/categories/focusrite/scarlett/product/scarlett-18i20-2nd-gen/MOSC0015DM~MOSC0015DM?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=9998263402&hsa_cam=16634448189&hsa_grp=137558284489&hsa_ad=589104644830&)
- Foley, D. (19 de 01 de 2014). *Resonant Absorbers & Why You Need Them*. Obtido de AcousticFields.com: <https://www.acousticfields.com/resonant-absorbers/>
- Henrique, L. L. (2002). *Acústica Musical*. Av. de Berna - Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian.

- ISO. (2008). *ISO 3382-2 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*. Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Kaplanis, N., Bech, S., Lokki, T., Waterschoot, T. v., & Jensen, S. H. (2019). Perception and preference of reverberation in small listening rooms for multi-loudspeaker reproduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 3562–3576.
- Kuttruff, H. (2000). *Room Acoustics* (4<sup>a</sup> ed.). Spon Press: Spon Press.
- Larsen, N. W., Olmos, E., & Gade, A. C. (2004). ACOUSTICS IN HALLS FOR ROCK MUSIC. *Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004* (pp. BNAM2004-1 - BNAM2004-4). Mariehamn, Åland: Baltic-Nordic Acoustics .
- Mulcahy, J. (2021). *www.roomeqwizard.com*. Obtido em 27 de 05 de 2022, de [www.roomeqwizard.com](http://www.roomeqwizard.com): <http://www.roomeqwizard.com/REWhelp.pdf>
- Neubauer, R. O. (2000). Estimation of Reverberation Time in Rectangular Rooms With Non Uniformly Distributed Absorption Using A Modified Fitzroy Equation . *Seventh International Congress on Sound and Vibration* (pp. 1709-1716). Garmisch-Partenkirchen, Germany: Springer.
- Newell, P. (2008). *Recording Studio Design 2nd Edition*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK: Focal Press.
- Noxon, A. (05 de fevereiro de 2014). *Art's Blog: Limp Mass Membrane Bass Traps?* Obtido de Acoustic Sciences Corporation: <https://www.acousticssciences.com/artblog/limp-mass-membrane-bass-traps/>
- Rossing, T. D. (2007). *Springer Handbook of Acoustics*. Thomas D. RossingStanford UniversityCenter for Computer Research in Music and AcousticsStanford, CA 94305, USA: Springer.
- Rumsey, F., Griesinger, D., Holman, T., Sawaguchi, M., Steinke, G., Theile, G., & Wakatuki, T. (2001). Multichannel surround sound systems and operations. *AES TECHNICAL COUNCIL*. 60 East 42nd Street, Room 2520, New York, NY 10165-2520, USA: AUDIO ENGINEERING SOCIETY, INC.
- Schuhmacher, J. (2007). *Introduction to 2D- quadratic residue diffusers*. Obtido em 21 de 06 de 2022, de [96KHz.org](http://www.96khz.org): <http://www.96khz.org/oldpages/qrdiffusers2d.htm>
- Tervo, S., Laukkanen, P., Pätynen, J., & Lokki, T. (2014). Preferences of Critical Listening Environments Among Sound Engineers. *Journal of the Audio Engineering Society* , 300-314.

Toole, F. E. (2008). *Sound Reproduction - Loudspeakers and Rooms*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK: Focal Press.

## **Anexos**

### **Anexo 1**

## Technical Specifications

EN

ES

FR

DE

PT

IT

NL

SE

PL

JP

CN



### MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone



2 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

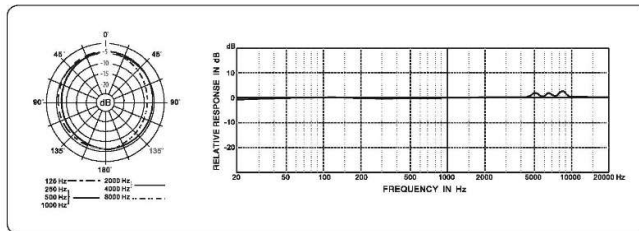
EN

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### FEATURES

- Ultra-linear condenser microphone for measurement and recording application
- Perfectly suited for room equalization application plus high-resolution studio recording and live applications
- Exceptionally flat frequency response and ultra-high sound resolution
- Evenly weighted, true omnidirectional pattern
- Works with phantom power from +15 to +48 V
- Perfect for use with the Behringer ULTRACURVE or any other analyzer
- Ultra-low noise transformerless FET input eliminates low-frequency distortion
- Gold-plated 3-pin XLR connector for highest signal integrity
- Swivel stand mount and transport case included



#### Specifications

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer is constantly striving to maintain the highest professional standards. As a result of these efforts, modifications may be made from time to time to existing products without prior notice. Specifications and appearance may differ from those listed or illustrated.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Technical specifications and appearance are subject to change without notice. The information contained herein is correct at the time of printing. All trademarks are the property of their respective owners. Music Tribe Global Brands Ltd. accepts no liability for any damages or loss which may be suffered by any person who relies either wholly or in part upon any description, photograph or statement contained herein.

4 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

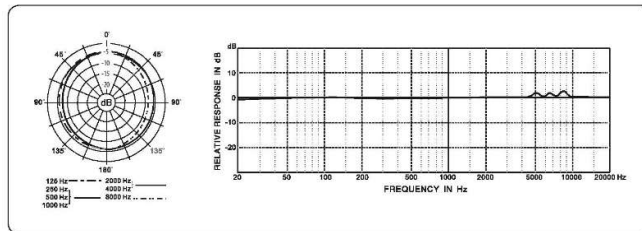
# MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

## Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

FR

### CARACTÉRISTIQUES

- Microphone à condensateur ultra-linéaire pour les applications de mesure et d'enregistrement
- Parfaitement adapté aux applications d'égalisation de pièce, à l'enregistrement en studio haute résolution et aux applications en direct
- Réponse en fréquence exceptionnellement plate et résolution sonore ultra-élevée
- Motif omnidirectionnel véritable et pondéré uniformément
- Fonctionne avec une alimentation fantôme de +15 à +48 V
- Parfait pour une utilisation avec le Behringer ULTRACURVE ou tout autre analyseur
- L'entrée FET sans transformateur à très faible bruit élimine la distorsion basse fréquence
- Connecteur XLR 3 broches plaqué or pour une intégrité de signal maximale
- Support pivotant et étui de transport inclus



### Caractéristiques

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer s'efforce constamment de maintenir les normes professionnelles les plus élevées. À la suite de ces efforts, des modifications peuvent être apportées de temps à autre aux produits existants sans préavis. Les spécifications et l'apparence peuvent différer de celles répertoriées ou illustrées.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Les spécifications techniques et l'apparence peuvent être modifiées sans préavis. Les informations contenues dans ce document sont correctes au moment de l'impression. Toutes les marques sont la propriété de leurs propriétaires respectifs. Music Tribe Global Brands Ltd. n'accepte aucune responsabilité pour tout dommage ou perte qui pourrait être subi par toute personne qui se fonde en tout ou en partie sur une description, une photographie ou une déclaration contenue dans ce document.

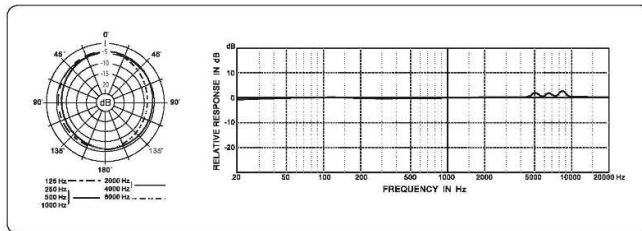
3 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

# MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

## Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

### CARACTERÍSTICAS

- Micrófono de condensador ultra lineal para aplicaciones de medición y grabación
- Perfectamente adecuado para aplicaciones de equalización de salas, además de grabaciones de estudio de alta resolución y aplicaciones en vivo
- Respuesta de frecuencia excepcionalmente plana y resolución de sonido ultra alta
- Patrón omnidireccional verdadero ponderado uniformemente
- Funciona con alimentación fantasma de +15 a +48 V
- Perfecto para usar con Behringer ULTRACURVE o cualquier otro analizador
- La entrada FET sin transformador de ruido ultrabajo elimina la distorsión de baja frecuencia
- Conector XLR de 3 pines chapado en oro para la máxima integridad de la señal
- Soporte giratorio y estuche de transporte incluidos



### Especificaciones

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer se esfuerza constantemente por mantener los más altos estándares profesionales. Como resultado de estos esfuerzos, es posible que se realicen modificaciones de vez en cuando a los productos existentes. Sin previo aviso. Las especificaciones y la apariencia pueden diferir de las enumeradas o ilustradas.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Las especificaciones técnicas y la apariencia están sujetas a cambios sin previo aviso. La información aquí contenida es correcta en el momento de la impresión. Todas las marcas registradas son propiedad de sus respectivos dueños. Music Tribe Global Brands Ltd. no acepta ninguna responsabilidad por los daños o pérdidas que pueda sufrir cualquier persona que se base total o parcialmente en cualquier descripción, fotografía o declaración aquí contenida.

6 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

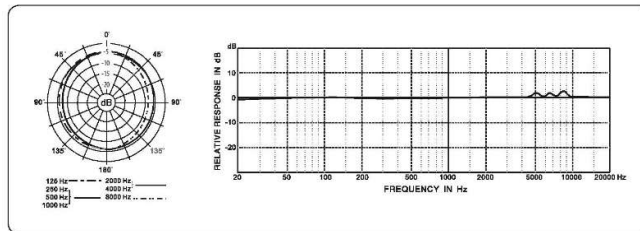
## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### RECURSOS

- Microfone condensador ultra-linear para aplicação de medição e gravação
- Perfeitamente adequado para aplicações de equalização de ambiente, além de gravação de estúdio de alta resolução e aplicações ao vivo
- Resposta de frequência excepcionalmente plana e resolução de som ultra-alta
- Equilibrado, verdadeiro padrão omnidirecional
- Funciona com alimentação fantasma de +15 a +48 V
- Perfeito para uso com o Behringer ULTRACURVE ou qualquer outro analisador
- A entrada FET sem transformador de ruído ultrabaixo elimina a distorção de baixa frequência
- Conector XLR de 3 pinos folheado a ouro para maior integridade de sinal
- Suporte de suporte giratório e maleta de transporte incluídos

PT



#### Especificações

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer está constantemente se esforçando para manter os mais altos padrões profissionais. Como resultado desses esforços, modificações podem ser feitas de tempos em tempos em produtos existentes sem aviso prévio. As especificações e aparência podem ser diferentes das listadas ou ilustradas.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. As especificações técnicas e aparência estão sujeitas a alterações sem aviso prévio. As informações aqui contidas estão corretas no momento da impressão. Todas as marcas registradas são de propriedade de seus respectivos donos. Music Tribe Global Brands Ltd. não se responsabiliza por quaisquer danos ou perdas que possam ser sofridos por qualquer pessoa que dependa total ou parcialmente de qualquer descrição, fotografia ou declaração aqui contida.

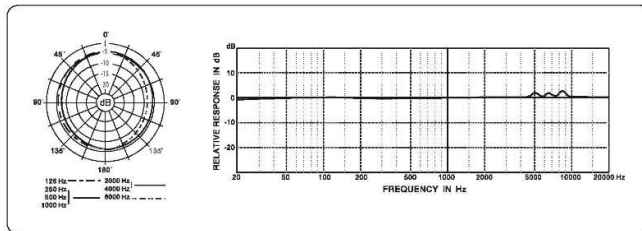
5 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### EIGENSCHAFTEN

- Ultra-lineares Kondensatormikrofon für Mess- und Aufzeichnungsanwendungen
- Perfekt geeignet für Raumausgleichsanwendungen sowie hochauflösende Studioaufnahmen und Live-Anwendungen
- Außergewöhnlich flacher Frequenzgang und ultrahohe Klauflösung
- Gleichmäßig gewichtetes, echtes omnidirektionales Muster
- Arbeitet mit Phantomspeisung von +15 bis +48 V.
- Perfekt für die Verwendung mit dem Behringer ULTRACURVE oder einem anderen Analysegerät
- Der transformatorlose FET-Eingang mit extrem geringem Rauschen eliminiert niederfrequente Verzerrungen
- Vergoldeter 3-poliger XLR-Anschluss für höchste Signalintegrität
- Drehständerhalterung und Transportkoffer inklusive



#### Spezifikationen

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer ist ständig bemüht, die höchsten professionellen Standards aufrechtzuerhalten. Infolge dieser Bemühungen können von Zeit zu Zeit Änderungen an vorhandenen Produkten vorgenommen werden ohne Voranmeldung. Die technischen Daten und das Erscheinungsbild können von den aufgeführten oder abgebildeten abweichen.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Technische Daten und Erscheinungsbild können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die hierin enthaltenen Informationen sind zum Zeitpunkt des Drucks korrekt. Alle Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber. Music Tribe Global Brands Ltd. übernimmt keine Haftung für Schäden oder Verluste, die einer Person entstehen können, die sich ganz oder teilweise auf eine hierin enthaltene Beschreibung, ein Foto oder eine Erklärung stützt.

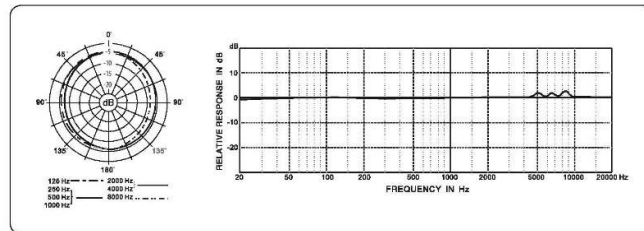
8 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

# MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

## Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

### KENMERKEN

- Ultra-lineaire condensatormicrofoon voor meet- en opnametoepassingen
- Perfect geschikt voor ruimtevergelijkingstoepassingen plus studio-opname met hoge resolutie en live-toepassingen
- Uitzonderlijk vlakke frequentierespons en ultrahoge geluidsresolutie
- Gelijkmatic gewogen, echt omnidirectioneel patroon
- Werkt met fantoomvoeding van +15 tot +48 V
- Perfect voor gebruik met de Behringer ULTRACURVE of een andere analyser
- Ultra-lage ruis transformatorloze FET-ingang elimineert vervorming van lage frequenties
- Vergulde 3-pins XLR-connector voor de hoogste signaalintegriteit
- Inclusief draaibare standaardbevestiging en transportkoffer



NL

### Specificaties

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer streeft voortdurend naar het handhaven van de hoogste professionele normen. Als resultaat van deze inspanningen kunnen er van tijd tot tijd wijzigingen worden aangebracht in bestaande producten zonder voorafgaande kennisgeving. Specificaties en uiterlijk kunnen afwijken van de vermelde of geïllustreerde.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Technische specificaties en uiterlijk kunnen zonder voorafgaande kennisgeving worden gewijzigd. De informatie in dit document is correct op het moment van drukken. Alle handelsmerken zijn eigendom van hun respectievelijke eigenaren. Music Tribe Global Brands Ltd. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enige schade of verlies dat kan worden geleden door een persoon die geheel of gedeeltelijk vertrouwt op enige beschrijving, foto of verklaring in dit document.

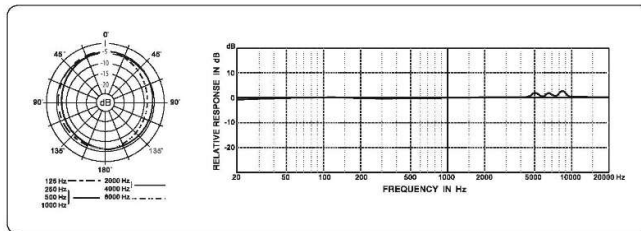
7 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### CARATTERISTICHE

- Microfono a condensatore ultra lineare per applicazioni di misurazione e registrazione
- Perfettamente adatto per applicazioni di equalizzazione della stanza più registrazioni in studio ad alta risoluzione e applicazioni live
- Risposta in frequenza eccezionalmente piatta e risoluzione del suono estremamente elevata
- Vero modello omnidirezionale ponderato in modo uniforme
- Funziona con alimentazione phantom da +15 a +48 V.
- Perfetto per l'uso con Behringer ULTRACURVE o qualsiasi altro analizzatore
- L'ingresso FET senza trasformatore a bassissimo rumore elimina la distorsione a bassa frequenza
- Connettore XLR a 3 pin placcato in oro per la massima integrità del segnale
- Supporto per supporto girevole e custodia per il trasporto inclusi



#### Specifiche

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer si impegna costantemente a mantenere i più elevati standard professionali. Come risultato di questi sforzi, di tanto in tanto possono essere apportate modifiche ai prodotti esistenti senza preavviso. Le specifiche e l'aspetto possono differire da quelli elencati o illustrati.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Le specifiche tecniche e l'aspetto sono soggetti a modifiche senza preavviso. Le informazioni qui contenute sono corrette al momento della stampa. Tutti i marchi sono di proprietà dei rispettivi proprietari. Music Tribe Global Brands Ltd. non si assume alcuna responsabilità per eventuali danni o perdite subiti da persone che si affidano in tutto o in parte a qualsiasi descrizione, fotografia o dichiarazione qui contenuta.

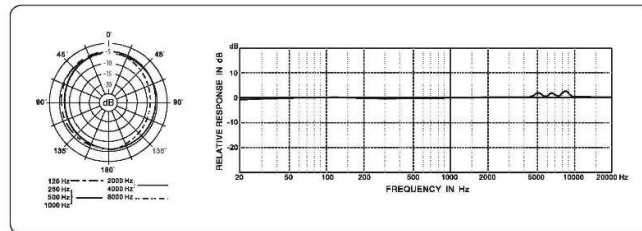
10 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### FUNKCJE

- Ultra-liniowy mikrofon pojemnościowy do zastosowań pomiarowych i rejestrujących
- Idealnie nadaje się do wyrównywania pomieszczeń oraz do nagrań studyjnych o wysokiej rozdzielczości i zastosowań na żywo
- Wyjątkowo płaskie pasmo przeniesienia i bardzo wysoka rozdzielczość dźwięku
- Równomiernie ważony, prawdziwie wielokierunkowy wzór
- Działa z zasilaniem phantom od +15 do +48 V.
- Idealny do użytku z Behringer ULTRACURVE lub dowolnym innym analizatorem
- Ultra-niskie szumy beztransformatorowe wejście FET eliminuje zniekształcenia o niskiej częstotliwości
- Pozłacane 3-stykowe złącze XLR zapewnia najwyższą integralność sygnału
- Obrótowy uchwyt do statywu i walizka transportowa w zestawie



#### Specyfikacje

PL

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer nieustannie dąży do utrzymania najwyższych standardów zawodowych. W wyniku tych starań od czasu do czasu mogą być wprowadzane modyfikacje istniejących produktów bez wcześniejszego powiadomienia. Specyfikacje i wygląd mogą różnić się od wymienionych lub zilustrowanych.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Specyfikacje techniczne i wygląd mogą ulec zmianie bez powiadomienia. Informacje zawarte w niniejszym dokumencie są aktualne na dzień druku. Wszystkie znaki towarowe są własnością ich odpowiednich właścicieli. Music Tribe Global Brands Ltd. nie przyjmuje żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody lub straty, które mogą ponieść osoby, które polegają w całości lub w części na jakimkolwiek opisie, zdjęciu lub oświadczeniu zawartym w niniejszym dokumencie.

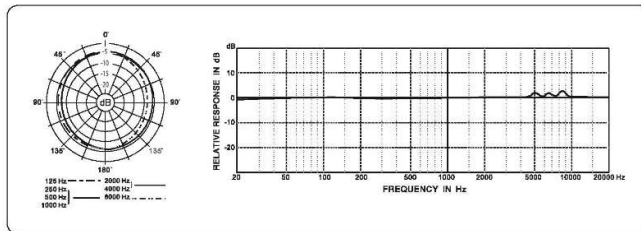
9 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### FUNKTIONER

- Ultralinjär kondensatormikrofon för mätning och inspelning
- Perfekt för applikationer för rumsutjämning plus högupplöst studioinspelning och liveapplikationer
- Exceptionellt platt frekvensrespons och ultrahög ljudupplösning
- Jämnt viktat, riktigt rundriktat mönster
- Fungerar med fantomeffekt från +15 till +48 V.
- Perfekt för användning med Behringer ULTRACURVE eller någon annan analysator
- Transformatorfri FET-ingång med extremt lågt brus eliminerar lågfrekvent distorsion
- Guldpläterad 3-stifts XLR-kontakt för högsta signalintegritet
- Vridbart stativfäste och transportväska ingår



#### Specifikationer

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer strävar ständigt efter att upprätthålla de högsta professionella standarderna. Som ett resultat av dessa ansträngningar kan modifieringar göras från tid till annan till befintliga produkter utan föregående meddelande. Specifikationer och utseende kan skilja sig från de som listas eller illustreras.

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. Tekniska specifikationer och utseende kan ändras utan föregående meddelande. Informationen här är korrekt vid tryckningen. Alla varumärken tillhör respektive ägare. Music Tribe Global Brands Ltd. tar inget ansvar för skador eller förluster som kan ledas av någon person som helt eller delvis förlitar sig på någon beskrivning, fotografi eller uttalande här.

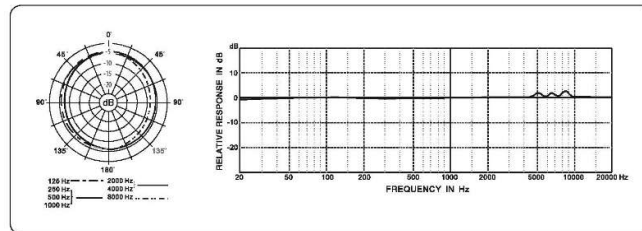
12 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### 产品特点

- 用于测量和记录应用的超线性电容式麦克风
- 完美适用于房间均衡应用以及高分辨率演播室录音和现场应用
- 平坦的频率响应和超高分辨率
- 均匀加权, 真正的全向模式
- 可在 +15 至 +48V 的幻像电源下工作
- 非常适合与 Behringer ULTRACURVE 或任何其他分析仪一起使用
- 超低噪声无变压器 FET 输入消除了低频失真
- 镀金 3 针 XLR 连接器, 可实现最高的信号完整性
- 包括旋转支架安装和运输箱



#### 技术指标

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g



贝林格不断努力保持最高的专业水平。这些努力的结果是, 可能会不时对现有产品进行修改恕不另行通知。规格和外观可能与所列或所示的有所不同。

©2021 音乐部落全球品牌有限公司。技术规格和外观如有更改, 恕不另行通知。本文所含信息在印刷时是正确的。所有商标均为其各自所有者的财产。  
Music Tribe 全球品牌有限公司对完全或部分依赖本文中任何描述, 照片或陈述的任何人可能遭受的任何损失不承担任何责任。

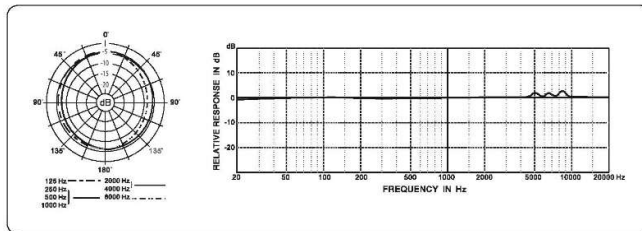
11 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications

## MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000

### Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone

#### 特徴

- 測定および録音アプリケーション用の超線形コンデンサーマイク
- 部屋のイコライゼーションアプリケーションに加えて、高解像度のスタジオレコーディングやライブアプリケーションに最適です。
- 非常にフラットな周波数応答と超高音域
- 均等に重み付けされた、真の全方向性パターン
- +15 ~ +48 V のファンタム電源で動作します
- Behringer ULTRACURVE またはその他のアナライザーでの使用に最適
- 超低ノイズのトランスレス FET 入力が入力低周波歪みを排除
- 最高のシグナルインテグリティを実現する金メッキ 3 ピン XLR コネクター
- スイベルスタンドマウントとトランスポートケースが含まれています



#### 仕様

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

Behringer は常に最高の専門的基準を維持するために努力しています。これらの努力の結果として、既存の製品に変更が加えられる場合があります。事前の通知なしに。仕様および外観は、記載または図示されているものと異なる場合があります。

© 2021 Music Tribe Global Brands Ltd. 技術仕様および外観は予告なく変更される場合があります。ここに記載されている情報は、印刷時のものです。すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。Music Tribe Global Brands Ltd. は、ここに含まれる発明、写真、または声明に全面的または部分的に依存する人が被る可能性のあるいかなる損害または損失についても責任を負いません。

13 MEASUREMENT CONDENSER MICROPHONE ECM8000 Technical Specifications



Hereby, Music Tribe declares that this product is in compliance with Directive 2014/30/EU, Directive 2011/65/EU and Amendment 2015/863/EU, Directive 2012/19/EU, Regulation 519/2012 REACH SVHC and Directive 1907/2006/EC.

Full text of EU DoC is available at <https://community.musictribe.com/>

EU Representative: Music Tribe Brands DK A/S  
Address: Gammel Strand 44, DK-1202 København K, Denmark

UK Representative: Music Tribe Brands UK Ltd.  
Address: 6 Lloyds Avenue, Unit 4CL London EC3N 3AX, United Kingdom

We Hear You



## Anexo 2

**GENELEC**®  
ACTIVE MONITORING

Genelec 1031A  
Bi-amplified Monitoring System

Data sheet



### 1031A Bi-amplified Active Monitoring System



#### APPLICATIONS

- Near Field Monitoring
- Broadcast Monitoring
- TV Control Rooms
- Mobile Vans
- Video Post Production
- Project Studios
- Digital Workstations

#### SYSTEM

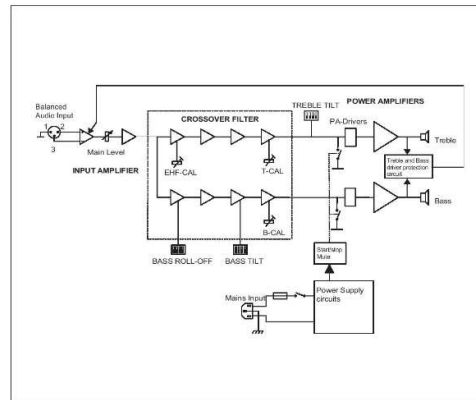
The Genelec 1031A is a two-way active monitor system, consisting of a vented enclosure with a multiple amplifier unit set into the back. The amplifier unit contains a low signal level active crossover, two power amplifiers and overload protection for each driver. This design provides high output, low coloration and broad bandwidth. The system's excellent dispersion and precise imaging together with its compact size make it ideal for near field monitoring, broadcast and TV control rooms, mobile vans, home studios and travelling engineers.

Genelec's unique Directivity Control Waveguide (DCW) Technology is used to provide excellent stereo imaging and frequency

balance, even in difficult acoustic environments. This is enhanced by the versatile crossover controls, which allow the precise matching of the speaker system to its surroundings. It is capable of producing peak acoustic levels of over 120 dB SPL at 1m. The system can be used in both vertical and horizontal orientation.

#### INTEGRATED CONSTRUCTION

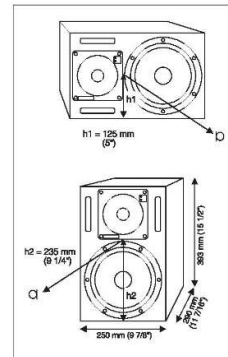
The only connections to the system are the mains supply and the input signal, making it very easy to use. The cabinet, constructed from veneered MDF, is heavily braced and carefully damped to eliminate resonances, and the effects of port ringing, found in conventional designs, have been eliminated by using non resonant



The block diagram showing active crossover filters, power amplifiers and driver units.



Two channel amplifier is housed in the speaker cabinet



The reference axis lies between bass and tweeter drivers.



Horizontal mounting



Vertical mounting

port techniques. Uniform performance is obtained by the integration of the amplifiers and speakers as a complete matched and calibrated package. The simple, rugged construction and the pivoting anti-vibration mounting makes maintenance very easy and straightforward.

A more roadable producer's version of the 1031A is available (see Options). This has a hard wearing, textured outer surface, with rounded corners.

**AMPLIFIERS**

The bass and treble amplifiers each produce 120 W of short term power with very low THD and IM distortion. Special attention has been paid to the electronic design to ensure the highest subjective sound quality currently possible. The system incorporates special circuitry for driver overload protection. Amplifier thermal overload protection is also included.



Calibrated Tilt switch. MUTE disconnects the channel for testing.



The tweeter driver is mounted in a DCW to match the dispersion characteristics to that of the bass driver. The DCW may be rotated for horizontal or vertical mounting.

**DRIVERS**

The high frequencies are reproduced using a 25 mm (1") metal dome tweeter, housed in a proprietary DCW, which has pure piston behavior upto 23 kHz.

The bass driver is a high efficiency 210 mm (8") polymer composite cone driver loaded in a 15 litre (0.54 cu. ft.) vented cabinet. The -3 dB frequency is 47 Hz and the low frequency response extends down to 43 Hz.

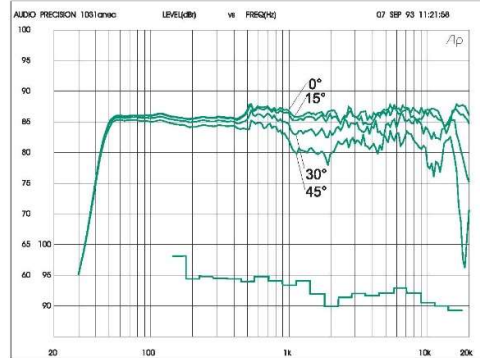
Both drivers are magnetically shielded for applications such as video post production, where the stray magnet field must be minimised.

**CROSSOVER FILTERS**

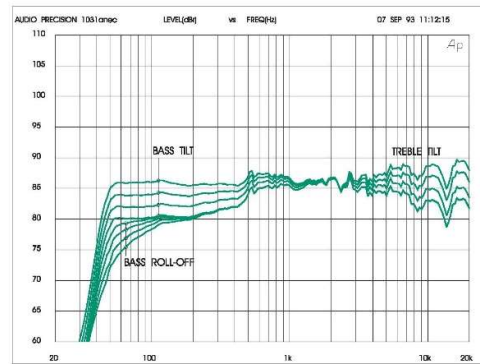
The crossover frequency is 2.2 kHz. To maintain uniform frequency balance in differing acoustic environments, three special calibrated controls are included in the active crossover network: treble and bass tilt and bass roll-off switches. These make adjustments in 2 dB steps and also allow channels to be muted, for test purposes. A high pass filter in the LF channel protects the woofer from subsonic signals. The crossover network is driven by an active balanced input stage, with adjustable sensitivity, to allow accurate level matching with the mixing console output.

**DCW TECHNOLOGY**

The revolutionary Directivity Control Waveguide Technology is a means of greatly improving the performance of a direct radiating multiway loudspeaker under normal listening conditions. One of the basic ideas is to match the performance of the drivers in terms of both frequency response and directivity. This results in a smoother overall frequency response on and off axis. In addition, the improved directivity control causes more direct sound and less reflected sound to be received at the listening position. This provides improved stereo imaging and ensures the system is less sensitive to differing control room acoustics than any conventional direct radiator design. The DCW Technology improves the drive unit sensitivity by +2 to +6 dB thus increasing the system maximum sound pressure level.



The upper curve group shows the horizontal directivity characteristics of 1031A in its vertical configuration measured at 1 m. The lower curve is a 1/3 octave band power response, measured in an IEC approved reverberation chamber.



The upper curves show the effect of the 'bass tilt' control on the free field response. The lower curves show the effect of the 'treble tilt' and 'bass roll-off' controls.

**Options**



Opt-01  
Flight case  
Order Code  
1031-401



Producer  
Version  
Order Code  
1031-412



Opt-04  
Wall Mount  
Order Code  
1031-404-V  
1031-404-H



Opt-05  
Floor stand  
Order Code  
1031-405-V  
1031-405-H



Opt-09  
Grille  
Order Code  
1031-409

# GENELEC®

ACTIVE MONITORING

## 1031A SYSTEM SPECIFICATIONS

Lower cut-off frequency, -3 dB:  $\leq 47$  Hz

Upper cut-off frequency, -3 dB:  $\geq 22$  kHz

Free field frequency response of system: 48 Hz - 22 kHz ( $\pm 2$  dB)

Maximum short term sine wave acoustic output on axis in half space, averaged from 100 Hz to 3 kHz:

@ 1m  $\geq 110$  dB SPL  
@ 0.5m  $\geq 116$  dB SPL

Maximum long term RMS acoustic output in same conditions with IEC weighted noise (limited by driver unit protection circuit):

@ 1m  $\geq 101$  dB SPL  
@ 0.5m  $\geq 107$  dB SPL

Maximum peak acoustic output per pair on top of console, @ 1 m from the engineer with music material:  $\geq 120$  dB

Self generated noise level in free field @ 1m on axis:  $\leq 10$  dB (A-weighted)

Harmonic distortion at 90 dB SPL @ 1m on axis:

Freq: 50...100 Hz  $< 1\%$   
           $> 100$  Hz  $< 0.5\%$

Drivers: Bass 210 mm (8") cone  
          Treble 25 mm (1") metal dome  
Both drivers are magnetically shielded

Weight: 12,7 kg (28 lb)

Dimensions:

Height 395 mm (15  $\frac{9}{16}$ "")  
Width 250 mm (9  $\frac{7}{8}$ "")  
Depth 290 mm (11  $\frac{7}{16}$ "")

## AMPLIFIER SECTION

Bass amplifier output power with an 8 Ohm load: 120 W

Treble amplifier output power with an 8 Ohm load: 120 W

Long term output power is limited by driver unit protection circuitry.

Slew rate : 80 V/ $\mu$ s

Amplifier system distortion at nominal output:

THD  $\leq 0.05\%$   
SMPTE-IM  $\leq 0.05\%$   
CCIF-IM  $\leq 0.05\%$   
DIM 100  $\leq 0.05\%$

Signal to Noise ratio, referred to full output:

Bass  $\geq 100$  dB  
Treble  $\geq 100$  dB

Mains voltage: 100/200 V or 115/230 V

Voltage operating range at 230V setting: 207 - 253 V ( $\pm 10\%$ )  
115V setting: 104 - 126 V ( $\pm 10\%$ )

Power consumption:

Idle 30 W  
Full output 160 W

## CROSSOVER SECTION

Input connector: XLR female pin 1 gnd  
pin 2 +  
pin 3 -

Input impedance: 10 kOhm balanced

Input level for 100 dB SPL output @ 1m: variable from +6 to -6 dBu

Input level for maximum short term output of 110 dB SPL @ 1m: variable from +16 to +4 dBu

Subsonic filter below 45 Hz : 18 dB/octave

Ultrasonic filter above 25 kHz: 12 dB/octave

Crossover frequency, Bass/Treble: 2.2 kHz

Crossover acoustical slopes: 24 dB/octave

Treble tilt control operating range in 2 dB steps: from +2 to -4 dB & MUTE

Bass roll-off control operating range in 2 dB steps: from 0 to -8 dB @ 40 Hz

Bass tilt control operating range in 2 dB steps: from 0 to -6 dB & MUTE

The 'CAL' position is with all tone controls set to 'off' and input sensitivity control to maximum.

**GENELEC®**

Genelec Oy, Oivitie 5  
FIN - 74100 IISALMI, FINLAND  
Phone: +358 - 17 - 813311  
Telefax: +358 - 17 - 812287  
Email: genelec@genelec.com  
Web: <http://www.genelec.com>



Data Sheet No. 1031-0107-6  
COPYRIGHT GENELEC OY 1997  
All data subject to change without prior notice

## Anexo 3

MACKIE®
HR824
SPEAKER

### HR Series

- The HR824 studio monitors are high-resolution, two-way, bi-amplified, active monitors employing a 6th-order Butterworth system with a built-in rear-firing mass-loaded passive radiator. They feature a 1-inch aluminum-alloy high-frequency transducer, a high-precision 8.75-inch die-cast magnesium frame low-frequency transducer, and a 6-inch x 12-inch elliptical flat piston passive radiator in the back. The system is composed of a single, compact cabinet with built-in control and amplifier electronics.
- The high-frequency driver is mounted on a massive, acoustically non-resonant die-cast zinc exponential waveguide, which results in wide, controlled dispersion for high-frequency sounds. The unique passive radiator design provides smooth response down to 39 Hz.
- The FR Series™ amplifiers found in the HR824 cabinet are an example of application-specific amplifier design that can be exercised when designing active speaker systems. The low-frequency amplifier is rated at 150 watts rms continuous output, and the high-frequency amplifier is rated at 100 watts rms continuous.
- The input panel on the back accepts a line-level input with balanced 1/4" TRS, XLR, and unbalanced RCA connectors. The connectors face downward so the monitor can be placed flush against a wall. There is an input sensitivity control to trim the gain from input to output and adjust for various input levels. An acoustic space switch adjusts the bass response to compensate for corner (quarter space) or wall (half space) placement. A low-frequency switch selects a high-pass cutoff frequency of 37 Hz, 47 Hz, and 80 Hz, and a high-frequency switch provides either 2 dB of boost or cut above 10 kHz. The power mode switch can be used to turn the monitor on and off, a function that is duplicated with the front panel switch, or to put the monitor into auto mode, where the amplifiers revert to standby when no signal is present for several minutes. The instant a signal appears at the input, the amplifiers seamlessly come back to life and produce sound.
- The cabinet is constructed using 3/4-inch (19 mm) thick MDF with a 1-inch (25 mm) thick MDF front panel. An internal H-brace provides additional cabinet stiffness, and open cell adiabatic "foam fill" acoustic damping material absorbs internal reflections.

### RELATED PRODUCTS

HR624 Active 2-Way Studio Monitor, HR626 Active 2-Way Studio Monitor, HRS120 Active Subwoofer, HRS150 Active Subwoofer

### Active 2-Way Studio Monitor



HR824

### Features

- Flat frequency response ( $\pm 1.5$  dB, 39 Hz to 20 kHz)
- 1" ferro-fluid cooled aluminum alloy dome tweeter
- 8.75" mineral-filled polypropylene cone woofer
- Proprietary, acoustically non-resonant high-frequency exponential waveguide
- 6" x 12" elliptical passive radiator for enhanced bass performance
- 100 watt HF and 150 watt LF FR Series power amplifiers
- Servo-loop architecture for improved low-frequency overload detection
- Independent high and low frequency overload detection
- High-strength cabinet constructed with 3/4" MDF composite and 1" front board with radiused edges
- Internal H-brace for extra rigidity
- High-density adiabatic foam absorbs internal reflections
- Full magnetic shielding
- Balanced XLR and 1/4" TRS, and unbalanced RCA input connectors, downward facing
- Modified Linkwitz-Riley 24 dB/octave crossover
- Recessed adjustable sensitivity control
- Acoustic Space switch for selecting whole space, half space, or quarter space placement
- Low-Frequency switch for bandwidth limiting the low-frequency response
- High-Frequency switch boosts or cuts high frequencies
- Power Mode switch includes AUTO mode
- Front panel power switch with indicating LED
- Front panel overload indicating LED

### Applications

- Near-field studio monitors
- Home Theater surround sound

**SPEAKER**

**HR824**

# HR824

## Active 2-Way Studio Monitor

### HR824 Technical Specifications

#### Acoustic Performance

Free Field Frequency Response:	39 Hz–20 kHz, ±1.5 dB
Lower Cutoff Frequency:	-3 dB @ 37 Hz
Upper Cutoff Frequency:	-3 dB @ 22 Hz
Sound Pressure Level @ 1 meter, 7.5 dBu into Balanced Input:	100 dB SPL @ 1m
Max SPL Peak Per Pair:	120 dB SPL @ 1m

#### Transducers

Low Frequency:	8.75" (222 mm) with die-cast magnesium frame, mineral-filled polypropylene cone
High Frequency:	1" (25 mm) viscous edge-damped aluminum alloy dome with ferrofluid cooled voice coil
Passive Radiator:	6" x 12" (152 mm x 305 mm) mass-loaded elliptical flat piston composed of aluminum composite with variable thickness filleted edge rubber surround

#### Amplifier

Low Frequency Power:	150 watts, 4Ω load 350 watts peak
High Frequency Power:	100 watts, 6Ω load 210 watts peak
Slew Rate:	>35V/μs
Distortion (THD, SMPTE IMD, DIM 100):	<0.035%
Signal-to-Noise Ratio:	>102 dB referenced to 100 watts into rated load
Type:	FR Series Class AB

#### Electronic Crossover

Crossover Type:	Modified Linkwitz-Riley, 24 dB/octave
Crossover Frequency:	2000 Hz
Sensitivity:	0 dBu nominal
Input Impedance:	20 kΩ, balanced bridging
Compressor:	Independent high and low frequency overload detection

#### Equalization

Acoustic Space EQ:	Flat, -2 dB, -4 dB @ 100Hz, shelving
Low Frequency EQ:	-3 dB @ 37 Hz 2nd-order Transitional high-pass filter -3 dB @ 47 Hz 4th-order Chebyshev high-pass filter -3 dB @ 80 Hz 4th-order Butterworth high-pass filter
High Frequency EQ:	±2 dB @ 10 kHz, shelving

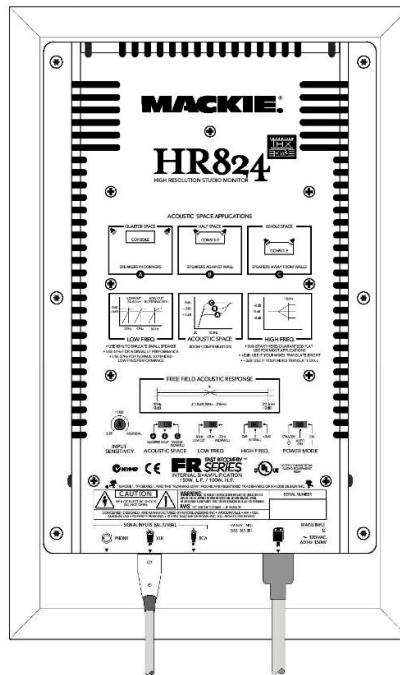
#### Line Input Power

US:	120 VAC, 60 Hz
Europe:	230 VAC, 50 Hz
AC Connector:	2-pin IEC 250 VAC, 16 A male
Power Consumption:	135 watts with music, loud mix 18 watts quiescent (idle) 8 watts in standby mode

#### Physical

Enclosure:	3/4" (19 mm) thick MDF with 1" (25 mm) MDF front panel, internal H-brace
Damping:	Adiabatic foam
Waveguide:	Cast zinc
Dimensions (HxWxD):	15.75" x 10.00" x 12.20" (400 mm x 254 mm x 310 mm)
Weight:	33.6 lbs (15.2 kg)

### HR824 Rear Panel



**MACKIE**

www.mackie.com  
16220 Wood-Red Road NE, Woodinville, WA 98072 USA  
800.898.3211, fax 425.487.4337, sales@mackie.com

UK +44.1268.570.808, fax +44.1268.570.809, uk@mackie.com

LOUD Technologies continually engages in research related to product improvement. New material, production methods, and design refinements are introduced into existing products without notice as a routine expression of that philosophy. For this reason, any current LOUD Technologies product may differ in some respect from its published description, but will always equal or exceed the original design specifications unless otherwise stated. ©1999-2004 LOUD Technologies Inc. All rights reserved. Mackie and the "Running Man" figure are registered trademarks of LOUD Technologies Inc.

Part No. 0004809 Rev B 09/04

## Anexo 4

# CMS SUB

## Professional analog subwoofer

11" [27cm] Polyglass cone subwoofer  
Great neutrality for precise adjustment of the bass EQ.

High excursion and /  
high efficiency subwoofer  
Minute detail retranscription for  
precise adjustment of the signal  
compression.

Large front laminar port  
Constant tone balance,  
optimum integration in the  
smaller studios.

Numerous settings [low-pass filter +  
sound level + entirely adjustable phase,  
phase reversal,  
Footswitch input, MUTE]  
Excellent acoustic coupling between  
subwoofer and monitors. Turn to a 2.1  
configuration and keep your habits and  
marks you acquired with a 2.0 system!

300W rms BASH®  
technology amplifier  
The class AB amplification  
quality combined with  
class D efficiency.

LFE / left + right inputs /  
left + right outputs  
Simplified connections and total  
upgrade system possibility  
[upgrade from a 2.1 configuration  
to a 5.1 without any  
extra equipment].

### Supplied accessory

Removable grille



CE Focal® is a trademark of Focal-JMlab® - [www.focalprofessional.com](http://www.focalprofessional.com)  
BP 324 - 108, rue de l'Avenir - 42353 La Talaudière cedex - France - Tel. [+33] 04 77 43 57 00 - Fax [+33] 04 77 43 57 04

# CMS SUB

## Professional analog subwoofer

### Technical specifications

System		CMS SUB
• Frequency response (+/- 3dB)		30Hz - 250Hz
• Maximum SPL		113dB SPL (peak @ 1 m)
Electronic section		
• Input	- Type/Impedance - Connector - Sensitivity	Left, Right, LFE Electronically balanced / 10kOhms Female 3 pins XLR Variable
• Output (to satellites)	- Connector	Left, Right Male 3 pins XLR in parallel on inputs
• Amplifier		300W rms, BASH® technology
• Internal processing and functions	- Subwoofer section	Left + Right mono summation LFE + lo-passed mono sum 24dB/octave variable lo-pass filter Phase adjustment Polarity
• User controls		Sub level (sensitivity) adjustment Lo-pass frequency adjustment Phase adjustment Polarity switch Mute External Mute (controlled by external footswitch)
• Indicators (LED's)		Power on Mute External Mute
• Power supply	- Mains voltage - Connection	230V (T1.6AL fuse rating) or 115V (T3.15AL fuse rating) IEC inlet and detachable power cord
Transducers		
• Subwoofer		Polyglass, high excursion Focal, 270mm (11") drive unit
Cabinet		
• Construction		22mm MDF panels with internal braces
• Finish		Dark grey vinyl
• Dimensions (HxWxD)		435.5mm x 366mm x 440mm (17.1" x 14.4" x 17.3")
• Weight		23kg (50.7lb)

Focal® is a trademark of Focal-JMLab® - [www.focalprofessional.com](http://www.focalprofessional.com)  
 Due to constant technological advances, Focal-JMLab reserves its right to modify technical specifications without notice. Images may not exactly conform to specific product. SCAuB-080430/1

## Anexo 5

# Genelec 1092A

## Technical Specifications

Free field frequency response ( $\pm 2.5$ dB):	33 - 80 Hz
Maximum short term sine wave acoustic output in half space, averaged from 35 Hz to 85 Hz @ 1m:	> 115 dB SPL
Self generated noise level in free field @ 1m on axis (A-weighted):	< 10 dB
Harmonic distortion at 100 dB SPL @ 1m on axis in half space (30-100 Hz):	< 4%
Driver:	2 x 210 mm (2 x 8")
Weight:	30 kg (66 lbs)
Dimensions:	
Height	615 mm (24 3/16")
Width	320 mm (12 5/8")
Depth	510 mm (20 1/16")

### AMPLIFIER

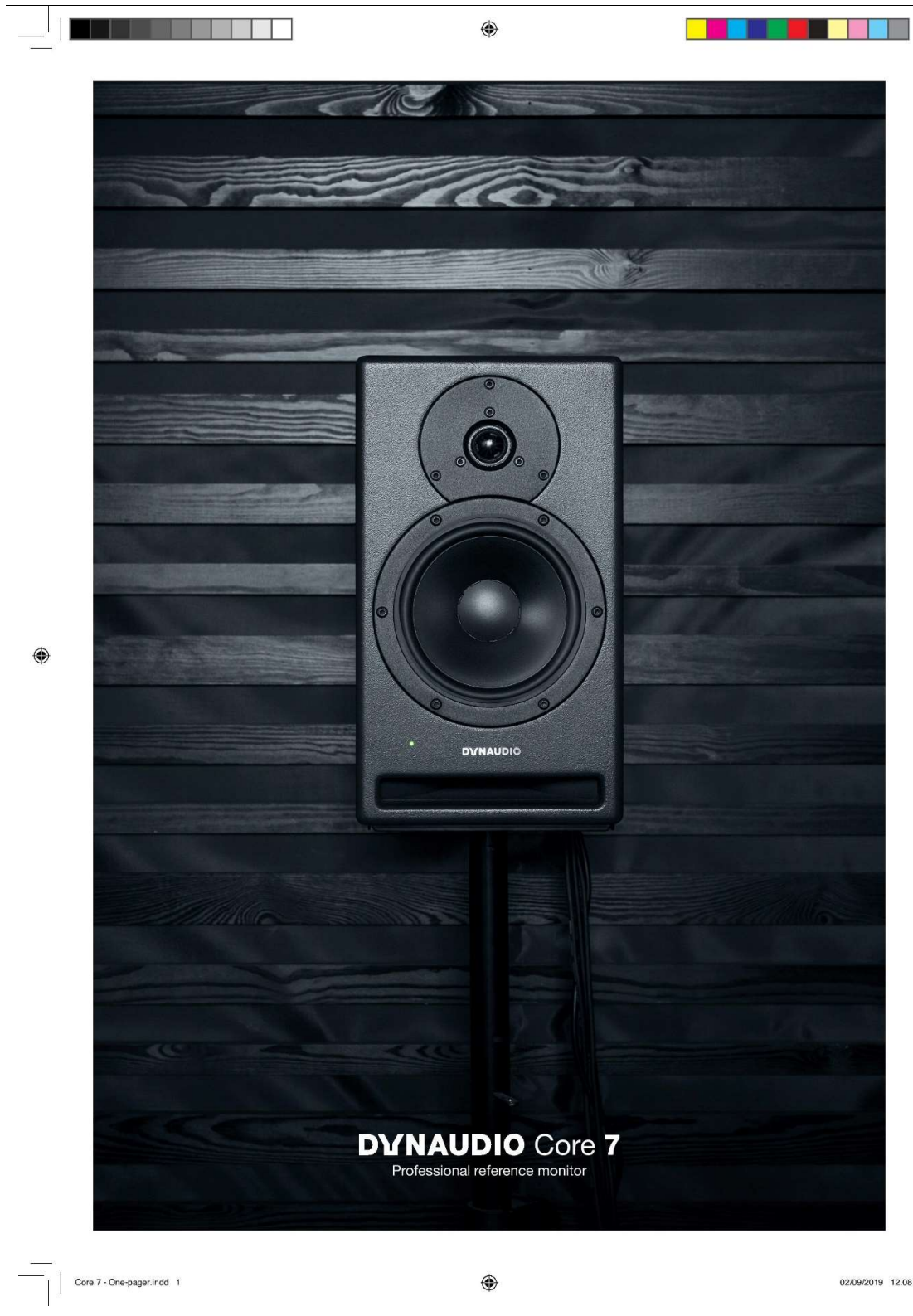
Amplifier output power (Long term output power is limited by driver unit protection circuitry):	180 W (4 Ohm)
Amplifier system distortion at nominal output:	THD < 0.08% SMPTE-IM < 0.08% CCIF-IM < 0.08% DIM 100 < 0.08%
Signal to Noise ratio, referred to full output:	> 100 dB
Mains voltage:	100/200V or 115/230V
Power consumption (average):	Idle 50 VA Full output 300 VA

### FILTER

Subsonic filter (18 dB/octave) below:	33 Hz
Crossover frequency (sub/main monitors):	85 Hz
Crossover frequency (sub input channel):	full band/85 Hz
Crossover acoustical slope	
Lowpass:	28 dB/octave
Highpass:	12 dB/octave
Midband rejection, frequencies > 400 Hz:	> 50 dB
Bass roll-off control operating range in 2 dB steps:	from 0 to -6 dB @ 33 Hz
Phase matching control in 90° steps:	from 0° to -270° @ 85 Hz

*All data subject to change without prior notice*

## Anexo 6



# Core 7

## Two-way professional reference monitor

**Trust is critical in this business. Whether you're recording a power-trio or an orchestra, mixing a voiceover or video-game soundtrack, or mastering a multi-channel immersive audio project, you need to know that your monitors reproduce everything you need to hear.**

Core 7 has been developed alongside industry professionals with exactly this in mind. It's the most compact model in our range of high-end professional reference monitor systems. This no-compromise two-way design features two class-D amplifiers (one for each driver), plus the best of modern DSP technology and a flat bass response down to 45 Hz with -6 dB at 38 Hz.

It's been specifically designed and engineered to meet the challenges of high-demand environments that recording engineers, mixers, producers, and editors work in all day, every day.

Tweeter:	1 in
Mid:	N/A
Woofer:	7 in
Inputs:	Analogue and AES3 digital inputs (no sample-rate conversion)
Resolution:	Maximum 24-bit / 192 kHz, depending on input signal (32, 44.1, 48, 96 & 192 kHz sample rates supported, analogue runs at 192 kHz)
Max SPL:	112 dB @ 1 m anechoic, 118 dB half space
Crossover frequency:	2750 Hz
Frequency response (-6 dB):	38 Hz – 31 kHz
Frequency response (+/- 3 dB):	45 Hz – 27 kHz
Box principle:	Front-loaded bass reflex
Amplifiers:	Pascal Class-D amplifiers. HF 150 W / LF 500 W
Dimensions (W x D x H):	220 x 370 x 390 mm
	8 1/8 x 14 1/8 x 15 1/2 in
Weight:	14.7 kg (32.4 lb)

Maximum SPL measured using band-limited pink noise, 6 dB crest factor, 80 Hz – 8 kHz, in Jupiter (Dynaudio's state-of-the-art measuring facility).



Item no. 46652901A

Visit [dynaudio.com](http://dynaudio.com)

**DYNAUDIO**

## Anexo 7

27/06/22, 23:21

Dynaudio 18S. User manual. English. Technical Specifications

### 18S User manual

## Technical Specifications

Data	18S
System	Twin opposed 9,5 in driver, closed box, active DSP subwoofer
Analog inputs	2 x balanced XLR 2 x unbalanced RCA phono
Maximum input voltage	1.01 Vrms @ +6 dB Sensitivity, 2.0 Vrms @ 0 dB Sensitivity 4 Vrms @ -6 dB Sensitivity, 10.1 Vrms @ -14 dB (LFE) Sensitivity
Analog outputs	2 x balanced XLR 2 x unbalanced RCA phono
XLR output impedance	Differential: 200 Ω Single-ended: 100 Ω
Phono output impedance	100 Ω
XLR Pin-out	Pin 1: Ground Pin 2: Signal + Pin 3: Signal -
Frequency response	16 Hz – 230 Hz ±3 dB
Max SPL	110 dB
Auto ON/OFF	Yes
Box Principle	Sealed
Low Pass Filter	Adjustable/preset
Phase Adjustment	0/180 degrees
Woofers	2 x 24 cm MSP+ Hybrid Drive
Amplifier power	500 W

27/06/22, 23:21

Dynaudio 18S. User manual. English. Technical Specifications

Data	18S
AC power input	100-120 V 220-240 V 50 / 60 Hz
Standby power consumption	<0.5 W
Maximum power consumption	490 W
Weight	21.5 kg 45.2 lb
Dimensions (W x H x D)	447 x 300 x 268 mm 17.6 x 11.8 x 10.6 inches
Shipping box dimensions (W x H x D)	600 x 450 x 400 mm/23.6 x 17.7 x 15.7 inches

HOME AUDIO

- FOCUS
- HERITAGE
- CONFIDENCE
- CONTOUR I
- SPECIAL FORTY
- EVOKE
- XEO
- MUSIC
- CONNECT
- SUB
- ACCESSORIES
- DISCONTINUED

PRO AUDIO

- CORE
- LYD
- SUBWOOFERS
- CONTACT
- DISCONTINUED

CUSTOM INSTALL

- PERFORMANCE SERIES

27/06/22, 23:21

Dynaudio 18S. User manual. English. Technical Specifications

LEGACY INSTALL

CONTACT

CAR AUDIO

HI-FI IN YOUR CAR

SOUND THAT DRIVES YOU

TECHNOLOGY

THE HISTORY

AFTERMARKET

PRESS

DYNAUDIO

REVIEWS

RESPONSIBILITY

HISTORY

FOLLOW US

PRESSROOM

CONTACT

JOBS AT DYNAUDIO

FIND A DISTRIBUTOR

SUPPORT

PRODUCT REGISTRATION

CE CONFORMITY

PRIVACY POLICY

FIND DEALER

APP - PRIVACY AND TERMS

**DYNAUDIO**

## Anexo 8

### User Manual:

Active: .SCM25A Pro .SCM45A Pro .SCM50ASL .SCM100ASL .SCM110ASL .SCM150ASL

Passive: .SCM50SL .SCM100SL .SCM150SL

SCM25A Pro  
SCM45A Pro  
SCM50  
SCM100  
SCM110  
SCM150



## Safety Warnings

SCM25/45/50/100/110/150

1. Read instructions – all the safety and operating instructions should be read before the appliance is operated.
2. Retain these instructions – the safety and operating instructions should be retained for future reference.
3. Heed warnings – all warnings on the appliance and in the operating instructions should be adhered to.
4. Follow instructions – all operating and other instructions should be followed.
5. Water and moisture - the appliance should not be exposed to dripping or splashing and no objects such as vases, should be placed on the appliance.
6. Ventilation - a minimum of 80mm is required at the rear of the appliance to ensure sufficient ventilation. The ventilation should not be impeded by covering the appliance with items such as table-cloths, curtains etc. Further, the appliance should not be built into an installation, such as a bookcase or cabinet, that may impede the flow of air around the appliance.
7. Heat – the appliance should be situated away from heat sources such as radiators, stoves or other appliances that produce heat.
8. Power sources - The appliance is of Class I construction and shall be connected to a MAINS socket outlet with a protective earthing connection
9. Power cord protection – power supply cords should be routed so that they are not likely to be walked on or pinched by items placed upon or against them, paying particular attention to cords at plugs, convenience receptacles and the point where they exit the appliance.
10. Cleaning – the appliance should be cleaned only as recommended by the manufacturer.
11. Unattended periods – the power cord of the appliance should be unplugged from the outlet when left unused for a long period of time.
12. Object entry – care should be taken so that objects do not fall into the appliance.
13. Damage requiring service – the appliance should be serviced by qualified service personnel when:
  - i. the power supply cord or the plug has been damaged
  - ii. objects have fallen or liquid has been spilled into the appliance
  - iii. the appliance has been exposed to rain or other serious liquid exposure
  - iv. the appliance does not appear to operate normally or exhibits a marked change in performance
  - v. the appliance has been dropped or the cabinet damaged
14. Servicing – the user should not attempt to service the appliance beyond those measures described in the operating instructions. All other servicing should be referred to qualified service personnel.
15. Grounding or polarisation – precautions should be taken so that grounding or polarisation means for the appliance are not defeated.
16. The Mains disconnection switch is located on the rear panel. Pressing the switch downwards will turn the unit on. The unit can be turned off by upward pressure on the switch. Please allow enough room around the unit to ensure the switch is readily operable when the unit is in use.

## SCM25/45/50/100/110/150

## Introduction

Welcome. In selecting ATC you have chosen an example of the finest audio engineering available. ATC was founded on a principle of engineering excellence, and that principle still defines our products today. Given the right opportunities, ATC products will deliver exceptional audio performance, but the opportunities will only arise from careful and thoughtful installation and use. Please read the following manual fully. It will help you understand the product and to realise its full potential. We are happy to answer questions and offer advice on any issues that arise through installation or use of ATC products. Contact details can be found at the back of this manual.

ATC was founded in London in 1974 by Australian emigre Bill Woodman, who still heads the company today. An enthusiastic pianist and engineer he was naturally drawn to loudspeaker design and after a period working at Goodmans, where many of the names that went on to found British loudspeaker companies began their careers, he struck out on his own. The premise on which ATC began is a simple one, and one that in many respects is still true today: hi-fi loudspeakers tend to be detailed and accurate but of limited dynamic range, while professional monitor speakers tend to express the opposite character. ATC products were designed from the outset to offer the best of both. It's an easy concept to describe, but surprisingly difficult to engineer.

The difficulty inherent in designing such loudspeakers is one of scale. Hi-fi levels of accuracy and detail call for lightweight moving parts and delicate engineering. Professional monitor levels of performance however demand far more robust components engineered to survive the rigours of high level use for extended periods. The only way to combine the two is through precision engineering of a class and scale more often associated with aerospace or motorsport. But the results are worth the effort and the cost. ATC loudspeakers, with their unique in-house designed drivers, combine the best of hi-fi and professional to devastating effect.

ATC has become synonymous with active systems. Choosing to offer active loudspeakers (where the passive crossover network is replaced by active filters and multiple power amplifiers) is simply a result of the uncompromising attitude to loudspeaker design. While passive systems still have their place, and ATC engineering skills can still bring remarkable results from them, "active" is a fundamentally better solution to the problems posed by accurate, high level music reproduction. The ATC instinct is always for the better solution. Not cheaper, not quicker, but better.

It was the development of active loudspeakers that first brought ATC into electronics design and engineering. Active speakers demand multiple power amplifiers so ATC from the mid 1980s became not just a loudspeaker manufacturing company but an electronics manufacturer too. The further step from electronics for active speakers to a range of stand-alone amplifier products was natural and now means that ATC engineering is available from the recording desk or CD player output to the ears.

From modest beginnings ATC has grown to become one of the very few manufacturers successful across both domestic and professional audio. By selecting ATC you join a group of music lovers, professional audio engineers, studios and musicians across the World that understand and value the engineering that goes into an ATC product - and the sound that comes out.

### Contents

Page 2		Introduction
Page 3	Section 1	Description
	Section 2	Unpacking and Handling
	Section 3	Monitor Placement
	Section 4	Listening
Page 4	<b>Active Monitors</b>	
	Section 5	Signal Cable Options
	Section 6	Operation
	Section 7	Connection
Page 5	<b>Passive Monitors</b>	
	Section 8	Connection
	Section 9	Amplification
Page 6	Connections and controls	
Page 7	<b>Active Monitors</b>	
	Specifications	
Page 8	<b>Passive Monitors</b>	
	Specifications	
	Section 10	Care and Maintenance
	Section 11	Warranty and Contact

## Installation

## SCM25/45/50/100/110/150

### 1. Description

The SCM25/45/50/100/110 and 150 are a range of three way loudspeakers. All of the range, excluding the SCM25 and SCM45 are available as passive or active units.

The SCM25 and SCM45 are only available as active units. The product name suffix denotes the technology featured in the product.

“SL” denotes Super Linear Magnet technology and “A” denotes that the Loudspeaker includes active amplification. Passive monitors are equipped with a “tri-wire” connection panel to enable separate amplification of the bass, mid and high frequency drivers. Active units have a built in three way Amplifier with frequency, gain and phase correction which has been individually optimised at the ATC manufacturing facility. Adjustment of input sensitivity and bass boost are available to the user via controls on the rear panel of the unit.

### 2. Unpacking and Handling

The SCM25, 45, 50, 100, 110 and 150 are large heavy items and should be handled with care. Always employ a second person to assist in moving them. Unpacking is best carried out on the floor, with adequate open space around the carton, preferably close to their final position.

- Open the carton and remove all loose items.
- Remove the upper Sratocell foam cap.
- Remove the polythene or cloth bag, leaving the baffle protector in place.
- Carefully lift the loudspeaker out from the lower Sratocell foam cap using the handles and the port opening as lifting points.
- The speaker can now be positioned in the listening/control room
- Remove the baffle protector.

#### Loudspeaker Positioning - Stereo

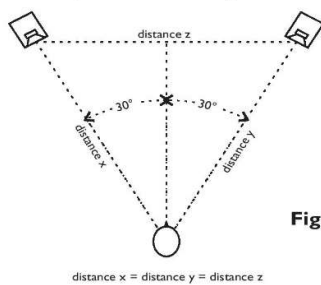


Fig. 1

### 3. Monitor Placement

The subjective performance of any monitor loudspeaker will be influenced by the acoustic character of the room in which it is used, and its position within the room. Most often monitors are installed in rooms which are comfortable to sit and talk in. A mixture of carpets, curtains and soft furnishings will help ensure that middle and high frequencies are reasonably well controlled. There may however be low frequency problems; either too much or too little bass. To minimise low frequency problems the monitors should be kept away from corners or walls. Start with them positioned on appropriate stands 1 metre from the side walls and 2 metres from the back wall. In professional installations, try to avoid placing speakers on the console/desk meter bridge. Typically, this compromises the balance of the loudspeaker especially in the lower mid range. If the balance is bass light, the monitors can be moved towards the back walls. Use the Bass Boost control for fine tuning rather than to compensate for inappropriate positioning. For stereo listening, loudspeakers should be positioned so they form an equilateral triangle with the listening position (See Fig.1). Loudspeaker stand height should be chosen to position the loudspeaker acoustic axis at, or close to ear level (See Fig.2). All rooms vary and it is a good idea to experiment with both the listening and speaker position until a good compromise is reached. For professional installations the requirements are often very specific. Please consult with an experienced professional acoustician if necessary. Monitors with an asymmetric (offset) driver array should be positioned such that the midrange driver and tweeter are inboard. If the monitors are to be placed in any form of cabinet, adequate side and top clearance for cooling airflow must be provided. Alternatively, the Amplifiers should be removed and installed remotely. All ATC 3-way loudspeakers are designed with the mid-range dome as the reference acoustic axis. With this in mind, the loudspeakers should be positioned with the mid-range dome at, or slightly below ear level (See Fig.3).

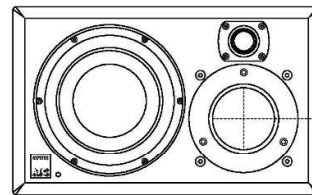


Fig.2

Reference acoustic axis  
Position at ear level or up to 5 degrees above ear level

### 4. Listening

The ear and brain tend to interpret distorted sound as loudness and thus underestimate the actual level of undistorted sound. The SCM25, 45, 50, 100, 110 and 150, like all ATC monitors, demonstrate very much lower levels of distortion than conventional systems of a similar size and it is therefore advisable to begin listening at an artificially low level and carefully increase the volume. It is also possible for the SCM25, 45, 50, 100, 110 and 150 to produce sufficient sound pressure levels for your ears themselves to become a source of distortion and make the sound appear harsh. Any audible distortion indicates that either the system or your ears are being overloaded and that the volume level should be reduced.

## SCM25/45/50/100/110/150

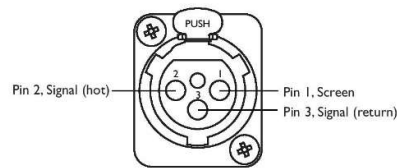
## Installation

### Active monitors

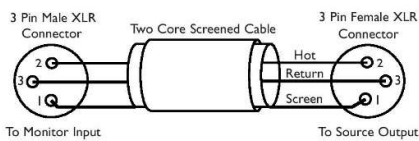
#### 5. Signal Cable Options

Balanced cable configuration is the preferred option, however unbalanced connection is possible. Diagrams 2 and 3 illustrate the signal cable connections required for each option. Balanced (XLR to XLR) connection offers lower noise and better immunity to “hum” pick-up. Unbalanced (XLR to Phono or Two pole Jack) connection carries risk of hum caused by multiple signal earths. Hum problems resulting from unbalanced connection may be reduced by making ONE of the following modifications to the signal cable connections: If the driving preamplifier (or desk) is “double insulated” (i.e. has no mains earth), disconnect the signal cable screen at the RCA Phono plug end. Alternatively, disconnect the signal cable screen at the XLR end. This second option will make the source the reference signal earth.

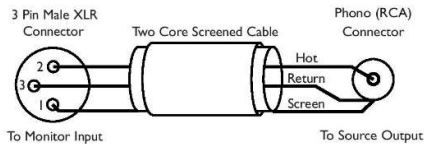
#### Diagram 1 - input connection pins



#### Diagram 2 - balanced cable



#### Diagram 3 - unbalanced cable



#### 6. Operation

Diagram 4 and 5 illustrate the connection and control panels for the Amplifiers used in the active monitors. Each feature is described below.

**5.1 Mains Inlet:** The supplied mains power lead (appropriate to the local territory) should be connected here. Ensure that the mains voltage specified on the panel corresponds with the local supply voltage.

**5.2 Power Switch:** Switches on the monitor. When switched on the indicator on the switch will illuminate.

**5.3 Fuseholder:** Should a monitor fail to switch on when the power switch is operated the fuse should be inspected. Lift out the fuseholder cover using a small flat-blade screwdriver remove the fuse and inspect it for damage. If required, a replacement fuse should be fitted. It should be stressed however that fuses most often fail only because of a serious electrical fault. If this is the case then simply replacing the fuse will only result in another fuse failure. The monitor should be returned to ATC if a second fuse fails.

**5.4 Input Socket:** The audio signal cable should be connected here. Balanced or unbalanced cables may be used (See Section 3).

**5.5 Bass Boost:** Provides up to 6dB of gain (3dB for the SCM25 and SCM45) in the region of 40Hz. Use a small flat blade screwdriver to access the control. Adds more warmth and energy to the lower frequencies in music, at the expense of accurate transient reproduction.

**Note:** Adjusting the bass boost without the ability to recalibrate may leave a pair of monitors unmatched.

**5.6 Level Trim:** Provides access to an internal control that enables adjustment of input sensitivity. Use a small flat blade screwdriver to access the control. As supplied, monitors are calibrated to an input sensitivity of 1V. **Note:** Adjusting the sensitivity without the ability to recalibrate will leave a pair of monitors unmatched.

Due to the nature of the electronics in ATC active loudspeakers it is quite normal for a sound to be heard from the speaker when the power is applied or disconnected. The noise heard will not damage the speaker and is quite normal. Although ATC uses the highest-grade components, a different noise may be heard from each speaker due to slight tolerance variations in the amplifier components.

#### 7. Connection

Two cable connections are required for each monitor: one for mains power and one for the audio signal. The mains cable is specifically supplied to comply with local statutory safety approvals and alternatives should not be substituted. If you intend to use your monitors in an alternative territory please contact ATC for advice. The mains connection must always be earthed.

The signal cable and plug (not necessarily supplied) should be of a good quality and XLR terminated. Poor cable and plug quality will compromise the performance of your monitors. The signal input pin configuration is illustrated in Diagram 1.

**Installation**

**SCM25/45/50/100/110/150**

**Passive Monitors**

**8. Connection**

The monitors are equipped with a "tri-wire" connection panel to enable separate amplification of the bass driver mid driver and tweeter. Remove the linking bars between the three pairs of terminals if you wish to take advantage of the tri-wire facility.

The terminals can accommodate either stripped cable ends or 4mm plugs: Always use good quality speaker cable with a 2.5mm minimum cross sectional area per conductor (79 strand). Cable of smaller cross sectional area or fewer strands is unsuitable. For cable runs longer than 10m use a significantly heavier gauge cable. Consult your dealer or consultant for specific cable recommendations.

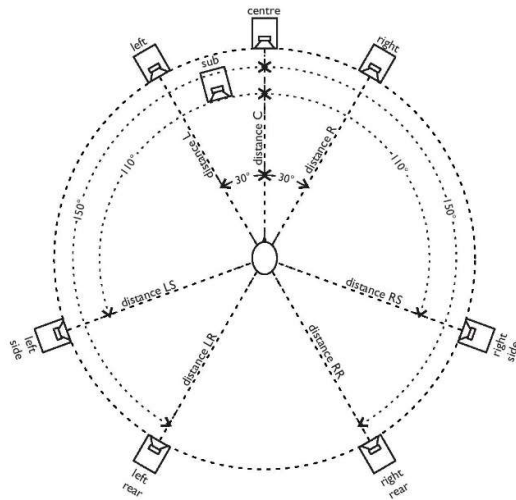
Ensure that the positive and negative terminals on each connection panel are connected back to the corresponding positive and negative terminals on the amplifier

**9. Amplification**

The choice of partnering amplifier for the monitors will have significant influence on the performance of the system. Consider the following when selecting the amplifier:

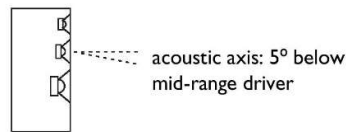
- With any passive loudspeaker there is a trade-off between low frequency extension and sensitivity. The monitors extended low frequency response means that its sensitivity is relatively low. It is advisable therefore to select an amplifier of relatively high power capabilities. Use of an under specified amplifier will result in the system sounding distorted at high levels and may risk damage. Valve or solid state amplifiers with high output impedance should be auditioned carefully to establish that their characteristic reduced damping at low frequencies is acceptable.
- Thanks in part to Super Linear technology and underhung voice coil construction, the monitors not only demonstrate extremely low distortion at all levels but also a greatly enhanced effective dynamic range. This exceptional distortion performance, also combined with very wide dispersion, will ruthlessly reveal deficiencies in ancillary equipment. It is advisable therefore to audition the monitors with your proposed amplifier and ancillary system.

Loudspeaker Positioning - 5.1 & 7.1 Surround

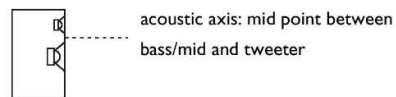


- All loudspeakers should be equi-distant from the listening position: distance L = distance C = distance R = distance LS = distance LR = distance RR
- For 5.1 systems, position the 'surround' speakers between 110 and 150 degrees
- If ideal positioning is not possible, position loudspeakers as close as possible to ideal
- Try to avoid placing the subwoofer on the mid-point between two walls
- For more details on setting up surround playback or monitoring systems please contact your dealer or ATC direct.

**3-way systems**



**2-way systems**



## SCM25/45/50/100/110/150

## Installation

Diagram 4 - SCM25A and SCM45A Pro connection and control panel

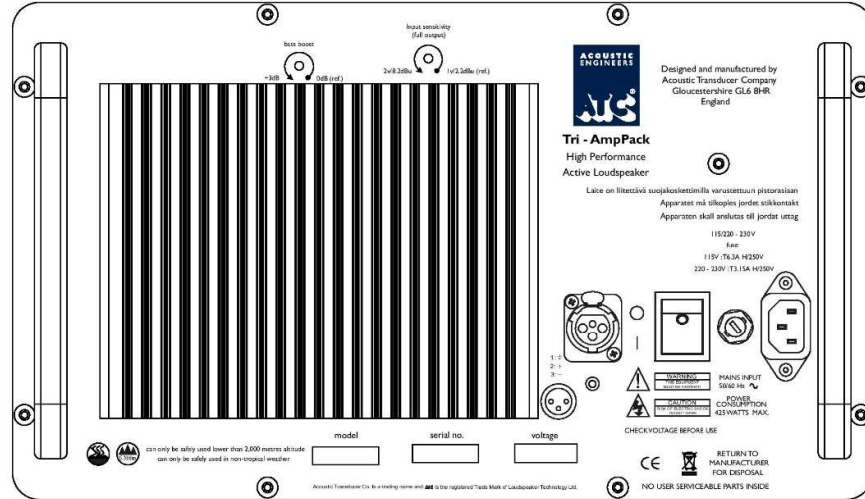
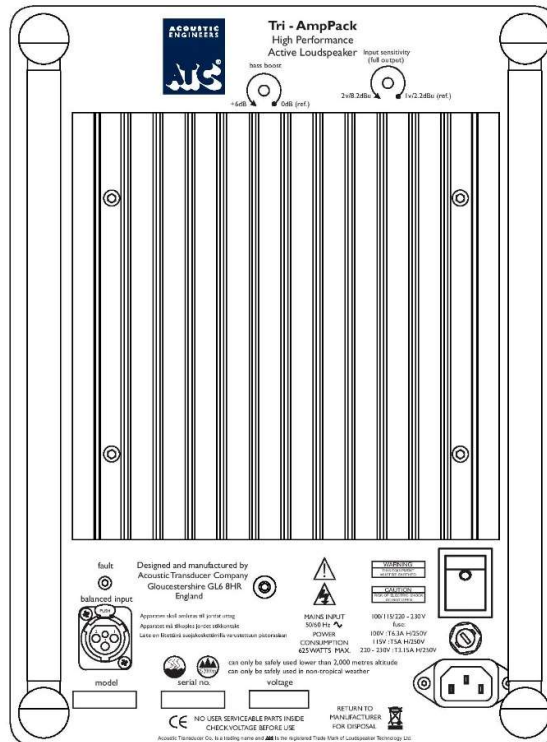


Diagram 5 - SCM50/100/110/150 connection and control panel



## Specifications

## SCM25/45/50/100/110/150

### Active Monitors

Drivers:	SCM25A Pro	SCM45A Pro	SCM50ASL	SCM100ASL	SCM110ASL	SCM150ASL	
HF	25mm (1")	25mm (1")	25mm (1")	25mm (1")	25mm (1")	25mm (1")	
MF	75mm (3")	75mm (3")	75mm (3")	75mm (3")	75mm (3")	75mm (3")	
LF	164mm (6.5")	164mm (6.5")	234mm (9")	314mm (12")	234mm (9")	375mm (15")	
Amplitude Linearity ±2dB	74Hz - 17kHz	70Hz - 17kHz	70Hz - 17kHz	65Hz - 17kHz	65Hz - 17kHz	60Hz - 17kHz	
Cut-off Frequencies (-6dB free standing)	47Hz & 22kHz	42Hz & 25kHz	38Hz & 25kHz	32Hz & 25kHz	32Hz & 25kHz	25Hz & 25kHz	
Matched Response	±0.5dB	±0.5dB	±0.5dB	±0.5dB	±0.5dB	±0.5dB	
Dispersion:							
Horizontal	±80° Coherent	±80° Coherent	±80° Coherent	±80° Coherent	±80° Coherent	±80° Coherent	
Vertical	±10° Coherent	±10° Coherent	±10° Coherent	±10° Coherent	±10° Coherent	±10° Coherent	
Max Continuous SPL @ 1metre	109dB	112dB	112dB	115dB	115dB	117dB	
Crossover Frequencies	380Hz and 3.5kHz, 4th order, critically damped with phase compensation						
Input Connector	Female XLR						
Input Sensitivity	1V rms (0dBV/1.1dBu) balanced (referenced to full output)						
Sensitivity Trim	0 to -6dB						
Input Impedance	10k Ohms per leg						
Amplifier Output:							
LF continuous	150 Watts	150 Watts	200 Watts	200 Watts	200 Watts	200 Watts	
MF continuous	60 Watts	60 Watts	100 Watts	100 Watts	100 Watts	100 Watts	
HF continuous	25 Watts	25 Watts	50 Watts	50 Watts	50 Watts	50 Watts	
Overload Protection	Active peak momentary Gain Reduction on all channels, r.m.s. power limiter on h.f. channels						
Bass Boost (40Hz continuously variable)	( 0 to +3dB )		( 0 to +6dB )				
Loudspeaker Dimensions (HxWxD)mm (HxWxD)in.	Pro	264 x 430 x 414 10.4 x 16.9 x 16.3	353 x 600 x 414 13.9 x 23.6 x 16.3	716 x 351 x 480 28.2 x 13.8 x 18.9	832 x 398 x 581 32.8 x 15.7 x 22.9	716 x 626 x 501 28.2 x 24.6 x 19.7	884 x 498 x 628 34.8 x 19.6 x 24.7
	Classic		716 x 304 x 480 28.2 x 12.0 x 18.9	832 x 398 x 581 32.8 x 15.7 x 22.9		884 x 498 x 647 34.8 x 19.6 x 25.5	
	Tower		1020 x 334 x 480 40.2 x 13.2 x 18.9	1167 x 428 x 581 45.9 x 16.9 x 22.9		1139 x 528 x 647 44.8 x 20.8 x 25.5	
Overall Weight	Pro	30.0kg (66lbs)	36.0kg (79.2lbs)	49kg (107.8lb)	65kg (143lb)	73kg (160.6lb)	75kg (165.3lb)
	Classic			49kg (107.8lb)	65kg (143lb)		75kg (165.3lb)
	Tower			53kg (116.8lb)	68kg (149.9lb)		77kg (169.8lb)
Power Requirements:	Internally set			Internally set			
Voltage	115/220 - 230V			100, 115, 220 - 230V			
Frequency	50/60Hz			50/60Hz			
Stands/Brackets	Floor stands included with Hi-Fi products only						
Cabinet Finishes	All products: Standard real wood veneers are available in Black Ash, Mahogany, Cherry and Natural Oak. Other veneers and finishes can be supplied to special order.						

Specifications comply with the following standards: Australian Standard Specification No 1127 "Sound System Loudspeakers" Part 5, IEC Specification Standard No 219-1975  
E. & O.E. The policy of ATC is that of continuous design and development. ATC reserves the right to alter products and specifications without prior notice.  
Acoustic Transducer Co. is a trading name and ATC is the registered trade mark of Loudspeaker Technology Ltd.

## SCM25/50/100/110/150

### Passive Monitors

Drivers:		SCM50SL	SCM100SL	SCM150SL
HF		25mm (1")	25mm (1")	25mm (1")
MF		75mm (3")	75mm (3")	75mm (3")
LF		234mm (9")	314mm (12")	374mm (15")
<b>Amplitude Linearity ±2dB</b>		70Hz – 17kHz	65Hz – 17kHz	60Hz – 17kHz
<b>Cut-off Frequencies (-6dB free standing)</b>		38Hz & 25kHz	32Hz & 25kHz	25Hz & 25kHz
<b>Matched Response</b>		±0.5dB	±0.5dB	±0.5dB
<b>Dispersion:</b>				
Horizontal		±80° Coherent	±80° Coherent	±80° Coherent
Vertical		±10° Coherent	±10° Coherent	±10° Coherent
<b>Max Continuous SPL @ 1 metre</b>		112dB	115dB	117dB
<b>Crossover Frequencies</b>		380Hz and 3.5kHz, 4th order, critically damped with phase compensation		
<b>Input Connector</b>		Binding Posts/4mm Sockets (Tri-Wire capable)		
<b>Sensitivity @ 1 Watt/metre</b>		85dB	88dB	91dB
<b>Nominal Impedance</b>		8 ohms		
<b>Recommended Power Amplifier:</b>		100 - 1500 Watts		
<b>Loudspeaker Dimensions (HxWxD)mm (HxWxD)in.</b>	<b>Classic</b>	716 x 304 x 425 28.2 x 12.0 x 16.7	832 x 398 x 526 32.8 x 15.7 x 20.7	884 x 498 x 592 34.8 x 19.6 x 23.3
	<b>Tower</b>	1020 x 334 x 425 40.2 x 13.2 x 16.7	1167 x 428 x 526 45.9 x 16.9 x 20.7	1139 x 528 x 592 44.8 x 20.8 x 23.3
<b>Overall Weight</b>	<b>Classic</b>	41kg (90.4lb)	57.0kg (125.7lb)	68kg (149.9lb)
	<b>Tower</b>	45kg (99.2lb)	61kg (134.5lb)	70kg (154.3lb)
<b>Stands/Brackets</b>		Floor stands included with Hi-Fi products only		
<b>Cabinet Finishes</b>		All products: Standard real wood veneers are available in Black Ash, Mahogany, Cherry and Natural Oak. Other veneers and finishes can be supplied to special order.		

Specifications comply with the following standards: Australian Standard Specification No 1127 "Sound System Loudspeakers" Part 5, IEC Specification Standard No 219-1975  
E. & O.E. The policy of ATC is that of continuous design and development. ATC reserves the right to alter products and specifications without prior notice.  
Acoustic Transducer Co. is a trading name and ATC is the registered trade mark of Loudspeaker Technology Ltd.

### 10. Care and Maintenance

High technology material finishes are used in this product. The surfaces are durable and with a little care can be kept as good as new even under conditions of heavy use. Normally a dry duster will be all that is required to keep the finishes clean.

Heavy soiling can be cleaned using a cloth slightly moistened with a non-abrasive household cleaner.

There are no components within the speaker that can be considered expendable, or that would benefit from regular maintenance. There is no requirement for any kind of routine service work and there is no schedule for preventative maintenance.

There are no user replaceable parts within the speaker and in the unfortunate event of any malfunction, repair should be referred to either the supplying dealer or consultant, the relevant importer, or ATC. ATC has every confidence in the quality of each product that it manufactures.

### 11. Warranty and Contact

All ATC products are guaranteed against any defect in materials or workmanship for a period of two years from the date of purchase. Within this period we will supply replacement parts free of charge provided that the failure was not caused by misuse, accident or negligence.

Purchasers who complete and return the Warranty Card will have their warranty period extended up to a period of six years from the date of purchase. This guarantee does not limit statutory rights.

ATC can be contacted at:  
Loudspeaker Technology Ltd, Gypsy Lane, Aston  
Down, Stroud, Gloucestershire GL6 8HR, UK.  
Telephone: 01285 760561  
Fax: 01285 760683  
Email: info@atc.gb.net  
Website: www.atc.gb.net



Loudspeaker Technology Ltd, Gypsy Lane, Aston Down, Stroud, Gloucestershire GL6 8HR United Kingdom

Telephone 01285 760561 Fax 01285 760683

Email: [info@atc.gb.net](mailto:info@atc.gb.net) Website: [www.atc.gb.net](http://www.atc.gb.net)

## Anexo 9

**amphion® create**

Handmade  
in Finland



**FlexBase25 System**

Reference Manual

## Table of contents

---

Introduction	3
Safety warnings	4
Front panel controls	5
Back panel connections	7
Block diagram	8
Connectivity diagram	9
Technical specifications	10
Settings - recall sheet	11

**i FlexBase25 delivery contains:**

- 1 pc** Amphion FlexAmp1200 2U Amplifier & Crossover
- 1 pc** Amphion FlexBase25 Tower
- 1 pc** Neutrik Speakon/Speakon (NL4FX) 4-pole speaker cable for connecting. Length 3.5 meters
- 1 pc** FlexBase25 Reference manual

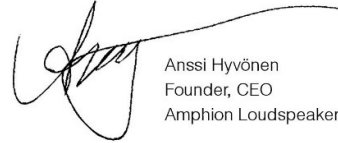
## Introduction

---

### Welcome

Thank you for choosing FlexBase25. The music-making environment continues to change, and the demands for monitoring evolve accordingly. As modern music becomes more bass-intensive, the need to hear clearly into the lowest octaves becomes crucial. Ever tightening deadlines, last minute changes, and an increasing need to be able to have control over multiple segments of the project mean that monitoring must adapt to different demands.

FlexBase25 looks simple, but it houses a lot of new thinking. It is easy to set-up and intuitive to use. It can be easily adapted to whatever task the modern sound engineer may encounter. We hope that it help you finish your project more quickly, while contributing positively to the creative process.



Anssi Hyvönen  
Founder, CEO  
Amphion Loudspeakers Ltd.

### The System

The FlexBase25 is an unconventional yet easy-to-place and simple-to-set-up approach to subwoofer design. For correct, well-translating decisions an engineer needs to have access to the stereo information throughout the whole frequency band. Mono subwoofers stem from a movie format and tend not to be sufficiently resolving for music use.

FlexBase25 is a single box, stereo subwoofer, which is placed in the centre line between the main speakers. Wide adjustment possibilities over crossover frequency (35-260 Hz), subwoofer level, as well as the mono-stereo spread allow FlexBase25 to address the needs of a rapidly changing landscape of modern music-making. With a turn of a few dials, the system can be adapted to what best works for the project an engineer is working on.

FlexBase25 can be fat, fun, and vibey when writing and producing. It will be precise, correct, and analytical when putting the finishing touches on a song or a film score. The system will allow you to continue to use your monitors for a narrower midrange view, as FlexBase25 can be bypassed. FlexBase 25 works with all Amphion products. Pair it with One12, One15, Two15 or One18 for a smaller room full range system or place it with behind the console while keeping your One18, Two15 or Two18 on the meter bridge.

## Safety warnings

---

1. Please read and follow these instructions before using the amplifier.

2. Do not use this apparatus near water.

3. Clean only with a dry cloth.

4. Do not block any ventilation openings.

5. Install in accordance with the manufacturer's instructions.

6. Do not install near any heat sources such as radiators, heat registers, stoves, or other apparatus (including amplifiers) that produce heat.

7. The unit generates heat especially during prolonged operation at intensive levels. Please do not cover or place objects on top. When rack mounting it is recommended to leave space above the unit to allow free circulation of air.

8. Do not defeat the safety purpose of the polarized or grounding-type plug. A polarized plug has two blades with one wider than the other. A grounding-type plug has two blades and a third grounding prong. The wide blade or the third prong are provided for your safety. If the provided plug does not fit into your outlet, consult an electrician for replacement of the obsolete outlet.

9. Protect the power cord from being walked on or pinched, particularly at plugs, convenience receptacles, and the point where they exit from the apparatus.



10. Use only with the cart, stand, tripod, bracket, or table specified by the manufacturer, or sold with the apparatus. When a cart is used, use caution when moving the cart/apparatus combination to avoid injury from tip-over.



11. Any terminals marked with the preceding symbol are HAZARDOUS LIVE and any wiring connected to these terminals must be installed by an INSTRUCTED PERSON or with ready-made leads or cords.

12. Unplug this apparatus during lightning storms or when unused for long periods of time.

13. Refer all servicing to qualified service personnel. Servicing is required when the apparatus has been damaged in any way, such as power-supply cord or plug is damaged, liquid has been spilled or objects have fallen into the apparatus, the apparatus has been exposed to rain or moisture, does not operate normally, or has been dropped.

WARNING: TO REDUCE THE RISK OF FIRE OR ELECTRIC SHOCK, DO NOT EXPOSE THIS APPARATUS TO RAIN OR MOISTURE. DO NOT EXPOSE THIS EQUIPMENT TO DRIPPING OR SPLASHING AND ENSURE THAT NO OBJECTS FILLED WITH LIQUIDS, SUCH AS VASES, ARE PLACED ON THE EQUIPMENT. TO COMPLETELY DISCONNECT THIS EQUIPMENT FROM THE AC MAINS, DISCONNECT THE POWER SUPPLY CORD PLUG FROM THE AC RECEPTACLE. THE MAINS PLUG OF THE POWER SUPPLY CORD SHALL REMAIN READILY OPERABLE.



This symbol indicates that there are important operating and maintenance instructions in the literature accompanying this unit.



This symbol indicates that dangerous voltage constituting a risk of electric shock is present within this unit.



Amphion Create products come with a two-year warranty against defects in materials and our workmanship. For warranty or out-of-warranty service, in the first instance please contact your original dealer and provide a copy of the original sales receipt. If you require additional assistance, please contact your local sales representative or distributor. If you have difficulty making contact with either of the above, please contact our headquarters. Please do not return or ship any product to Amphion Loudspeakers Ltd. nor its resellers without prior authorisation. For proper unpacking, installation, positioning, and maintenance instructions, please first check the manual thoroughly.

## Front panel controls



**PLEASE NOTE!** When rack mounting it is recommended to leave at least 1U space above the unit to allow free air circulation.



### ① Power button

Power button turns on the power of the unit. Please note that hard bypass is enabled also when power is off, and that the unit always switches to active mode after power is switched on.



**PLEASE NOTE!** Turn on power before feeding signal into the amplifier.



**PLEASE NOTE!** If power of the amplifier switches off after a few seconds when turned on, please make sure that you push the power button all the way in.

### ② Active button

Active button switches the unit between hard bypass and active mode. The FlexBase25 is active when the light is on.



**PLEASE NOTE!** FlexBase25 improves the headroom of the monitor connected to the system, by transforming a 2-way monitor into a cohesive 3-way full range system. In order to prevent damage to the monitors, please exercise caution and reduce the listening volume before engaging the by-pass function.

## Front panel controls

---

### ③ Level

Level dial controls the level of the low frequency extension provided by the FlexBase25. The right setting depends on your speaker model sensitivity, your room low frequency absorption, and your personal preference and application. During song-writing, fun and vibey settings might be preferred over more "correct" ones. FlexBase25 allows easy adjustment as work progresses. While it is common practice to write or start the mix with a slightly elevated low frequency for mastering use as well as for optimal mix translation, a more neutral setting tends to be more beneficial.

Tip for finding a balanced setting: Use the Active Button to switch between active and bypass mode to find a (neutral) setting where the low frequency response is extended but not exaggerated by the FlexBase25. Tweak your setting to taste as needed.

### ④ Crossover Frequency

Crossover Frequency control allows you to choose how much of the low frequency range you want the FlexBase25 to handle. The higher the frequency, the less heavy lifting is required from your main pair of speakers. This will help to keep the midrange clean, especially at high SPL levels. A lower crossover frequency setting allows a subtle add-on of the missing lowest octave(s) to your main speaker without changing the sound character you are familiar with. As a general rule, the smaller the main speaker, the higher the crossover frequency.

Choosing the right crossover frequency can greatly help in achieving the smoothest low frequency response in your room. As speaker placement greatly affects the upper bass / low mid response, adjusting the placement of the problematic frequency range between the monitors or the FlexBase25 can be surprisingly efficient when battling room modes (a certain frequency which is either exaggerated or almost lost, especially in smaller rooms). 60-300 Hz is typically an area where rooms present their biggest problems. It is therefore worth experimenting if the room response can be improved with the crossover adjustments.

In order to achieve the purest possible signal path, the variable crossover is implemented by switching between 16 discrete filter configurations. Depending on your input signal and monitor setup, you might hear this switching between steps as a faint "click" for each step. This is normal behaviour and similar to stepped high-end level attenuators.

**Note:** The higher the crossover frequency, the more important it becomes to run the FlexBase25 in stereo mode (please see Adjusting the stereo spread).

### ⑤ Adjusting the stereo spread

This control allows you to gradually move from a more traditional mono response to a full stereo image. The best setting depends on several aspects such as how wide your main pair stereo image is as well as on your personal preference.

Please note that although it is true that localizing the sound direction becomes increasingly difficult as frequency decreases, polarity and phase differences between left and right channels are certainly detected all the way down to the human hearing limits. This is one reason why traditional subwoofers can deceive you and ruin mix translation to other systems.

## Back panel connections



### ⑥ Input +4dB (L and R)

These are the balanced inputs for your stereo signal. If you are using an unbalanced source, it is recommended to connect XLR pin 3 to pin 1.

### ⑦ Main out (L and R)

These are the outputs for your main power amp and speakers. If you are using an unbalanced destination, it is recommended to leave XLR pin 3 unconnected.

### ⑧ LFE input

This is a direct input for a separate LFE signal (such as the .1 in a 5.1 monitoring setup). Sensitivity is +10dB compared to the main inputs, and there is no built-in low pass filtering applied. In other words, the crossover frequency does not affect this signal. The LFE level is also not affected by the front panel level setting.

### ⑨ LFE link out

This connector is provided for chaining the LFE signal across several BaseAmp units (typically in a multichannel setup).

### ⑩ Footswitch

Possibility of using a foot-switch in addition to the by-pass button on the front of the device. This allows using a foot pedal to activate the by-pass model in cases, where the controller is located further away from the user.

### ⑪ Base out

Neutrik Speakon (NL4FX) 4-pole speaker output for the FlexBase25 tower.

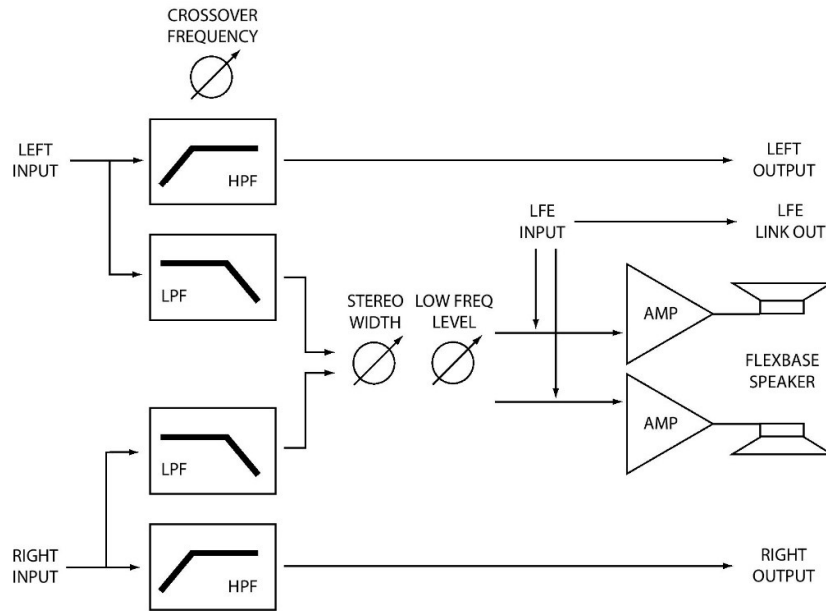
### ⑫ IEC power connector

Power input, auto switching in the 100-240V range, internally fused.

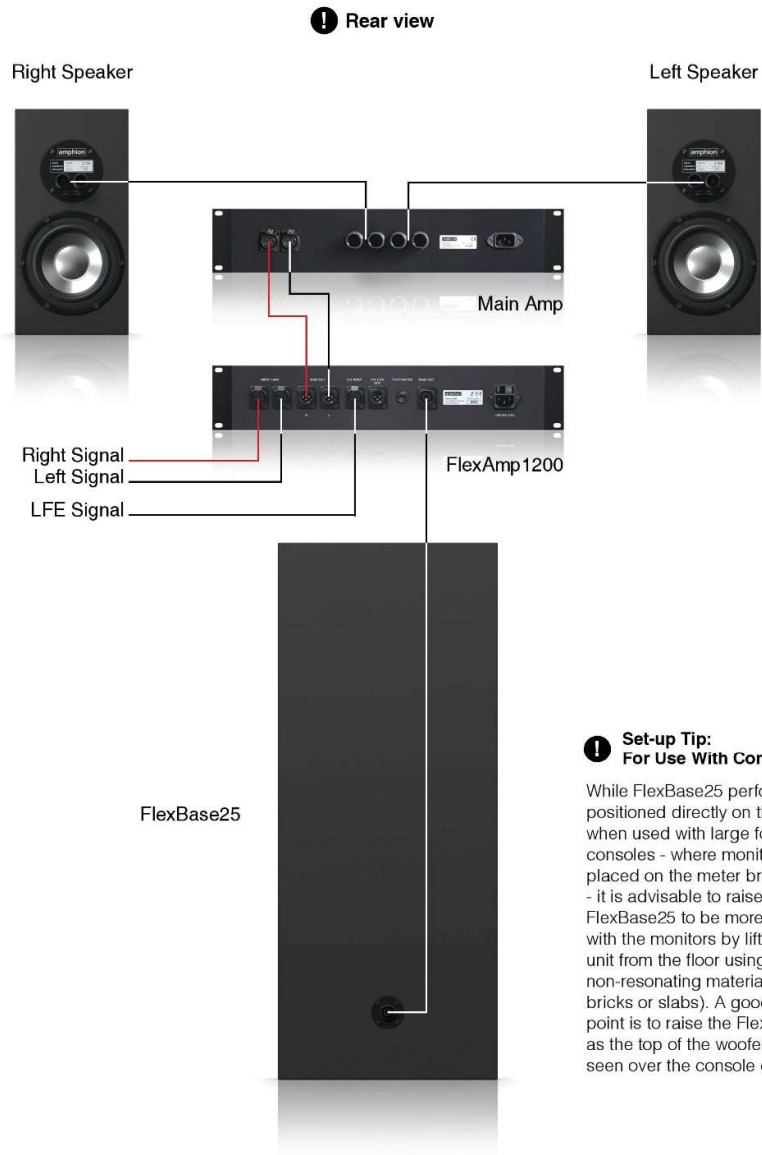


**PLEASE NOTE!** Always turn power off before inserting or removing cables.

### Block diagram



## Connectivity diagram



**! Set-up Tip:  
For Use With Consoles**

While FlexBase25 performs well positioned directly on the floor, when used with large format consoles - where monitors are placed on the meter bridge - it is advisable to raise the FlexBase25 to be more in line with the monitors by lifting the unit from the floor using solid, non-resonating material (eg. bricks or slabs). A good starting-point is to raise the FlexBase so as the top of the woofers can be seen over the console edge.

## Technical specifications

---

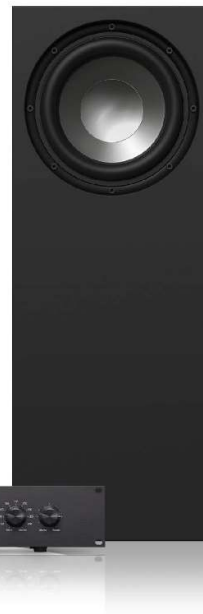
### FlexBase25

<b>Operating principle</b>	One way closed box, stereo
<b>Drivers</b>	2 x 25 cm / 10" aluminum driver
<b>Crossover</b>	Active 4th-order @ 35-260 Hz
<b>Max SPL</b>	117dB
<b>Frequency Response</b>	20 - 260 Hz +/-3dB (low pass) 35 Hz - 200 kHz +/-3dB (high pass)
<b>Weight</b>	50 kg / 110 lb

### FlexAmp1200

<b>Output power</b>	2 x 700W RMS into 4 $\Omega$ @ 1% THD
<b>THD + noise</b>	@ 10W: 0,0025% (100 Hz) @ 100W: 0,0015% (100 Hz)
<b>Dynamic range</b>	127dB (A) weighted
<b>Efficiency</b>	79% @ full power (230 V operation)
<b>Mains</b>	Universal mains including Power Factor Correction (100-240 V, 50-60 Hz)
<b>Stand-by mode</b>	ErP (1275/2008/EC), Energy Star® v3.0 compliant
<b>Weight</b>	6 kg / 13 lb

Made in Finland



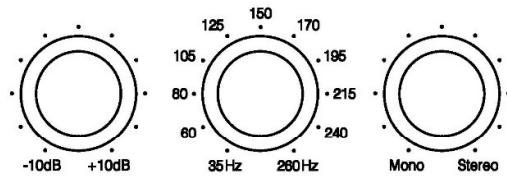
## Settings - recall sheet

---

**amphion**

SETTING NAME:

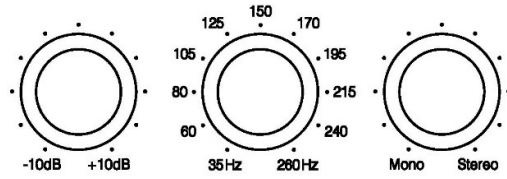
DATE:



**amphion**

SETTING NAME:

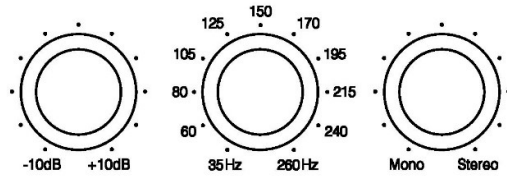
DATE:



**amphion**

SETTING NAME:

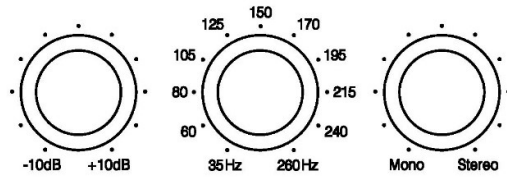
DATE:



**amphion**

SETTING NAME:

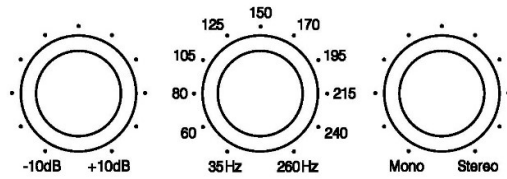
DATE:



**amphion**

SETTING NAME:

DATE:





**Reference Manual**

Version: 3.0 / 01.01.2022

**Amphion Loudspeakers Ltd.**

Factory & Headquarters  
Telkkistentie 2  
70460 Kuopio  
Finland  
Tel. +358 17 2882 100  
info@amphion.fi  
amphion.fi

## Anexo 10

# Scarlett 18i20

## User Guide



FFFA001448-01

**Focusrite**<sup>®</sup>  
[www.focusrite.com](http://www.focusrite.com)

## SPECIFICATIONS

### Performance Specifications

<b>Configuration</b>	
Inputs	18: analogue (8), ADAT (8), S/PDIF (2)
Outputs	20: analogue (10), ADAT (8), S/PDIF (2)
Mixer	Fully assignable 18-in/10-out software mixer (Focusrite Control)
<b>Digital Performance</b>	
Supported sample rates	44.1 kHz, 48 kHz, 88.2 kHz, 96 kHz, 176.4 kHz and 192 kHz
Clock jitter	<250 ps
<b>Microphone Inputs</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +0.5/-1.5 dB
Dynamic Range	109 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.002%
Noise EIN	-127 dBu
Maximum Input Level	+8.5 dBu (without pad)
Gain Range	50 dB
<b>Line Inputs 1 &amp; 2</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +0.5/-1.5 dB
Dynamic Range	109 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.003%
Maximum Input Level	+22 dB
Gain Range	50 dB
<b>Line Inputs 3 &amp; 8</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +/-0.5 dB
Dynamic Range	110 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.003%
Maximum Input Level	+16 dB
Gain Range	50 dB

<b>Instrument Inputs</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +0.5/-1.5 dB
Dynamic Range	109 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.003%
Maximum Input Level	+12 dBu
Gain Range	50 dB
<b>Line Outputs 1 to 10</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +/-0.5 dB
Dynamic Range	108 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.001%
Maximum Output Level (0 dBFS)	+16 dBu, balanced
<b>Headphone Outputs</b>	
Frequency Response	20 Hz to 20 kHz, +/-0.5 dB
Dynamic Range	108 dB ('A'-weighted)
THD+N	< 0.001%
Maximum Output Level (0 dBFS)	+13 dBu

### Physical and Electrical Characteristics

<b>Analogue Inputs 1 &amp; 2</b>	
Connectors	XLR Combo type: Mic/Line/Inst, on front panel
Mic/Line switching	Automatic
Line/Instrument switching	2 x front panel switches
Phantom power	Shared +48 V phantom power switch for inputs 1 to 4
<b>Analogue Inputs 3 to 8</b>	
Connectors	XLR Combo: Mic/Line, on rear panel
Mic/Line switching	Automatic
Phantom power	Shared +48 V phantom power switch for inputs 1 to 4 and 5 to 8
<b>Analogue Outputs</b>	
Main outputs	10 x balanced ¼" TRS jacks on rear panel
Stereo headphone outputs	2 x ¼" TRS jack on front panel
Main monitor output level control	On front panel
Headphones level controls	
<b>Other I/O</b>	
ADAT I/O	2 x TOSLINK optical connectors; 8 channels @ 44.1/48 kHz or 4 channels @ 88.2/96 kHz
S/PDIF I/O	2 x phono (RCA)
Word clock output	BNC connector
USB	1 x USB 2.0 Type B connector
MIDI I/O	2 x 5-pin DIN sockets
<b>Weight and Dimensions</b>	
W x D x H	482 mm x 45 mm (1U) x 286 mm 19" x 1.73" (1U) x 11.26"
Weight	3.27 kg 7.21 lb

## Apêndices

### Apêndice 1

A sala “ESMAE – Estúdio B” apresenta uma construção que inclui uma antecâmara, que, se considerada como parte da sala, influencia o comprimento total do espaço e por consequência a área e volume da mesma.

No presente estudo, considerou-se a dimensão do espaço sem antecâmara (6,42 m) para os cálculos da Frequência de Schroeder e previsão das frequências modais.

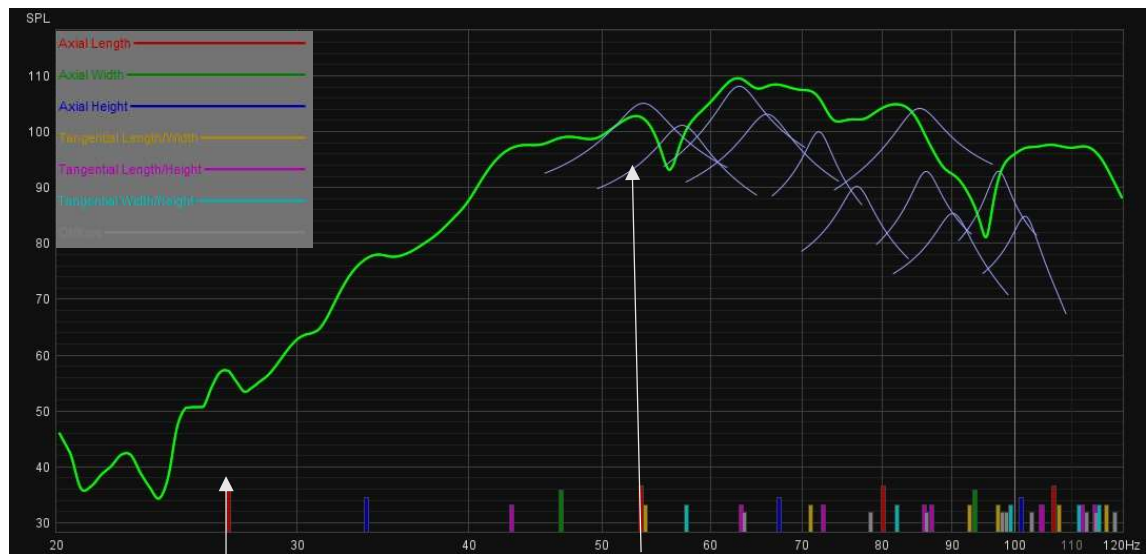


Figura 368 – Reposta modal da sala “ESMAE – Estúdio B”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 6,42 m x 3,67 m x 5,09 m

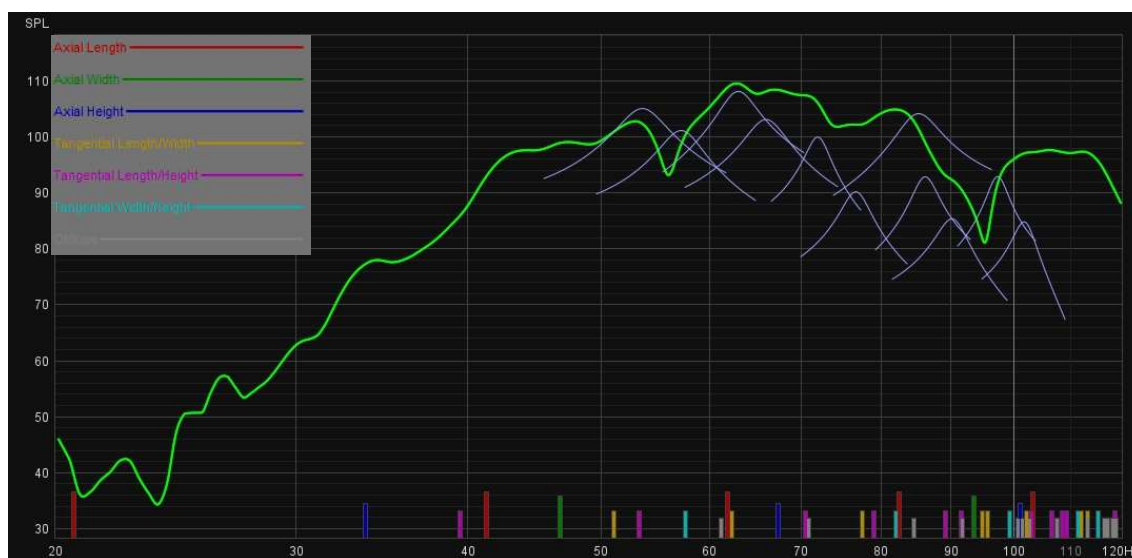


Figura 369 – Reposta modal da sala “ESMAE – Estúdio B”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 8,19 m x 3,67 m x 5,09 m

Observando a Figura 368, que apresenta a resposta do par DODEC – CORNER para a sala “ESMAE – Estúdio B”, em conjunto com as frequências modais calculadas pelo *software* REW (o cálculo é efetuado segundo a Equação 3, com um ajuste a considerar o facto de o espaço não ser absolutamente estanque) para as dimensões de 6,42 m x 3,67 m x 5,09 m e ressonâncias detetadas pelo *software*, na medição em questão.

É possível observar que os dois primeiros modos axiais de comprimento calculados pelo *software* (ao fundo a vermelho) coincidem com dois pontos de pressão no par DODEC – CORNER.

O gráfico da Figura 369, similar à Figura 368, com as frequências modais ao fundo a serem calculadas para as dimensões de 8,19 m x 3,67 m x 5,09 m, resulta na não coincidência entre os primeiros modos axiais de comprimento calculados e pontos de pressão na medição no par DODEC – CORNER.

## Apêndice 2

A sala “ESMAE – Régie A” apresenta uma construção que inclui uma antecâmara, que, se considerada como parte da sala influencia o comprimento total do espaço, e por consequência a área e volume da mesma. Esta parede do fundo da sala foi acrescentada posteriormente à construção original sala. Este espaço foi criado para criar uma sala de máquinas. A antecâmara está ligada ao espaço principal pelo teto falso.

No presente estudo considerou-se a dimensão do espaço sem antecâmara (6,19 m), para os cálculos da Frequência de Schroeder e previsão das frequências modais.

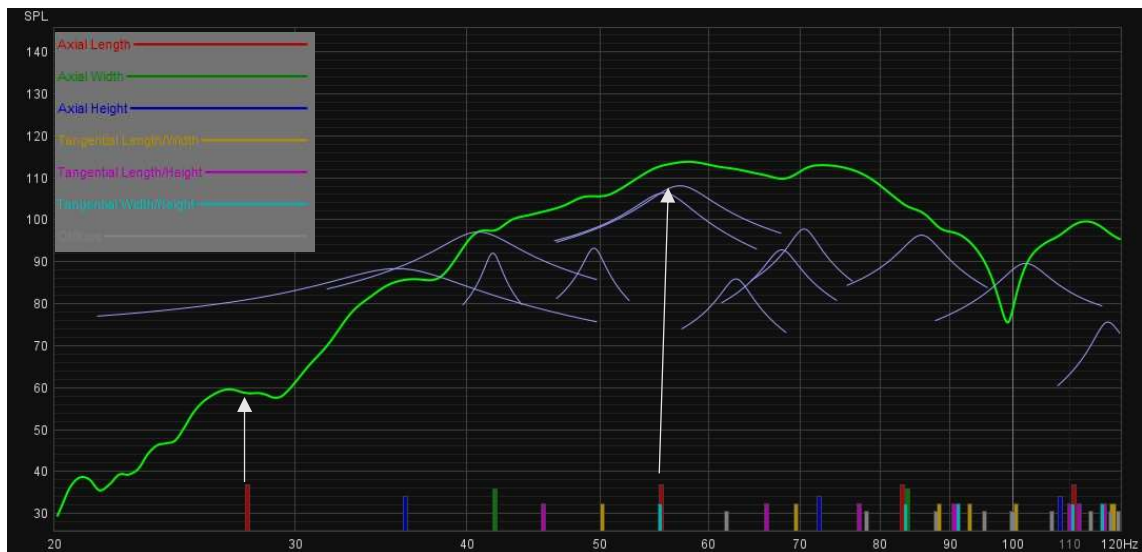


Figura 370 – Reposta modal da sala “ESMAE – Régie A”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m

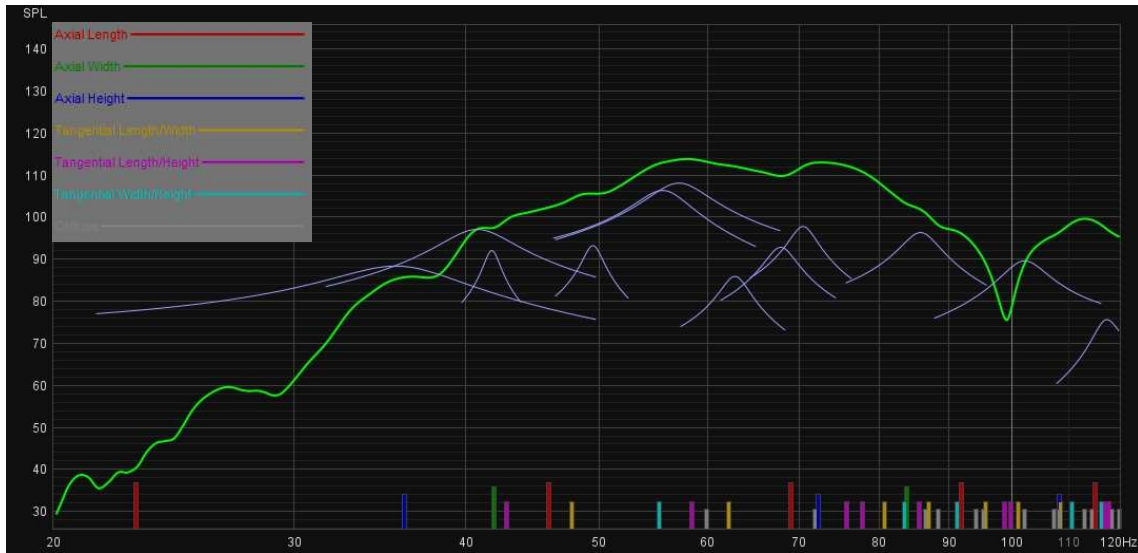


Figura 371 - Reposta modal da sala “ESMAE – Régie A”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 7,46 m x 3,67 m x 5,09 m

Observando a Figura 370, que apresenta a resposta do par DODEC – CORNER, para a sala “ESMAE – Régie A” em conjunto com as frequências modais calculadas pelo *software* REW (o cálculo é efetuado segundo a Equação 3, com um ajuste a considerar o facto de o espaço não ser absolutamente estanque) para as dimensões de 6,19 m x 4,09 m x 4,75 m e ressonâncias detetadas pelo *software*, na medição em questão.

É possível observar que os dois primeiros modos axiais de comprimento calculados pelo *software* (ao fundo a vermelho) coincidem com dois pontos de pressão no par DODEC – CORNER. A segunda frequência modal associada ao eixo de comprimento também é quase coincidente com uma frequência assinalada pelo *software* como ressonância.

O gráfico da Figura 369, similar à Figura 371, com as frequências modais ao fundo a serem calculadas para as dimensões de 7,46 m x 4,09 m x 4,75 m, resulta na não coincidência entre os primeiros modos axiais de comprimento calculados e pontos de pressão na medição no par DODEC – CORNER.

### Apêndice 3

A sala “ARDA – Studio C”, caracteriza-se pela construção de duas salas dentro daquele que é, estruturalmente, apenas um espaço. O espaço está dividido por uma porta de vidro e uma parede falsa, com finalidades de controlo acústico e separação dos espaços.

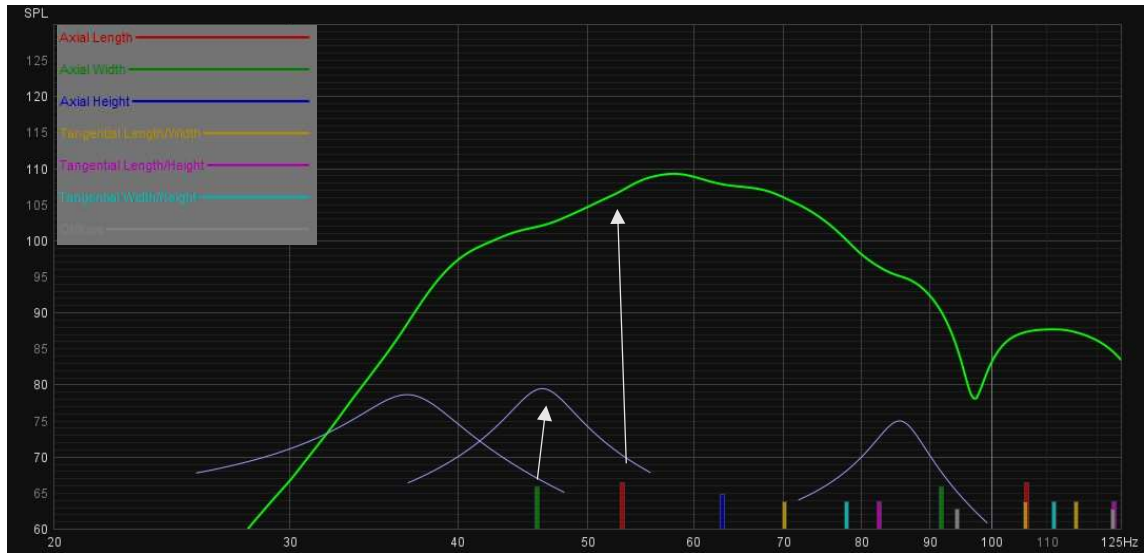


Figura 372 - Reposta modal da sala “ARDA – Studio C”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 3,23 m x 3,74 m x 2,72 m

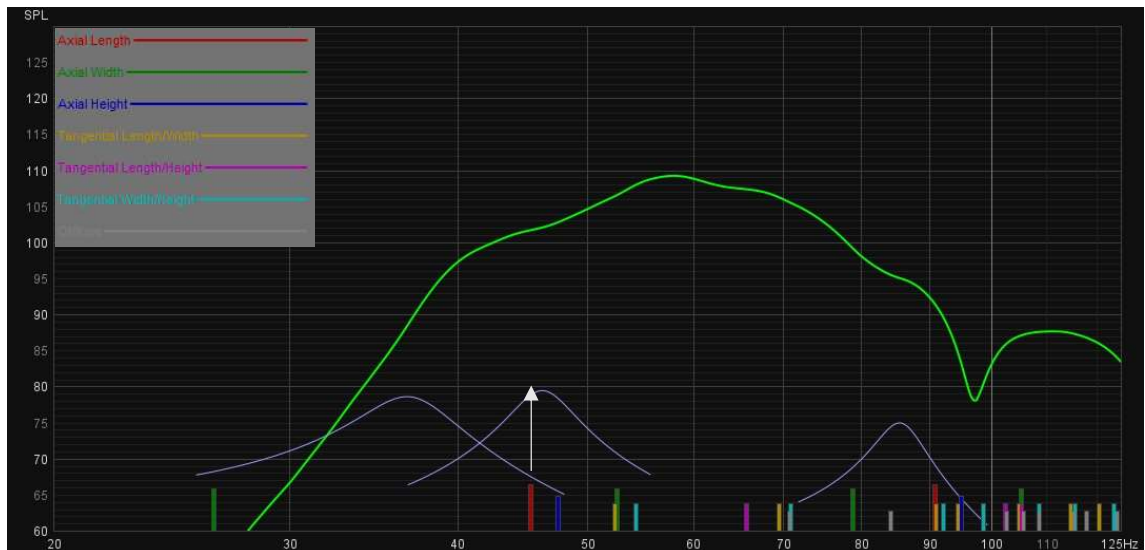


Figura 373 - Reposta modal da sala “ARDA – Studio C”; representada pela linha verde a resposta em frequência do par DODEC – CORNER, as marcar a violeta correspondem a frequências ressonantes, detetadas pelo *software* REW; ao fundo estão marcadas as frequências modais calculados pelo *software*, para as dimensões de 3,78 m x 6,52 m x 3,61 m

Considerando o cálculo das frequências modais, utilizando as dimensões das fronteiras visíveis (Figura 372), em comparação com o cálculo das frequências modais considerando as dimensões estruturais do espaço (Figura 373), não é possível afirmar de forma assertiva quais as dimensões que melhor coincidem com pontos de pressão encontrados nas medições efetuados no par DODEC – CORNER. Desta forma, por uma questão de coerência com as decisões tomadas para a análise dos restantes espaços, considera-se a dimensão estrutural do espaço, para efeitos de cálculos e comparações.

## Apêndice 4

PARÂMETRO / SALA	Espaço Doméstico	ESMAE - Estúdio B	ESMAE - Lab.de Mús. Ele.	ESMAE - Régie A	ARDA - Studio C	ARDA - Mastering Studio	Estúdio Miramar
Dimensão Estrutural - Comprimento	4,75 m	6,42 m	5,99 m	7,46 m	3,78 m	6,30 m	5,80 m
Dimensão Estrutural - Largura	3,80 m	3,67 m	3,63 m	4,09 m	6,52 m	5,22 m	4,73 m
Dimensão Estrutural - Altura	2,64 m	5,09 m	4,75 m	4,75 m	3,61 m	3,61 m	2,63 m
Dimensão Visível - Comprimento	4,75 m	6,42 m	5,99 m	6,19 m	3,23 m	5,12 m	5,30 m
Dimensão Visível - Largura	3,80 m	3,67 m	3,63 m	4,09 m	3,74 m	4,80 m	4,23 m
Dimensão Visível - Altura	2,64 m	5,09 m	4,75 m	3,30 m	2,72 m	2,72 m	2,63 m
Área Bruta	18,05 m <sup>2</sup>	23,56 m <sup>2</sup>	21,74 m <sup>2</sup>	30,51 m <sup>2</sup>	24,65 m <sup>2</sup>	32,23 m <sup>2</sup>	27,43 m <sup>2</sup>
Volume Bruto	47,65 m <sup>3</sup>	119,93 m <sup>3</sup>	103,28 m <sup>3</sup>	144,93 m <sup>3</sup>	88,97 m <sup>3</sup>	118,72 m <sup>3</sup>	72,15 m <sup>3</sup>
% Área Ocupada	0%	2,70%	9,20%	6,60%	19,40%	16,80%	18,20%
% Volume Ocupado	0%	2,70%	5,60%	35,40%	39,20%	37,10%	25,80%
Distância aos Altifalantes	2,35 m	1,82 m	1,55 m	2 m	0,85 m	2,85 m	2,1 m
Tempo Médio de T30 (DODEC - SS)	0,51 seg.	0,42 seg.	0,76 seg.	0,29 seg.	0,13 seg.	0,17 seg.	0,12 seg.
((T30/Volume) * 100)	1,07	0,35	0,74	0,2	0,15	0,14	0,17
Valor RT (500 Hz - 4000 Hz)	0,4 seg.	0,33 seg.	0,66 seg.	0,22 seg.	0,11 seg.	0,18 seg.	0,11 seg.
Valor Ideal de RT (500 Hz -4000 Hz)	0,2 seg.	0,27 seg.	0,25 seg.	0,28 seg.	0,24 seg.	0,26 seg.	0,22 seg.
Tempo Médio de EDT (DODEC - SS)	0,42 seg.	0,41 seg.	0,67 seg.	0,26 seg.	0,18 seg.	0,19 seg.	0,15 seg.
Frequência de Não Suporte	37 Hz	21 Hz	29 Hz	24 Hz	24 Hz	28 Hz	30 Hz
Frequência de Schroeder	205 Hz	105 Hz	172 Hz	90 Hz	76 Hz	75 Hz	83 Hz
Frequência Região Difusa - Região Especular	1559 Hz	1122 Hz	1134 Hz	1247 Hz	1140 Hz	1140 Hz	1565 Hz
Número de Modos Estimados	24	37	41	18	10	13	13
Número de Modos Detetados	17	12	20	11	3	3	5
Reflexão do Chão (1º pico calculado)	245 Hz	203 Hz	223 Hz	213 Hz	180 Hz	212 Hz	214 Hz

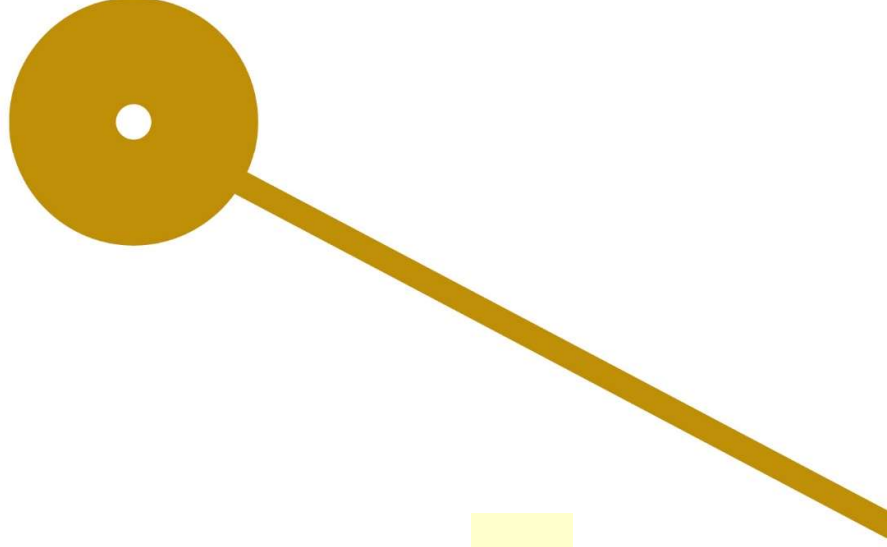
<b>Reflexão do Chão (1º cancelamento calculado)</b>	123 Hz	102 Hz	112 Hz	107 Hz	90 Hz	106 Hz	107 Hz
<b>Bass Ratio (DODEC - SS)</b>	1,82	2,17	1,45	2,33	1,18	0,96	1,36
<b>Bass Ratio (MON L - BACK)</b>	1,64	2	1,5	1,9	1,29	1,4	1,36
<b>Aumento % RT 125 Hz VS 1000 Hz</b>	83%	93%	66%	169%	45%	-15%	63%
<b>Aumento % RT 63 Hz VS 1000 Hz</b>	155%	177%	67%	125%	63%	9%	61%
<b>Valor Médio C50 (500 Hz - 4000 Hz)</b>	10,08 dB	15,35 dB	9,11 dB	18,23 dB	32,88 dB	19,98 dB	31,38 dB
<b>Bass Ratio aplicado a C50</b>	0,69	0,51	0,4	0,71	0,94	1,01	0,9

ESCOLA  
SUPERIOR  
DE MÚSICA  
E ARTES  
DO ESPETÁCULO  
POLITÉCNICO  
DO PORTO

P.PORTO

**M**

MESTRADO  
ARTES E TECNOLOGIAS DO SOM



Avaliação das Condições Acústicas em *Home Studios* e  
Estúdios Profissionais - Estudo Comparativo  
Diogo Filipe Fernandes Freitas