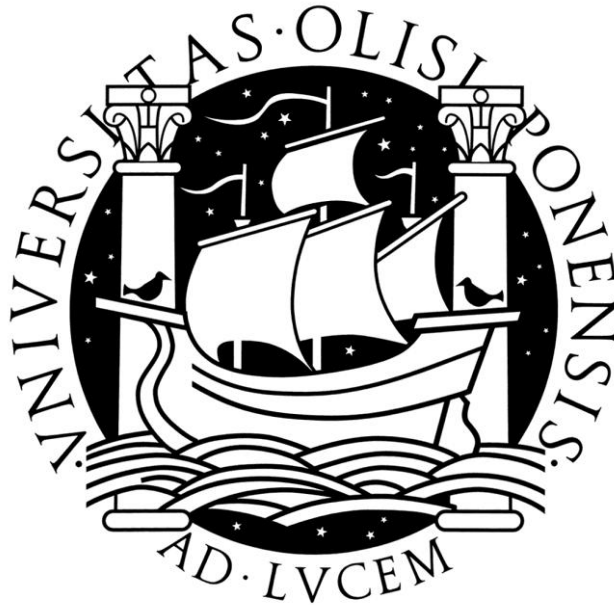


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado

Vitor Carlos Tadeia Rosão

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia Física

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado

Vitor Carlos Tadeia Rosão

Dissertação orientada por:

Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa:

Professora Doutora Maria Margarida da Fonseca Beja Godinho

Escola Superior de Música, Artes e Espetáculo do Instituto Politécnico do Porto:

Professor Doutor Octávio José Patrício Fernandes Inácio

Mestrado Integrado em Engenharia Física

2012

Dedico este trabalho aos meus Mestres na música:

Constantino Torres

Francisco Ramiro

Gualberto Fonte Santa

Manuel Claro

O texto deste trabalho segue as regras do “novo” Acordo Ortográfico por opção do autor.

Resumo

Apesar de o Fado ser, desde Novembro de 2011, Património Imaterial da Humanidade, e parte fundamental da cultura Portuguesa há mais de um século, não se conhecem até à data estudos científicos sobre a qualidade acústica das Casas de Fado. Nestas circunstâncias considerou-se adequado e relevante procurar desenvolver o presente trabalho que tem como base a confrontação entre os resultados de medições acústicas *in situ* e a opinião de utilizadores destes espaços. Para concretizar o presente trabalho optou-se por: 1) efetuar a análise e explicitação dos principais fundamentos teóricos associados à acústica de salas, incluindo desenvolvimento de fórmulas específicas para determinação dos valores de alguns dos 7 parâmetros físico-acústicos utilizados (*Tempo de Reverberação, Amplificação Acústica, Tempo de Decaimento Inicial, Clareza, Definição, Tempo Central e Ruído de Fundo*) e desenvolvimento de metodologia alternativa para caracterização do parâmetro *Amplificação Acústica*, 2) analisar e explicitar os valores recomendados/exigidos na bibliografia/legislação para os parâmetros físico-acústicos utilizados, em função da tipologia de uso das salas, evidenciando alguns possíveis equívocos e efetuando recomendações associadas, 3) desenvolver e concretizar um Questionário sobre a qualidade acústica de Casas de Fado, amplamente difundido pelo meio Fadista mas com fraca participação uma vez que suscitou apenas 3 respostas, permitindo contudo elencar 11 Casas de Fado, 4) realizar medições acústicas *in situ* em 5 Casas de Fado, das 11 referidas nas respostas ao Questionário, para caracterização dos 7 parâmetros físico-acústicos, e 5) confrontar e analisar os resultados obtidos no Questionário e nas medições *in situ*, de onde foi possível retirar algumas tendências aparentes que necessitam ser aferidas em eventuais trabalhos futuros sobre a Qualidade Acústica das Casas de Fado.

Palavras chave: Acústica de Salas; Casas de Fado; Qualidade Acústica.

Abstract

Although Fado has been considered, since November 2011, an Intangible Heritage of Humanity, and fundamental part of Portuguese culture for over a century, are not known until now scientific studies about acoustical quality of Fado Houses. In these circumstances it was considered appropriate and relevant to develop the present work, which is based on the confrontation between the results of *in situ* acoustical measurements and the opinion of users of these spaces. To accomplish the work it was decided to: 1) analyze and explain the major theoretical fundamentals associated with room acoustics, including the development of specific formulas for determining the values of some of the 7 acoustical parameters used (*Reverberation Time, Sound Strength, Early Decay Time, Clarity, Definition, Centre Time* and *Background Noise*) and the development of an alternative methodology for *Sound Strength* characterization, 2) analyze and explain the values recommended/required in the bibliography/legislation, for the acoustical parameters used, depending on the type of use of the rooms, showing some possible misunderstandings and making related recommendations, 3) develop and implement a Questionnaire on the acoustical quality of Fado Houses, widespread among people associated with Fado, but with low participation since it raised only 3 responses, allowing however to list 11 Fado Houses, 4) perform *in situ* acoustic measurements in 5 Fado Houses, from the 11 mentioned in the replies to the Questionnaire, for characterization of the 7 acoustical parameters in each of them, and 5) confront and analyze the results obtained in the Questionnaire and in the *in situ* measurements, where it was possible to understand some apparent trends that need to be confirmed in possible future works on the Acoustical Quality of Fado Houses.

Key Words: Room Acoustics; Fado Houses, Acoustical Quality.

Agradecimentos

Agradeço ao “Museu do Fado”, em especial a Sofia Bicho e a Susana Costa, pela sua disponibilidade e cuidado no fornecimento de contatos de alguns nomes relevantes do Fado, para que fosse possível fazer chegar até eles o Questionário elaborado no âmbito da Tese, nomeadamente Ana Moura, Carminho, Maria da Fé, Mariza, Marta Pereira Costa, António Chainho, Camané, Carlos do Carmo, David Ferreira, Diogo Clemente, João Braga, Jorge Fernando, José da Câmara, José Manuel Neto, Luis Guerreiro, Marco Rodrigues, Mário Pacheco, Rui Vieira Nery, Vicente da Câmara e Vitor Marceneiro.

Agradeço à Ana Roque (minha amiga e minha fadista preferida) a opinião e distribuição do Questionário por diversas pessoas do meio Fadista.

Agradeço a todas as pessoas que tiveram a amabilidade de responder ao Questionário elaborado.

Agradeço às 5 Casas de Fado que me permitiram realizar as medições acústicas nas suas salas de espetáculo, em particular as seguintes pessoas: Antero Jacinto, Hélder de Almeida, João Pires, Jorge David e Pedro Ramos.

Agradeço à SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído, a disponibilização do equipamento utilizado para efetivação das medições acústicas *in situ*.

Agradeço à Zélia (meu porto de abrigo) a ajuda em todos os momentos dos nossos 9 anos de casados e também a ajuda na feitura desta Tese em particular no tratamento dos dados.

Agradeço aos meus orientadores, Prof.^a Doutora Margarida Godinho e Prof. Doutor Octávio Inácio, a orientação primorosa ao longo de toda a Tese.

Índice

1	Introdução	9
2	Fundamentos teóricos.....	11
2.1.	Movimento ondulatório	11
2.2.	Atributos sonoros	13
2.3.	Psicoacústica	15
2.3.1.	Nível de Pressão Sonora.....	15
2.3.2.	Bandas de Frequência	16
2.3.1.	Malha A de Ponderação em frequência.....	18
2.3.2.	Nível de Avaliação.....	19
2.4.	Intensidade, Potência, Absorção e Dispersão Sonoras.....	20
2.5.	Variação da intensidade com a propagação	21
2.5.1.	Área de Absorção Sonora Equivalente (espaço fechado)	22
2.5.2.	Tempo de Reverberação (espaço fechado).....	22
2.5.3.	Valores Padronizados, Índices e Termos de adaptação	25
2.6.	Parâmetros “Complementares” (acústica de salas).....	26
2.6.1.	Sound Strength (G) (Amplificação Acústica).....	27
2.6.2.	Early Decay Time (EDT) (Tempo de Decaimento Inicial)	29
2.6.3.	Clarity (C_{80}) (Clareza).....	30
2.6.4.	Definition (D_{50}) (Definição).....	31
2.6.5.	Centre Time (T_s) (Tempo Central).....	32
2.6.6.	Ruído de Fundo.....	34
2.7.	Metodologia alternativa desenvolvida para obtenção de G (Amplificação Acústica).....	35
3	Valores aconselháveis ou obrigatórios.....	37
3.1.	Tempo de Reverberação (T_{60})	38
3.2.	Parâmetros “Complementares”	40
3.2.1.	Amplificação Acústica (G).....	41
3.2.2.	Tempo de Decaimento Inicial (EDT).....	41
3.2.3.	Clareza (C_{80})	42
3.2.4.	Definição (D_{50})	42
3.2.5.	Tempo Central (T_s).....	42
3.2.6.	Ruído de Fundo.....	43
3.3.	Possíveis equívocos e algumas recomendações	44

4	Questionário	48
4.1.	Formulário e disponibilização	48
4.2.	Resultados.....	48
5	Medições <i>in situ</i>	50
5.1.	Procedimentos	50
5.2.	Resultados.....	51
6	Discussão dos Resultados	56
7	Conclusão	60
8	Referências	63
A.1	Questionário	67
A.2	Respostas ao Questionário	73
A.3	Medições <i>in situ</i> Casa G.....	74
A.4	Medições <i>in situ</i> Casa H	82
A.5	Medições <i>in situ</i> Casa I	90
A.6	Medições <i>in situ</i> Casa J	103
A.7	Medições <i>in situ</i> Casa K	115
A.8	Índice de Figuras	125
A.9	Índice de Quadros	126

1 Introdução

No final do séc. XIX Wallace Clement Sabine (1868-1919) [1] deu início à perspetiva “moderna” de análise da acústica de espaços fechados, introduzindo o conceito de “Tempo de Reverberação”. A definição de Tempo de Reverberação constante no Artigo 2.º do DL 96/2008 [2] é a seguinte:

“intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial”.

Desde então tem ocorrido uma significativa evolução dos conhecimentos científicos sobre a acústica de espaços fechados (salas), que fez com que existam atualmente não só métodos de previsão do Tempo de Reverberação relativamente complexos, em função das características geométricas e acústicas dos elementos constituintes da sala (principalmente absorção e dispersão sonora [3]), como também valores considerados aconselháveis [4-7] para o Tempo de Reverberação, em função da tipologia de uso do espaço (teatro, ópera, música sinfónica, etc.), tendo por base estudos comparativos entre a sensação subjetiva da qualidade acústica e os resultados objetivos de medições.

Afigura-se adequado destacar aqui a referência [8], onde Beranek utiliza os resultados de entrevistas realizadas durante 40 anos (1960-2000) a maestros, críticos musicais e aficionados de música sinfónica e ópera, sobre 58 Salas de Concerto em todo o mundo, para ilustrar o significativo tempo que pode ser dedicado a este tipo de trabalho, assim como as referências [9] (2012), [10] (2011) e [11] (2010), e o constante (tradução livre) na introdução da ISO 3382-1 [12] (2009), para ilustrar a atualidade e possibilidade/necessidade de evolução/consolidação que ainda existe nesta temática:

“O Tempo de Reverberação de uma sala já foi considerado o indicador predominante das suas características acústicas. Ainda que o Tempo de Reverberação continue a ser considerado como um parâmetro importante, existe um razoável acordo de que outros parâmetros, tais como Níveis de Pressão Sonora Relativos, Rácios Energéticos Início/Fim, Frações da Energia Lateral, Funções de Correlação Cruzada Interaural, e Níveis de Ruído de Fundo, são necessários para uma avaliação mais completa da qualidade acústica de salas”.

Tendo em conta o enunciado e tendo-se verificado que as Casas de Fado não constam na bibliografia científica disponível sobre esta temática, ou seja, não se encontraram estudos de confrontação entre os resultados de medições acústicas *in situ* e a opinião de utilizadores de Casas de Fado sobre a respetiva qualidade acústica dos espaços, considerou-se adequado e relevante procurar desenvolver um estudo que pudesse analisar em particular

as características acústicas de Casas de Fado. Deste modo, pretende-se contribuir para a determinação de valores objetivos adequados e direcionados para a especificidade acústica deste tipo de salas de espetáculo, tanto mais que o Fado é presentemente, desde Novembro de 2011, Património Imaterial da Humanidade.

A presente dissertação divide-se assim em 6 partes essenciais, para além desta Introdução (capítulo 1), a saber:

a Fundamentos teóricos (capítulo 2):

- Apresentam-se aqui os fundamentos teóricos julgados necessários para um entendimento mais completo dos desenvolvimentos da dissertação, incluindo definição e descrição dos parâmetros físico-acústicos utilizados.

b Valores aconselháveis ou obrigatórios (capítulo 3):

- Analisa-se aqui a bibliografia disponível no sentido de tentar encontrar/direcionar, à partida, os valores objetivos aconselháveis, ou obrigatórios, por imposição legal, para Casas de Fado, no que concerne aos parâmetros físico-acústicos utilizados.

c Questionário (capítulo 4):

- Apresenta-se aqui o Questionário sobre a Acústica das Casas de Fado desenvolvido e as respostas obtidas.

d Medições *in situ* (capítulo 5):

- Descrevem-se aqui as medições acústicas efetuadas *in situ* e os resultados obtidos.

e Discussão dos resultados (capítulo 6):

- Discutem-se aqui os resultados obtidos para cada um dos 7 parâmetros físico-acústicos utilizados, incluindo comparação entre os valores previstos e medidos.

f Conclusões (capítulo 7):

- Apresentam-se aqui as conclusões do trabalho realizado, evidenciando os contributos alcançados.

2 Fundamentos teóricos

2.1. Movimento ondulatório

Existem registos, que nos datam, localizam e personificam trabalhos relativos ao Som, a partir da Grécia antiga (há cerca de 2500 anos). Ainda que se suponha que o *Homo Sapiens Sapiens* já suspeitava, há muitos anos a essa parte, ser o Som um fenómeno ondulatório idêntico ao que ocorre na superfície livre de um líquido, quando é perturbado¹, Aristóteles (384-322 a.C.) é um dos primeiros, de que há registo, a tentar explicar o Som como o resultado do movimento do ar devido à perturbação induzida pela fonte sonora [15].

A consideração aristotélica da necessidade do ar para a propagação sonora, não foi sempre aceite pelos cientistas, sobretudo devido à não visualização ou tateação (para intensidades normais) da vibração do ar – Pierre Gassendi (1592-1655), por exemplo, considerava que o Som se devia à emissão de um feixe de átomos por parte da fonte sonora [16] – contudo, desde que Robert Boyle (1627-1691), em 1660, demonstrou a não propagação do Som no vácuo, através da sua famosa experiência de criação de vácuo em volta de um despertador dentro de uma campânula, que a comunidade científica considera que o Som corresponde a um movimento ondulatório do ar (onda mecânica [13-14]). Esta consideração encontra-se alicerçada em diferentes modelos teóricos e resultados experimentais desenvolvidos desde o séc. XVII por vários cientistas, incluindo Isaac Newton (1642-1727), que incluiu no seu livro *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy* (1686) uma formulação matemática da propagação sonora no ar, considerando a propagação de “pulsos” de pressão entre as diferentes partículas de ar, formulação essa que foi melhorada posteriormente por Leonard Euler (1707-1783), Jean le Rond d’Alembert (1717-1783) e Joseph Louis Lagrange (1736-1813) [15,16].

Uma vez que Jean Baptiste Fourier (1768-1830), demonstrou no seu livro *Analytical Theory of Heat* (1822), que qualquer variação (vibração) ao longo do tempo pode ser decomposta numa soma de senos e/ou co-senos (Série de Fourier), pode-se passar a representar uma dada variação complexa (não sinusoidal) ao longo do tempo através das suas “frequências” (ondas sinusoidais) constituintes, denominando-se tal representação por *Espetro* [17]. Representa-se na Figura 1 uma variação periódica complexa hipotética, ao longo do tempo, que é o resultado da sobreposição de duas variações puras (sinusoides).

¹ De notar que o conceito físico de movimento ondulatório assenta na propagação de uma perturbação (energia) ao longo de um meio, sem que haja uma propagação continuada de matéria, em oposição ao movimento corpuscular em que existe propagação de uma partícula material [13-14].

A variação complexa periódica representada possui um determinado *Período* (T ; em segundos [s]) e uma dada *Frequência* (f , em hertz [Hz]), igual à Frequência mais baixa das Sinusoides constituintes, denominada assim por *Frequência Fundamental*.

A relação matemática entre o período T e a frequência f é a seguinte: $f = 1/T$.

A variação complexa periódica representada possui também uma determinada *Amplitude*, que no exemplo da Figura 1 possui um valor entre A e $2A$, sendo A a Amplitude das duas sinusoides constituintes. A unidade da *Amplitude* depende da grandeza utilizada para representar o movimento ondulatório, podendo ser, entre outros: o Deslocamento das Partículas [m], a Velocidade das Partículas [m/s], a Aceleração das Partículas [m/s²] ou a Pressão Sonora [Pa]. A Pressão Sonora (variação da pressão atmosférica relativamente ao valor de equilíbrio, devido à perturbação sonora) é a grandeza mais usual de representação das Ondas Sonoras no ar.

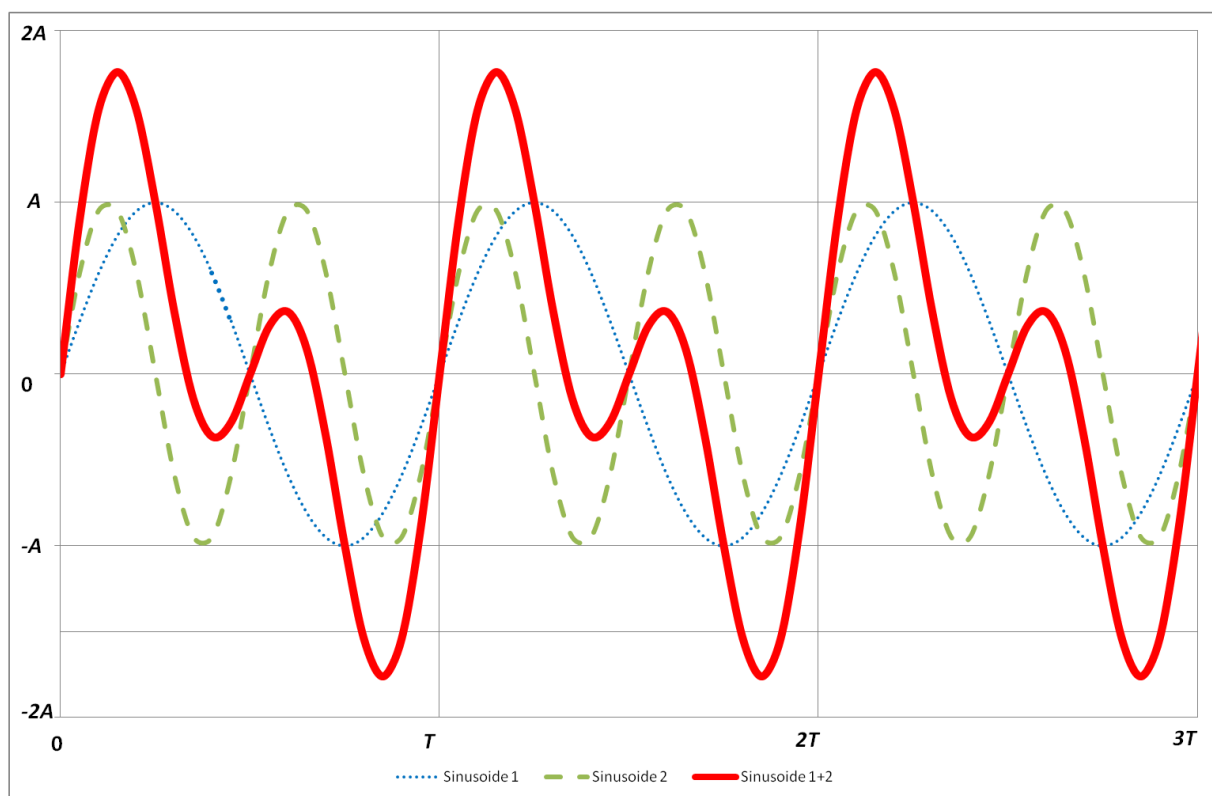


Figura 1: Representação de um movimento ondulatório complexo periódico

Na Figura 2 representa-se o *Espectro* da oscilação complexa da Figura 1, ou seja o gráfico dos valores das Amplitudes das Frequências constituintes. No exemplo simples apresentado apenas existem 2 frequências, ambas com a mesma amplitude, tratando-se portanto de um *Espectro Discreto* (não contínuo). Por mais complexas que sejam as oscilações ao longo do tempo, desde que sejam periódicas (a tipologia do movimento se repita com uma dada

periodicidade) existirá sempre uma Frequência Fundamental e o *Espetro* será sempre *Discreto* [18], com tantas mais frequências quanto mais complexa for a tipologia de variação. Se a variação complexa não for periódica, não existirá Frequência Fundamental e o *Espetro* será Contínuo [18].

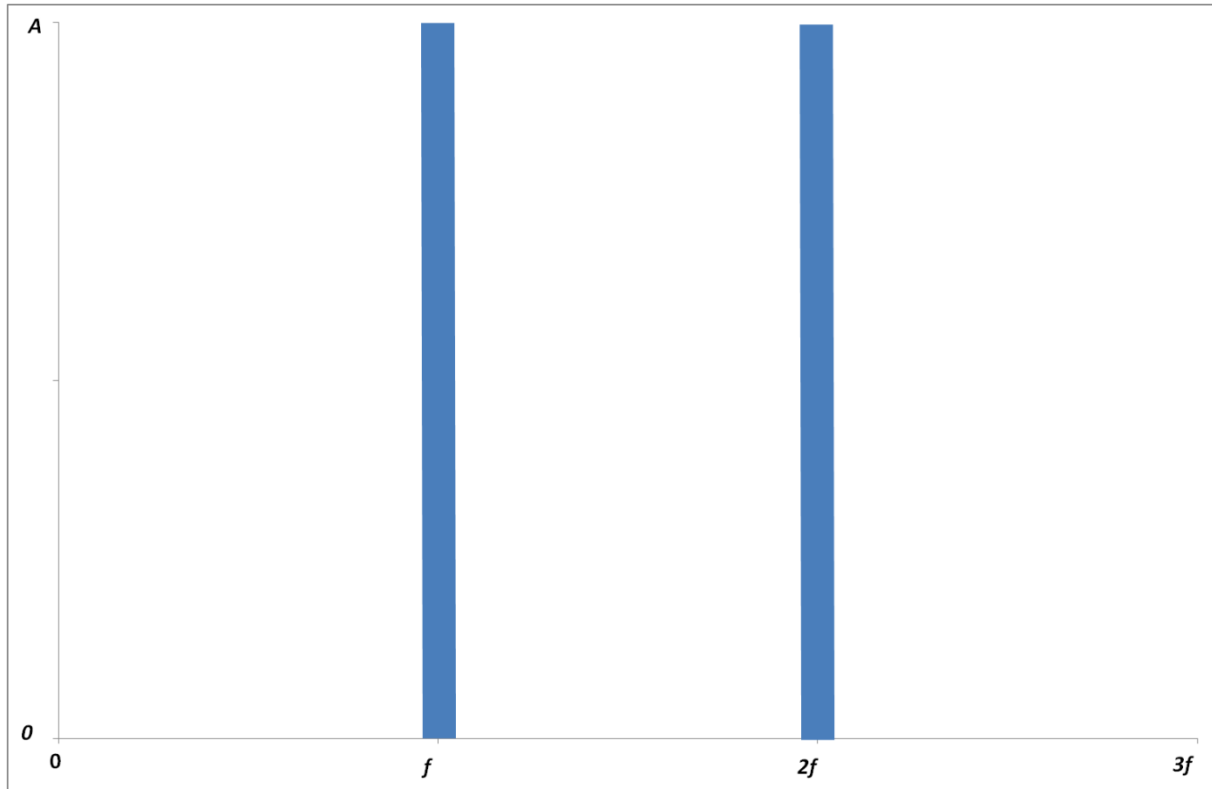


Figura 2: Espetro do movimento ondulatório complexo da Figura 1

2.2. Atributos sonoros

O ser humano, com audição normal, consegue distinguir os seguintes 4 atributos essenciais no Som, aos quais estão sobretudo² associadas as seguintes características físicas da Onda Sonora [19]:

- Intensidade Sonora (aquela sensação que, no essencial, se altera quando se altera o “volume” do rádio; som mais alto (mais intenso) e mais baixo (menos intenso)):

A sensação humana da Intensidade Sonora depende sobretudo² da *Amplitude* do movimento ondulatório sonoro. Tipicamente uma maior Amplitude corresponde a uma sensação de uma Intensidade Sonora maior.

² Refere-se “sobretudo”, pois quase todas as grandezas físicas sonoras têm influência em cada uma das 4 sensações auditivas referidas, existindo contudo uma grandeza tipicamente com mais influência [19].

A Intensidade Sonora física (I) tem por unidade watt/m^2 , e corresponde a uma grandeza vetorial, dada pelo produto da pressão sonora pela velocidade das partículas. Pode-se demonstrar [15] que, para uma Onda Sonora Progressiva (propaga-se num só sentido sem interferência de outras ondas), Plana ou Esférica, o módulo da Intensidade Sonora é proporcional ao quadrado da Pressão Sonora (p). Sendo o nosso ouvido sensível à pressão sonora e sendo esta quantidade relativamente simples de medir, normalmente, a Pressão Sonora [Pa] é a grandeza física associada à caracterização da sensação de Intensidade Sonora.

- Altura Sonora (aquela sensação que nos permite distinguir se um som é mais grave ou mais agudo; na música esta sensação é representada pelas diferentes Notas Musicais]).

A sensação humana da Altura do Som, depende sobretudo da Frequência Fundamental do movimento ondulatório sonoro. Tipicamente uma maior Frequência corresponde a uma sensação de um som mais agudo, e uma menor Frequência a uma sensação de um som mais grave. De referir, contudo, que alguns instrumentos musicais fazem recair a sensação de altura na Frequência com maior amplitude e não na Frequência Fundamental.

- Timbre (aquela sensação que nos permite distinguir dois instrumentos musicais diferentes – por exemplo um Clarinete e um Trompete – quando tocam a mesma Nota Musical com a mesma Intensidade Sonora):

A sensação humana de Timbre depende sobretudo da forma específica, não “perfeita” (não sinusoidal), do movimento ondulatório sonoro. Dito de outra forma depende sobretudo do *Espetro* do movimento ondulatório sonoro.

É também de extrema importância para a definição do timbre, o denominado transiente inicial de decaimento do som. Como alguns instrumentos apresentam o mesmo *Espetro* para a mesma nota, é através destes dois fatores que a distinção é feita.

- Duração (aquela sensação que nos permite distinguir se um determinado som possui maior ou menor duração):

A sensação de duração depende sobretudo da permanência física do Som. Em espaços fechados a permanência física do som não depende só da permanência da origem (fonte) da perturbação sonora, mas também das características volumétricas e mais ou menos absorventes sonoras do espaço. A sensação de duração do som característica do espaço fechado é denominada por *Reverberação*. Num espaço mais reverberante o Som

permanece mais tempo e num espaço menos reverberante o Som permanece menos tempo. Um espaço sem reverberação é dito *Anecóico* [17], ou seja sem *Eco*.

2.3. Psicoacústica

Como é compreensível, assume especial importância o conhecimento detalhado da relação entre as grandezas físicas associadas a determinado estímulo e as respetivas sensações humanas. Tal área do conhecimento denomina-se normalmente por *Psicofísica*, desde que Gustav Theodor Fechner (1801-1884) publicou, em 1860, o livro *Elements of Psychophysics*, inspirado em trabalhos anteriores de Ernst H. Weber (1795-1878) [19]. Na acústica este tipo de relações é estudado em concreto pela denominada *Psicoacústica* [20].

Uma das leis fundamentais da Psicofísica e que é extensível, em grande medida, à Psicoacústica, é a denominada *Lei de Fechner* [19]:

Uma variação multiplicativa do estímulo físico corresponde a uma variação aditiva da respetiva sensação humana.

2.3.1. Nível de Pressão Sonora

Em termos de Sensação da Intensidade Sonora, verifica-se que uma variação multiplicativa (por exemplo a passagem para o dobro) da grandeza física principal com influência (Intensidade Sonora; quadrado da Pressão Sonora), não corresponde a uma variação “multiplicativa” da sensação humana (a comunidade científica adotou como referência para a sensação da variação para o dobro da Intensidade Sonora, a transição de uma audição monoaural (com um ouvido tapado) para uma audição binaural [21]).

Em 1923, Harvey Fletcher (1884-1981), introduz o conceito de *Unidade de Sensação Auditiva*: um incremento de 0.1 no logaritmo, de base 10, do valor médio do quadrado da pressão sonora, corresponde a um aumento de uma unidade de sensação.

Em 1924 *The International Advisory Committee on Long Distance Telephony* propõe o termo bel, em honra a Alexander Graham Bell (1847-1922), o inventor histórico³ do telefone, para a unidade de sensação de Fletcher. Passado pouco tempo, o décimo do bel (decibel, dB), é de utilização generalizada, pois esta escala possui uma graduação com maior proximidade à variação da sensação humana da intensidade sonora.

³ Refere-se “histórico”, pois desde 2002 que é considerado que o inventor do telefone é, na verdade, Antonio Meucci (1808-1889) (ver, por exemplo, a notícia “*Bell did not invent telephone, US rules*” do “The Guardian” de 17 de Junho de 2002 [22]).

Assim, a grandeza usualmente utilizada para representação da variação da Intensidade Sonora física não é propriamente a Pressão Sonora mas sim o denominado *Nível de Pressão Sonora* (L ; unidade [dB]), dado por [23]:

$$L = 10 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right) \quad (1)$$

, onde p é a Pressão Sonora em causa (mais concretamente o *Valor Eficaz* da Onda de Pressão Sonora em causa (*Root Mean Square; RMS* [17,24]), para um determinado intervalo de tempo – para análises de incomodidade acústica humana é usual utilizar um intervalo de tempo mínimo normalizado de 125ms; ponderação *Fast* [23]), e p_{ref} o valor da Pressão Sonora de Referência (20 μ Pa).

2.3.2. Bandas de Frequência

Em termos de Sensação de Altura Sonora, admitindo que uma escala de notas musicais consecutivas corresponde a uma variação linear da Sensação de Altura, verifica-se que ocorre uma variação multiplicativa dos respetivos valores das Frequências Fundamentais associadas (grandeza física principal com influência).

Na música ocidental, na escala com igual *Temperamento* [25], existem 7 Notas Musicais, ditas *Naturais* (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si) e mais 5 *Meios Tons*, entre as notas Dó e Ré (denominado Dó *Sustenido* (Do#) ou Ré *Bemol* (Réb)), entre as notas Ré e Mi (denominado Ré *Sustenido* (Ré#) ou Mi *Bemol* (Mib)) entre as notas Fá e Sol (denominado Fá *Sustenido* (Fa#) ou Sol *Bemol* (Solb)), entre as notas Sol e Lá (denominado Sol *Sustenido* (Sol#) ou Lá *Bemol* (Láb)) e entre as notas Lá e Si (denominado Lá *Sustenido* (La#) ou Si *Bemol* (Sib)).

Uma escala *Cromática* (meio em meio tom) consecutiva pode assim ser escrita:

Dó₁, Dó#₁, Ré₁, Ré#₁, Mi₁, Fá₁, Fá#₁, Sol₁, Sol#₁, Lá₁, Lá#₁, Si₁, Dó₂, Dó#₂, Ré₂, Ré#₂, Mi₂, Fá₂, Fá#₂, Sol₂, Sol#₂, Lá₂, Lá#₂, Si₂, Dó₃, Dó#₃, Ré₃, ...

Considerando que a Frequência Fundamental de Dó₁ é f , então a relação entre a Frequência Fundamental das restantes Notas Musicais é dada, na escala de igual Temperamento, por meio da seguinte relação multiplicativa:

$$f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^1 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^2 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^3 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^4 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^5 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^6 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^7 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^8 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^9 f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^{10} f, \left(\sqrt[12]{2}\right)^{11} f, 2f, 2\left(\sqrt[12]{2}\right)^1 f, \dots$$

Ou seja, a Frequência Fundamental de Dó₂ é o dobro da Frequência Fundamental de Dó₁, e assim sucessivamente.

O intervalo musical entre 2 notas cujas Frequências Fundamentais tenham uma relação de dobro (por exemplo Ré₂ e Ré₃), é dito um intervalo de *Oitava*, ou seja, é a oitava nota, em que o nome se repete, depois de 7 Notas Naturais com nome distinto.

Verifica-se também que Ondas Sonoras com diferentes valores próximos de Frequência Fundamental, produzem a mesma Sensação de Altura, ou seja, existe uma *Banda de Frequências* que produzem igual Sensação de Altura, sendo essa Banda de Frequências caracterizada pela sua *Frequência Central*. Verifica-se ainda que a Largura destas Bandas aumenta com o aumentar da Frequência Central, ou seja, quando maior a Frequência Central maior o número de Frequências (maior a Largura da Banda) que produzem igual Sensação de Altura.

Nestas Circunstâncias a comunidade científica decidiu utilizar as denominadas *Bandas de Largura Proporcional*, para caracterizar os estímulos sonoros, sendo os *Filtros* mais utilizados os seguintes [26]:

- Filtros/Bandas de Oitava, onde as Frequência Centrais consecutivas têm uma relação de dobro.
- Filtros/Bandas de 1/3 de Oitava, onde as Frequência Centrais consecutivas têm uma relação de $(\sqrt[12]{2})^3$.

Utilizando como Frequência Central de Referência os 1000 Hz, os valores das restantes Bandas de Frequência são dados por:

$$f_{central} = 1000 \times 2^{\frac{n}{b}} \quad (2)$$

, onde n é um número inteiro, positivo e negativo, e b a fração correspondente à Banda de Oitava em causa (1/1 de Oitava $b = 1$; 1/3 de Oitava $b = 3$).

Como a denominação da banda é dada pela Frequência Central, foi convencionado arredondar os valores exatos para valores “perfeitos” e memoráveis (Valores Nominais) para denominação das Bandas. Foi também convencionado manter um fator multiplicativo de 10, para mais fácil apreensão de todos os valores destas denominadas *Frequências Nominais*. Por esta razão, como $2 \approx 10^{3/10}$, a equação (2), pode ser escrita de forma mais próxima dos valores nominais como (esta é a expressão constante na referência [23]):

$$f_{nominal} \approx 1000 \times 10^{\frac{3n}{10b}} \quad (3)$$

Apresentam-se no Quadro 1 os valores nominais das Frequências Centrais das Bandas de 1/3 de Oitava, entre 50 Hz e 10000 Hz (gama normalmente utilizada na Acústica de Edifícios) e os respetivos valores de n na equação (3) ($b = 3$).

Quadro 1: Valores nominais das Banda de 1/3 de Oitava

<i>n</i>	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6
Frequência Central nominal [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250
<i>n</i>	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
Frequência Central nominal [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10
Frequência Central nominal [Hz]	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000

Nota: A negrito com célula cinzenta estão os valores das Bandas de 1/1 de Oitava.

2.3.1. Malha A de Ponderação em frequência

Outro aspeto relevante da Psicoacústica, com influência na forma normalizada atual de análise, prende-se com o fato da Sensação de Intensidade Sonora variar significativamente quando se mantem o mesmo Nível de Pressão Sonora mas se altera a Frequência Fundamental do Som.

Desta forma foram desenvolvidas *Malhas de Ponderação em Frequência* dos Níveis de Pressão Sonora, tendo como referência a frequência de 1000 Hz, sendo a Malha mais utilizada atualmente (por exemplo no Regulamento Geral do Ruído [27] e no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [2]) a denominada *Malha A*.

Apresentam-se no Quadro 2 os valores normalizados [23] para a Malha A de ponderação em frequência, e na equação (4) a expressão constante na referência [23] para obtenção desses valores em função do valor exato da frequência central:

$$A(f) = 20 \log \left(\frac{12194^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 107,7^2)^{1/2} \cdot (f^2 + 737,9^2)^{1/2} \cdot (f^2 + 12194^2)} \right) + 2 \quad (4)$$

Quadro 2: Valores da Malha A de ponderação em frequência em bandas de 1/3 de oitava

Frequência Central nominal [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250
Valor da Malha A $A(f)$	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6
Frequência Central nominal [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Valor da Malha A $A(f)$	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0,0	+0,6	+1
Frequência Central nominal [Hz]	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Valor da Malha A $A(f)$	+1,2	+1,3	+1,2	+1,0	+0,5	-0,1	-1,1	-2,5

Nota: A negrito com célula cinzenta estão os valores das Bandas de 1/1 de Oitava.

Por exemplo, o valor de -30,2 na Banda de Frequências de 50 Hz, significa que um som com Nível de Pressão Sonora de 100 dB nessa banda produz uma Sensação de Intensidade Sonora semelhante à de um som com Nível de Pressão Sonora de $100 - 30,2 = 69,8$ dB na Banda de Frequências de 1000 Hz.

Os Níveis de Pressão Sonora corrigidos pela Malha A são ditos *Ponderados A*, e a unidade passa a ser designada, em Portugal⁴, como dB(A).

2.3.2. Nível de Avaliação

Como se compreende, a incomodidade acústica humana, associada a um determinado ruído/som não depende só do seu Nível de Pressão Sonora, depende também, por exemplo, da sua duração.

Desde 1982 [28] que está normalizado que o parâmetro adequado para representar a menor ou maior incomodidade humana associada a um determinado som, é o denominado *Nível Sonoro Contínuo Equivalente, Ponderado A*, durante um determinado tempo T ($L_{Aeq,T}$).

O $L_{Aeq,T}$ corresponde assim ao Nível de Pressão Sonora constante, ao longo do tempo total T , que dissipa a mesma energia sonora que os diferentes Níveis de Pressão Sonora de curta duração (tipicamente de 125 ms em 125 ms; Ponderação *Fast* [23]) do ruído/som em causa com duração total T .

Em termos de Intensidade Sonora física, trata-se do valor médio no tempo, ou seja:

$$I_{eq,T} = \frac{t_1 \cdot I_1 + t_2 \cdot I_2 + \dots + t_n \cdot I_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \Leftrightarrow p_{eq}^2 = \frac{t_1 \cdot p_1^2 + t_2 \cdot p_2^2 + \dots + t_n \cdot p_n^2}{T} \quad (5)$$

Com base na equação (1) pode-se escrever:

$$p_n^2 = p_{ref}^2 10^{\frac{L_n}{10}} \quad (6)$$

Fazendo:

$$L_{eq} = 20 \log \left(\frac{p_{eq}}{p_{ref}} \right) = 10 \log \left(\frac{p_{eq}^2}{p_{ref}^2} \right) \quad (7)$$

, resulta a seguinte expressão usualmente denominada por *Média Energética*:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left(\frac{p_{ref}^2 \left(t_1 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + t_n \cdot 10^{\frac{L_n}{10}} \right)}{T \cdot p_{ref}^2} \right) = 10 \log \left(\frac{t_1 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} + t_2 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + t_n \cdot 10^{\frac{L_n}{10}}}{T} \right) \quad (8)$$

⁴ A nível internacional é usual manter a unidade dB e esclarecer que se trata de ponderação A, ou outra, no parâmetro em causa, por exemplo L_{Aeq} (ver capítulo 2.3.2 e ponto 3.1.6 da norma [29]).

Uma vez que se verificou que existem outras características físicas do som, e também características do percipiente, com influência significativa na incomodidade acústica percebida, decidiu-se denominar o parâmetro que contemplasse essas características (todas ou só algumas, dependendo dos casos), por *Nível de Avaliação*, L_{Ar} (o A significa Ponderado A e o r vem da designação Inglesa *Rating*).

Na norma NP ISO 1996-1 [29], estão indicadas as características com maior influência e as formas quantificadas de contabilização dessas características. As características mais utilizadas, são as denominadas Características Tonais e as Características Impulsivas, as quais possuem metodologia diferente de quantificação da NP ISO 1996-1 [29] e no Regulamento Geral do Ruído [27].

2.4. Intensidade, Potência, Absorção e Dispersão Sonoras

Sendo I a Intensidade Sonora (unidade $[W/m^2]$), tem-se que a Potência Sonora P (unidade $[W]$) vem dada por:

$$P = I \times S \quad (9)$$

, onde S é a área da superfície por onde flui a energia sonora.

Quando ocorre reflexão da Onda Sonora numa dada superfície de separação entre 2 meios, parte da Intensidade Sonora incidente vai ser refletida para o meio 1 e parte vai ser transmitida/absorvida para o meio 2, denominando-se por *Coefficiente de Absorção Sonora* α (sem unidades) a fração entre a Intensidade Sonora Transmitida/Absorvida I_t e a Intensidade Sonora Incidente I_i :

$$\alpha = \frac{I_t}{I_i} \quad (10)$$

Como as superfícies não são perfeitamente lisas, parte da Intensidade Sonora refletida vai ocorrer de forma *Especular* (cumprindo a Lei de Snell-Descartes da Reflexão [15]) e parte vai ser dispersada (não Especular). O *Coefficiente de Dispersão Sonora* δ de uma superfície corresponde à fração entre a Intensidade Sonora que é refletida de forma dispersa (I_d) e a Intensidade Sonora global refletida (I_r):

$$\delta = \frac{I_d}{I_r} \quad (11)$$

2.5. Variação da intensidade com a propagação

Admitindo que uma dada Onda Progressiva tem origem num ponto e que a sua energia se vai distribuindo por uma esfera com raio r (área superficial dada por $4\pi r^2$ [30]), sendo a direção de propagação radial, então está-se na presença de uma Onda Esférica em que existe a seguinte relação entre a Potência Sonora P da Fonte Sonora Pontual e a Intensidade Sonora num dado ponto a uma distância r da fonte:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (12)$$

Tendo em conta que para Ondas Progressivas (Planas ou Esféricas) a Intensidade Sonora é proporcional ao quadrado da Pressão Sonora [15], pode-se escrever, conjugando a equação (12) com a equação (1):

$$L = L_p - 10 \log(4\pi r^2) \approx L_p - 11 - 20 \log(r) \quad (13)$$

, onde L é o Nível de Pressão Sonora e L_p o Nível de Potência Sonora. Verifica-se assim que, em Campo Livre, o Nível de Pressão Sonora diminui com o aumentar da distância à fonte (-6dB com o duplicar da distância).

De notar que a equação (13) é a equação base da norma NP 4361-2 [31], sendo este tipo de atenuação designado por *Divergência Geométrica*, e sendo considerados outros tipos de atenuações complementares, nomeadamente a *Absorção do Ar*. De notar que se despreza no presente trabalho a *Absorção do Ar* (A_{ar}), pois segundo a referência [3] esta atenuação é dada, para um espaço fechado, na forma de uma Área de Absorção Sonora Equivalente (ver capítulo 2.5.1) complementar, através da seguinte expressão:

$$A_{ar} = 4mV(1 - \Psi) \quad (14)$$

, onde m é o *Coefficiente de Atenuação de Potência* do ar (varia entre 0,0005 e 0,0011 (tabela 1 da referência [3]) para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz que nos interessam), V o volume interior do espaço e Ψ a fração volumétrica de objetos no interior do espaço. Assim, o valor máximo, nas bandas que nos interessam, e para um volume típico máximo de 500 m³ para Casas de Fado, é (assume-se por simplicidade $\Psi = 0$): $A_{ar} = 2,2$ m², o que se considera corresponder a um valor negligenciável, quando comparado com o valor seguro de $A = 40$ m² (Área de Absorção Sonora Equivalente), retirado da equação (22), fazendo $V = 500$ m³ e $T_{60} = 2$ s.

2.5.1. Área de Absorção Sonora Equivalente (espaço fechado)

Num espaço fechado, devido às reflexões das ondas sonoras nas diferentes superfícies que confinam o espaço, existem vários sentidos de propagação. Assumindo por simplicidade e aplicabilidade que, num espaço fechado, ocorrem com igual probabilidade ondas em todas as direções e sentidos (Campo Difuso), pode-se demonstrar [24] que a Intensidade Sonora do Estado Estacionário, devido à energia sonora radiada por uma fonte sonora omnidirecional com Potência Sonora P , é constante e vem dada por:

$$I = \frac{4P}{\sum_{i=1}^m \alpha_i S_i} \quad (15)$$

, onde α_i representa o Coeficiente de Absorção Sonora da parte S_i da superfície envolvente S do espaço fechado.

Denomina-se por *Área de Absorção Sonora Equivalente* o parâmetro A dado por:

$$A = \sum_{i=1}^m \alpha_i S_i \quad (16)$$

2.5.2. Tempo de Reverberação (espaço fechado)

Pode-se escrever, para o Estado Estacionário, num Campo Difuso, para uma fonte omnidirecional com Nível de Potência Sonora L_p :

$$L \approx L_p - 10 \log(A) + 6 \quad (17)$$

Esta expressão resulta da conjugação das equações (15), (16) e (1), de forma semelhante ao efetuado para obtenção da equação (13), e evidencia que, num Campo Difuso, o Nível de Pressão Sonora é constante e independente da distância à fonte sonora.

De notar que se despreza a *Absorção do Ar* conforme justificado no capítulo 2.5.

De notar também que a Intensidade Sonora incidente num dado sentido é 4 vezes menor do que a Intensidade Sonora Global medida num determinado ponto, em que existam incidências em todos os sentidos, desta forma a Intensidade Sonora incidente I_{inc} numa superfície de área S que limita o espaço, possui assim a seguinte relação com a Intensidade Sonora global I [32]:

$$I_{inc} = \frac{I}{4} \quad (18)$$

Ou seja, em termos de Nível de Pressão Sonora:

$$L_{inc} \approx L - 6 \quad (19)$$

Se a fonte sonora for desligada, depois de ser atingido o estado estacionário, vai ocorrer um decaimento da Densidade de Energia ρ [J/m³] do espaço ao longo do tempo t de acordo com a seguinte equação [33]:

$$\rho(t) = \rho_0 e^{\frac{-cA}{4V}t} \quad (20)$$

, onde ρ_0 corresponde à Densidade de Energia Inicial, c à velocidade do som no ar, A à Área de Absorção Sonora Equivalente (ver equação (16)) e V ao volume do Espaço.

Neste caso o tempo necessário para que a energia decaia 10^6 (60 dB em escala decibélica), tempo esse que se denomina por *Tempo de Reverberação* (T_{60}), vem dado por:

$$\frac{\rho_0 e^{\frac{-cA}{4V}t_1}}{\rho_0 e^{\frac{-cA}{4V}t_2}} = 10^6 \Leftrightarrow \rho_0 e^{\frac{cA}{4V}(t_2-t_1)} = 10^6 \Leftrightarrow \frac{cA}{4V}(t_2 - t_1) = \ln(10^6) \quad (21)$$

Fazendo $t_2 - t_1 = T_{60}$, e admitindo um valor típico de $c = 340$ m/s, resulta a histórica expressão de Sabine para obtenção do Tempo de Reverberação:

$$T_{60} = \frac{4 \ln(10^6)}{c} \times \frac{V}{A} \Leftrightarrow T_{60} \approx 0.16 \frac{V}{A} \quad (22)$$

De notar que esta expressão é apenas válida em Campo Difuso [3].

Em termos práticos como pode ser difícil conseguir um decaimento de 60 dB, é usual determinar o Tempo de Reverberação com base num decaimento de 30 dB (multiplicando o respetivo tempo por 2, para cálculo do T_{60}) ou num decaimento de 20 dB (multiplicando o tempo por 3, para cálculo do T_{60}). Estes valores, já multiplicados pelas respetivas constantes para cálculo do T_{60} , passam a ser designados respetivamente por T_{30} e T_{20} , assumindo assim a linearidade do decaimento em termos de Níveis de Pressão Sonora.

Na Figura 3 representam-se os decaimentos dos Níveis de Pressão Sonora em Campo Difuso, para a situação de emissão de um impulso (resposta impulsiva) e para a situação do desligar de um fonte sonora depois de atingir o estado estacionário (ruído interrompido), e os diferentes valores que podem ser usados para determinação do Tempo de Reverberação.

No presente trabalho é utilizado o parâmetro T_{20} e o método da Resposta Impulsiva [12].

Pode demonstrar-se [34] que se a Resposta Impulsiva for integrada do fim para o início o decaimento resultante é igual ao decaimento do Ruído Interrompido, pelo que para o cálculo do Tempo de Reverberação, através da Resposta Impulsiva, é necessário, primeiramente, a efetivação dessa integração [12,35].

Salienta-se que, na realidade, o decaimento não é “perfeito”, sendo necessário traçar a melhor reta que se ajuste aos pontos do decaimento, através do *Método dos Mínimos*

Quadrados [35]. Salienta-se também que está definido nas normas [12,35], que a determinação da regressão linear deve ocorrer apenas para valores 5 dB abaixo do valor máximo (valor inicial) e 10 dB acima do Ruído de Fundo.

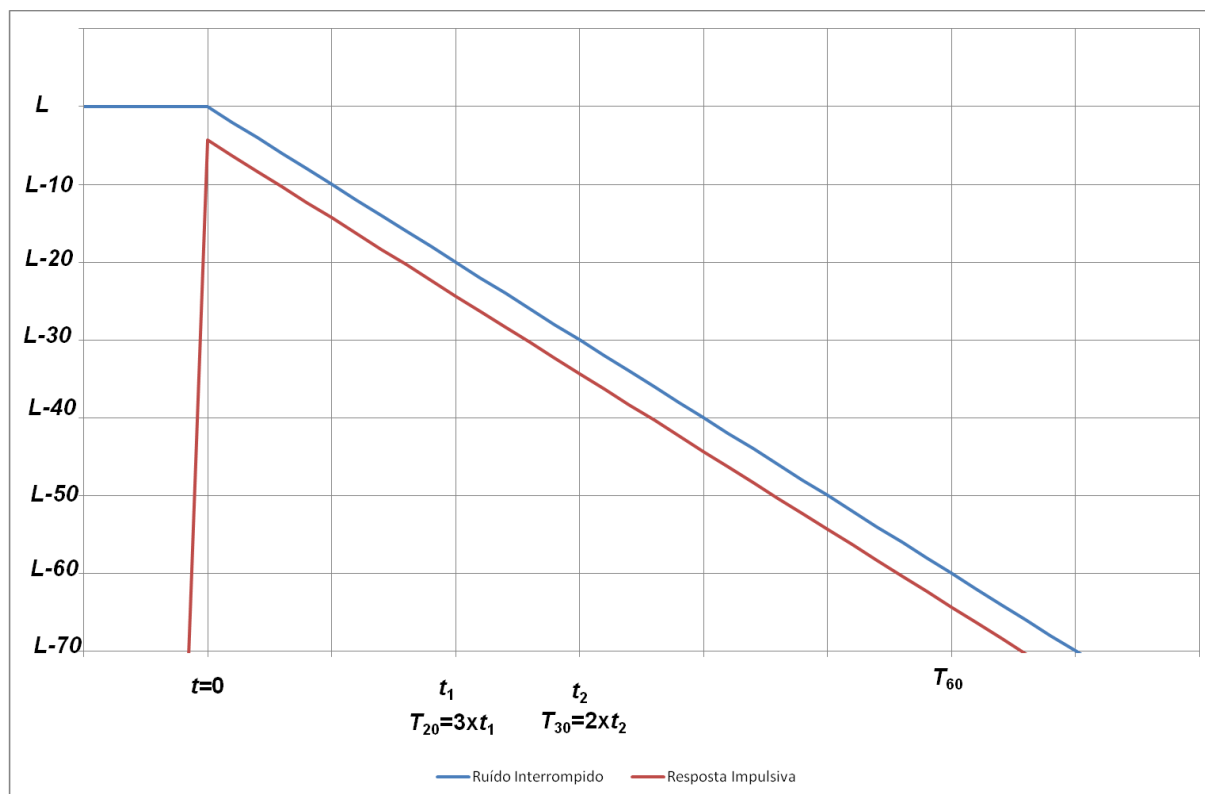


Figura 3: Decaimentos sonoros teóricos em campo difuso e Tempo de Reverberação

De acordo com o Anexo C da NP EN ISO 3382-2 [35], tem-se que o declive m da melhor reta que se ajusta aos pontos do decaimento é dado por (de notar que se corrigiu o parâmetro m constante na equação C.3 da NP EN ISO 3382-2 [35] por n):

$$m = \frac{(\sum_{i=1}^n t_i L_i) - n \bar{t} \bar{L}}{(\sum_{i=1}^n t_i^2) - n \bar{t}^2} \quad (23)$$

, onde:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \text{ [s]} \quad (24)$$

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \text{ [dB]} \quad (25)$$

O Tempo de Reverberação vem assim dado por:

$$T_{60} = -\frac{60}{m} \text{ [s]} \quad (26)$$

2.5.3. Valores Padronizados, Índices e Termos de adaptação

Conjugando a equação (17) com a equação (22) resulta, para Campo Difuso:

$$L \approx L_p - 10 \log\left(\frac{0,16V}{T_{60}}\right) + 6 \approx L_p + 14 + 10 \log(T_{60}) - 10 \log(V) \quad (27)$$

Ou seja, quanto maior for o Tempo de Reverberação, para o mesmo Volume V e para o mesmo Nível de Potência Sonora L_p da fonte, maior é o Nível de Pressão Sonora a percebido, ou seja, o Nível de Pressão Sonora a percebido depende do Tempo de Reverberação, que é como quem diz, depende da absorção sonora existente no espaço. Assim, poderá ser conveniente, em certos casos da acústica de edifícios, estabelecer limites para um Tempo de Reverberação de referência. Caso o Tempo de Reverberação medido num determinado espaço seja diferente do valor de referência, será necessário corrigir em conformidade o parâmetro de análise, denominando-se tal correção por *Padronização* e sendo nT o símbolo associado.

De acordo com o DL 9/2008 [2] são os seguintes os parâmetros que é necessário Padronizar:

- Índice de Isolamento Sonoro de Fachada Padronizado: $D_{2m,nT,w}$.
- Índice de Isolamento Padronizado a Sons Aéreos entre compartimentos: $D_{nT,w}$.
- Índice de Isolamento Padronizado a Sons de percussão entre compartimentos: $L'_{nT,w}$.
- Nível de Avaliação Padronizado de ruído de equipamentos: $L_{Ar,nT}$.

Nos parâmetros que possuem o símbolo w , o mesmo significa que a obtenção de um só valor representativo (*Índice*), é efetuada através da metodologia expressa nas normas [36,37]. Na norma [36] constam dois termos de adaptação espectral, denominados por C e C_{tr} , que servem para ajustar o valor do *Índice* em função do espectro em causa.

Salienta-se que para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento, conforme estabelecido no Artigo 2.º do DL 96/2008 [2].

De notar que estes conceitos são aqui apresentados de forma pouco aprofundada, porque são pouco relevantes para a essência do trabalho, contudo, uma vez que os mesmos surgem ao longo da dissertação, afigurou-se adequado efetuar este pequeno enquadramento, incluindo as referências julgadas relevantes e que permitirão, aos interessados e em caso de necessidade, aprofundar estes conceitos.

2.6. Parâmetros “Complementares” (acústica de salas)

Conforme referido na introdução existe atualmente consenso relativamente à necessidade de utilização de outros parâmetros, para além do Tempo de Reverberação, para uma caracterização mais completa da qualidade acústica dos espaços fechados destinados a um determinado fim.

Apesar da norma EN ISO 3382-1 [12] utilizar o termo “novo” para estes parâmetros, optou-se por utilizar a designação “Complementares” no presente trabalho, pois a maioria desses parâmetros possui referências bibliográficas significativamente antigas [38-41].

Os parâmetros constantes no Anexo A da EN ISO 3382-1 [12] são indicados no Quadro 3 (de notar que uma vez que não existe ainda tradução para Português desta norma, optou-se por manter a designação Inglesa e efetuar a tradução julgada mais adequada), onde se dá uma indicação da característica subjetiva associada a cada um desses parâmetros [12].

Quadro 3: Parâmetros “Complementares” e características subjetivas associadas

Parâmetro (inglês)	Simbologia	Tradução para português	Caraterística subjetiva
<i>Sound Strength</i>	<i>G</i>	Amplificação Acústica ⁵	Sensação de reforço sonoro dado pela sala
<i>Early Decay Time</i>	<i>EDT</i>	Tempo de Decaimento Inicial	Reverberação apercebida ao longo da performance musical
<i>Clarity</i>	<i>C₈₀</i>	Clareza ⁶	Clareza do discurso musical
<i>Definition</i>	<i>D₅₀</i>	Definição	Definição do discurso falado
<i>Centre Time</i>	<i>T_s</i>	Tempo Central	-
<i>Early Lateral Energy Fraction</i>	<i>J_{LF}</i> ou <i>J_{LFC}</i>	Fração de Energia Lateral Inicial	Largura aparente da fonte
<i>Late Lateral Sound Level</i>	<i>L_J</i>	Nível Sonoro Lateral Final	Sensação de envolvimento do ouvinte

Dos 7 parâmetros referidos, indicados na EN ISO 3382-1 [12], apenas os 5 primeiros (mais o Tempo de Reverberação) serão caracterizados no presente trabalho, por razões de indisponibilidade da instrumentação necessária (microfone *figura-de-oito* [12]) para a caracterização dos restantes 2 parâmetros.

De referir que existem outros parâmetros associados a outras características subjetivas [42], contudo optou-se por caracterizar apenas os 5 parâmetros “Complementares” referidos e que

⁵ O termo *Sound Strength* reveste-se de alguma dificuldade de tradução. No entanto, pretendendo-se que o termo expresse a capacidade que a sala tem de reforçar ou amplificar o som produzido pelas fontes sonoras em relação a um espaço aberto, achou-se possível a utilização da expressão “amplificação acústica” para clarificar que o reforço sonoro é acústico e não electroacústico. Outra possibilidade seria “Ganho Acústico” que se identifica melhor com o símbolo *G*.

⁶ O termo *Clarity* tem sido frequentemente traduzido em diversos textos técnicos ligados à Acústica (por exemplo [43,44]) pela palavra “claridade”. No entanto, uma tradução adequada deve expressar a noção de nitidez ou distinção de notas musicais tocadas em curtos intervalos de tempo consecutivos. A palavra “clareza” é frequentemente usada no meio musical português, e também em algumas referências técnicas (por exemplo [5,25]), para designar precisamente estes aspetos, pelo que se considerou adequado utilizar o termo “Clareza” no presente trabalho.

se explicitam de forma mais completa nos subcapítulos seguintes, por serem aqueles que se encontram normalizados.

De referir também que o Ruído de Fundo (ruído proveniente do exterior, devido a ruído de tráfego ou a outras fontes, e/ou proveniente do interior, devido ao ruído de equipamentos de ar condicionado ou a outras fontes que não aquela que se pretende ouvir) é um parâmetro que pode ter significativa influência na qualidade acústica do espaço pelo que será também abordado no presente trabalho (ver subcapítulo 2.6.6).

Salienta-se que as expressões constantes na EN ISO 3382-1 [12] possuem a forma integral associada aos valores da pressão sonora instantânea, contudo o seu cálculo foi efetuado de forma discreta (não contínua) através do uso do Nível de Pressão Sonora de 5 ms em 5 ms, pelo que nos subcapítulos seguintes são apresentados os Somatórios associados envolvendo os Níveis de Pressão Sonora L_i (5 em 5 ms)⁷. Alguns dos integrais em causa envolvem o cálculo até ao infinito, o que em termos práticos significa um cálculo até ao decaimento possuir um valor 35 dB abaixo do valor máximo inicial [45], pelo que nas expressões dos Somatórios o infinito é substituído por t_{35} .

De referir também que a integração dos valores, para obtenção da Resposta Impulsiva Integrada, assume a forma de *Soma Energética* L_{SE} (comparar com a equação (8)) dos Níveis de Pressão Sonora L_i :

$$L_{SE} = 10 \log \left(\sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (28)$$

De acordo com o estabelecido na ISO 3382-1 [12], a obtenção de um único índice para todos os parâmetros “Complementares” considerados, corresponde à média aritmética dos valores das Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz, pelo que apenas são utilizados os valores destas Bandas de Oitava no presente trabalho.

2.6.1. Sound Strength (G) (Amplificação Acústica)

A *Amplificação Acústica* G , num dado Ponto de Medição M da sala, pode ser escrita da seguinte forma [12]:

$$G = L_M - L_{M10,CL} \quad (29)$$

, onde L_M é o Nível de Pressão Sonora no ponto M em avaliação, quando é colocada em funcionamento constante (Potência Sonora constante) uma Fonte Omnidirecional, e $L_{M10,CL}$ o

⁷ De acordo com o ponto 4.2.2.4 da norma [12] uma constante de tempo de 5ms permite determinar Tempos de Reverberação a partir de $12 \times 0,005 = 0,06$ s.

Nível de Pressão Sonora a 10 metros da fonte, se ela estivesse a emitir, com a mesma Potência Sonora, em Campo Livre.

Sabendo qual o Nível Potência Sonora L_P da fonte [46,47], pode-se escrever, tendo em conta a equação (13):

$$L_{M10.CL} \approx L_P - 11 - 20 \log(10) \approx L_P - 31 \quad (30)$$

, ou seja:

$$G = L_M - L_P + 31 \quad (31)$$

Uma vez que as Casas de Fado analisadas encontram-se em zonas de difícil estacionamento e difícil acesso com veículos rodoviários, considerou-se imprescindível tentar desenvolver uma metodologia alternativa de caracterização da *Amplificação Acústica* que não implicasse o uso de fonte sonora dodecaédrica típica, cuja fonte em si e amplificador associado não são fáceis de transportar “manualmente” de forma mais prolongada.

Nestas circunstâncias descreve-se no capítulo 2.7 a metodologia desenvolvida e utilizada no presente trabalho para a caracterização da *Amplificação Acústica G*.

De notar que, em Campo Difuso, fazendo uso da equação (27), pode-se escrever:

$$G \approx 10 \log(T_{60}) - 10 \log(V) + 45 \quad (32)$$

Assim, apresenta-se na Figura 4 a variação teórica de G , em Campo Difuso, em função do volume V do espaço fechado e considerando dois valores típicos de T_{60} (0,5 s e 1 s).

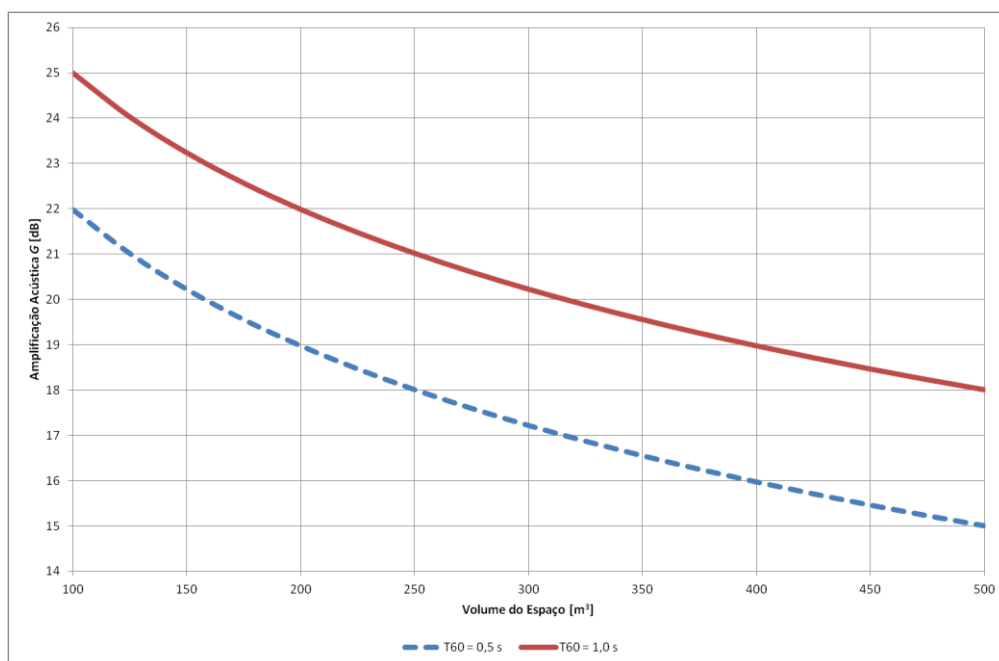


Figura 4: Variação teórica da Amplificação Acústica com o Volume para Campo Difuso

2.6.2. Early Decay Time (EDT) (Tempo de Decaimento Inicial)

O *Tempo de Decaimento Inicial* (EDT) deve ser avaliado através do declive do decaimento sonoro da resposta impulsiva integrada da sala, entre 0 dB e -10 dB (não entre -5 dB e -25 dB como ocorre, por exemplo, para o T_{20} ; ver capítulo 2.5.2), e é calculado, em termos de declive, da mesma forma que o cálculo de T_{20} ou T_{30} (ver equações (23) e (26)).

Como se compreende, a forma do decaimento inicial vai depender das características de absorção sonora das superfícies mais próximas do ponto de avaliação, e a forma do decaimento final vai depender das características de absorção sonora das superfícies mais distantes. Desta forma, se as características de absorção sonora das superfícies mais próximas e mais afastadas do ponto de avaliação não forem muito distintas, são expectáveis valores de EDT próximos dos valores de T_{20} , e vice-versa.

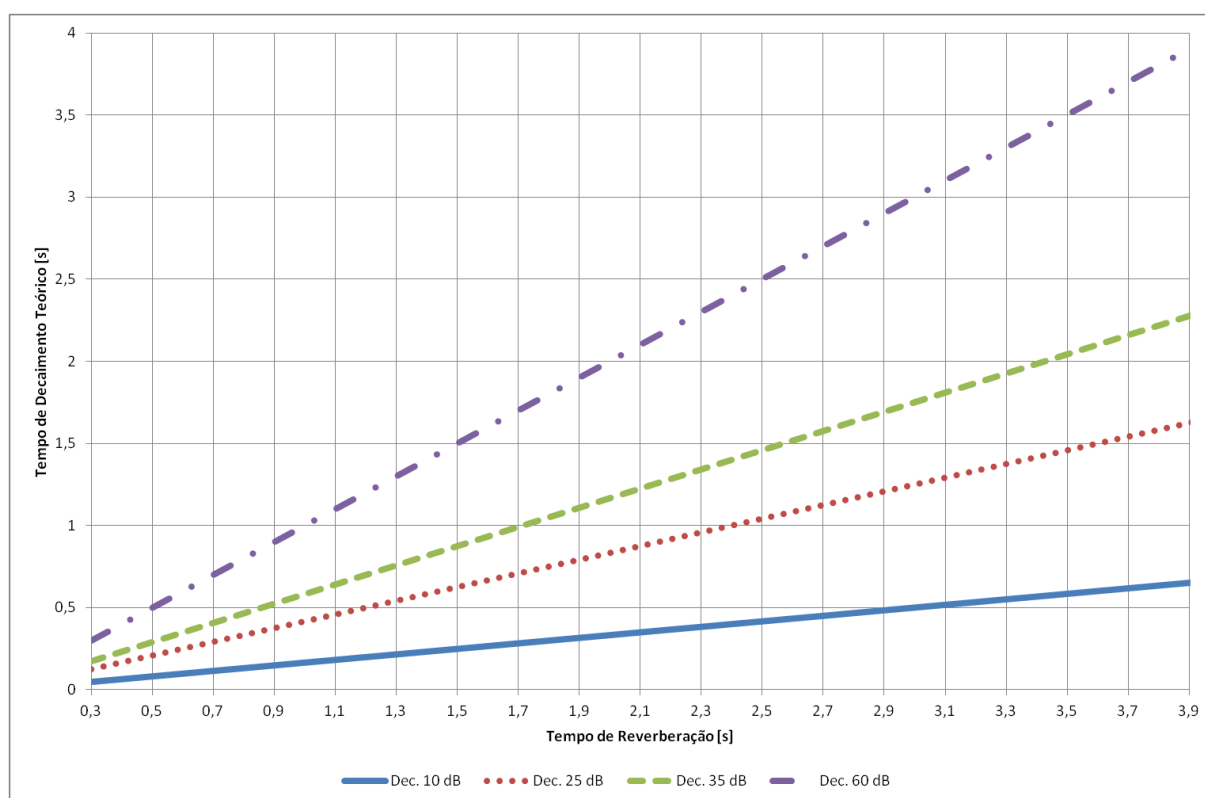


Figura 5: Tempo de decaimento teórico de -10 dB, -25 dB, -35 dB e -60 dB, em função do Tempo de Reverberação

Apresentam-se na Figura 5, os tempos de decaimento teóricos da resposta impulsiva integrada, de -10 dB (EDT), -25 dB (T_{20}), -35 dB (T_{30}) e -60 dB (T_{60}). Como a dinâmica típica do discurso musical, e falado, possui usualmente variações que ocorrem em menos do que

1 segundo, compreende-te que os valores de EDT (que são representativos desse período de tempo, conforme se verifica na Figura 5) sejam mais adequados para representar o “Tempo de Reverberação” aparente associado a essa dinâmica típica.

2.6.3. Clarity (C_{80}) (Clareza)

O parâmetro *Clareza* C_{80} (unidade [dB]), enquadra-se na tipologia de parâmetros de balanço energético inicial-final, sendo expresso da seguinte forma [12]:

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0,080} p^2(t) dt}{\int_{0,080}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (33)$$

, onde o valor 80, corresponde a um tempo de 80 ms (0,080 s), e $p(t)$ ao valor instantâneo da pressão sonora da resposta impulsiva (de notar que é a resposta impulsiva, e não a resposta impulsiva integrada como acontece em T_{20} e EDT), da sala num determinado ponto.

Em termos de valores discretos e em termos de Níveis de Pressão Sonora, pode-se escrever a seguinte expressão, tendo em conta a equação (1), e o valor prático de infinito t_{35} (ver capítulo 2.6):

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=0}^{0,080} 10^{\frac{L_i}{10}}}{\sum_{i=0,080}^{t_{35}} 10^{\frac{L_i}{10}}} \right) \quad (34)$$

Tendo em conta a equação (6), e considerando um decaimento linear dos Níveis de Pressão Sonora L_i , com declive m e $L_i = a$ para $t = 0$, e tendo em conta a equação (26), pode-se escrever:

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0,080} 10^{\frac{a+mt}{10}} dt}{\int_{0,080}^{\infty} 10^{\frac{a+mt}{10}} dt} \right) = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0,080} e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt}{\int_{0,080}^{\infty} e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt} \right) \quad (35)$$

, ou seja:

$$C_{80} \approx 10 \log \left(\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0,080} - e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0}}{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot \infty} - e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0,080}} \right) \approx 10 \log \left(\frac{1 - e^{-\frac{1,1}{T_{60}}}}{e^{-\frac{1,1}{T_{60}}}} \right) \quad (36)$$

Assim, apresenta-se na Figura 6 a variação teórica de C_{80} em função do Tempo de Reverberação.

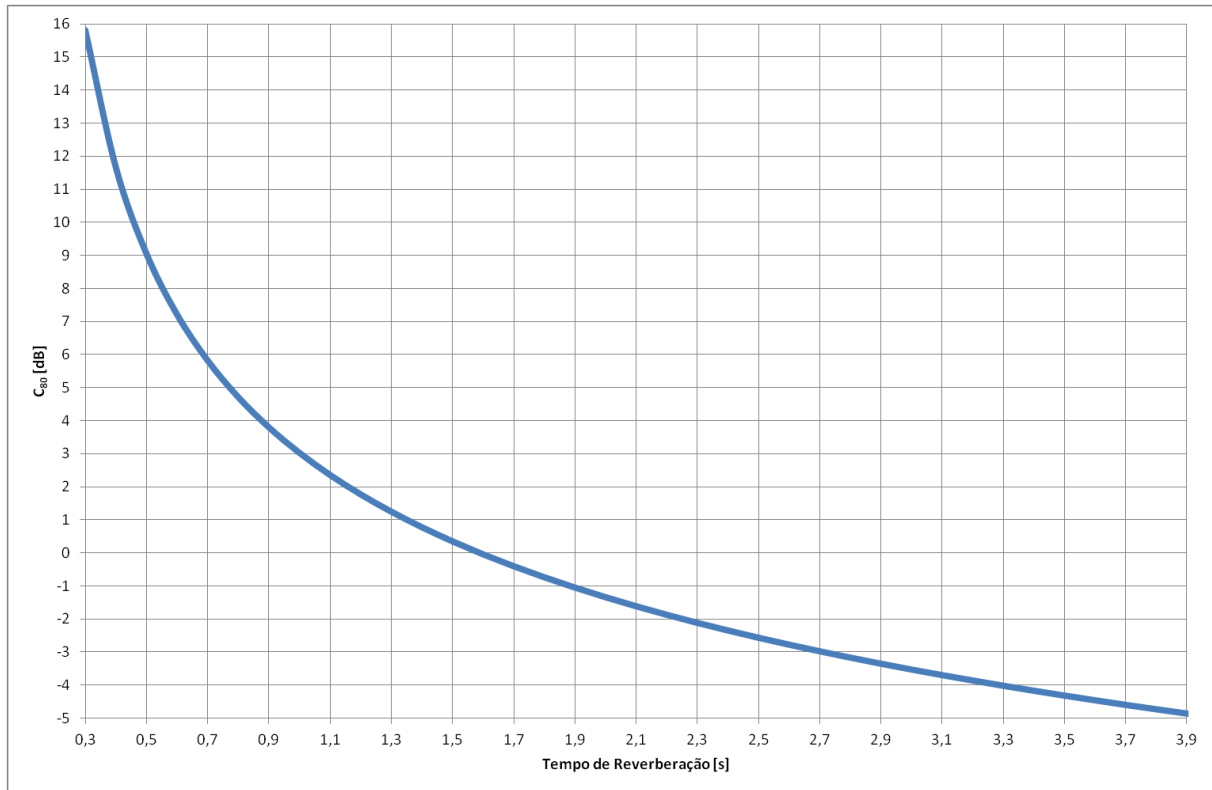


Figura 6: Variação teórica de C_{80} com o Tempo de Reverberação

2.6.4. Definition (D_{50}) (Definição)

O parâmetro *Definição* D_{50} (sem unidade), enquadra-se também na tipologia de parâmetros de balanço energético inicial-final, sendo expresso da seguinte forma [12]:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (37)$$

, onde o valor 50, corresponde a um tempo de 50 ms (0,050 s), e $p(t)$ ao valor instantâneo da pressão sonora da resposta impulsiva (de notar que é a resposta impulsiva, como em C_{80} , e não a resposta impulsiva integrada como acontece em T_{20} e EDT) da sala num determinado ponto.

Em termos de valores discretos e em termos de Níveis de Pressão Sonora, pode-se escrever a seguinte expressão, tendo em conta a equação (1), e o valor prático de infinito t_{35} (ver capítulo 2.6):

$$D_{50} = \frac{\sum_{i=0}^{0,050} 10^{\frac{L_i}{10}}}{\sum_{i=0}^{t_{35}} 10^{\frac{L_i}{10}}} \quad (38)$$

Tendo em conta a equação (6), e considerando um decaimento linear dos Níveis de Pressão Sonora L_i , com declive m e $L_i = a$ para $t = 0$, e tendo em conta a equação (26), pode-se escrever:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} 10^{\frac{a+mt}{10}} dt}{\int_0^{\infty} 10^{\frac{a+mt}{10}} dt} = \frac{\int_0^{0,050} e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt}{\int_0^{\infty} e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt} \quad (39)$$

, ou seja:

$$D_{50} \approx \frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0,050} - e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0}}{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot \infty} - e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \cdot 0}} \approx 1 - e^{-\frac{0,7}{T_{60}}} \quad (40)$$

Assim, apresenta-se na Figura 7 a variação teórica de D_{50} em função do Tempo de Reverberação.

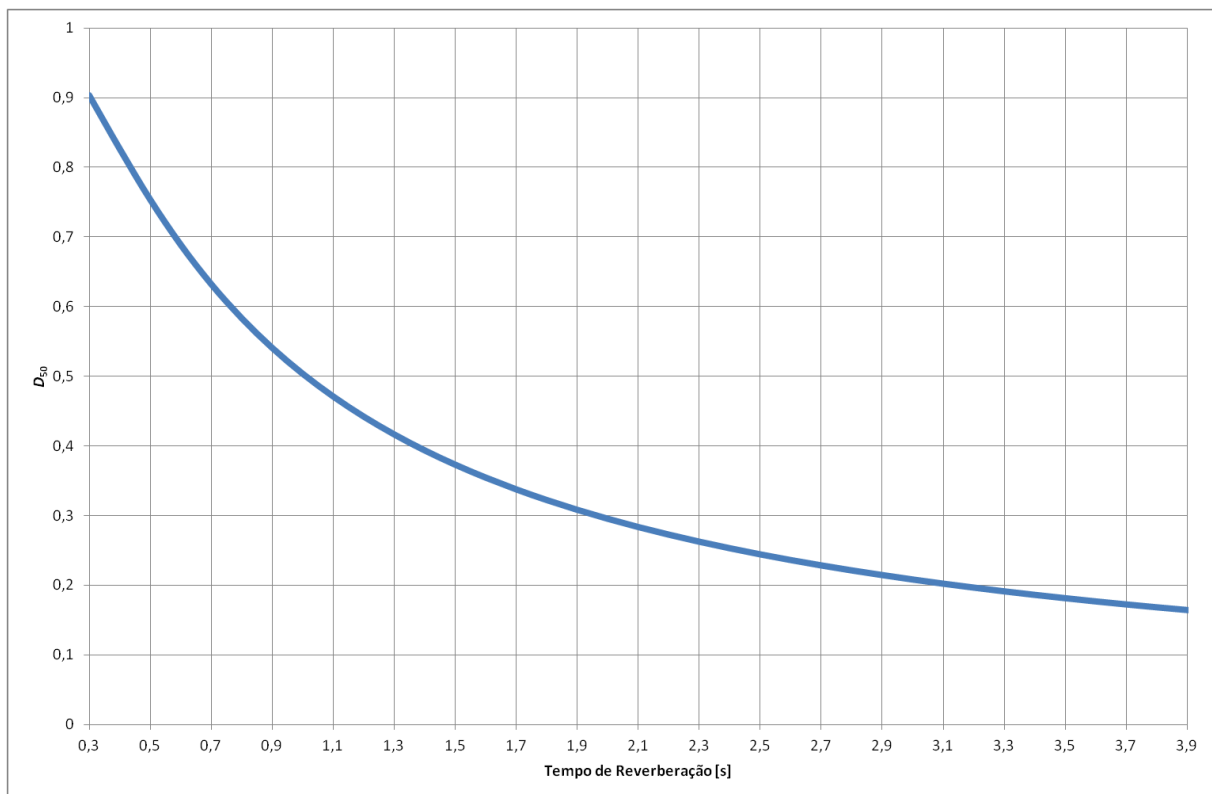


Figura 7: Variação teórica de D_{50} com o Tempo de Reverberação

2.6.5. Centre Time (T_s) (Tempo Central)

O parâmetro *Tempo Central* T_s (unidade [ms]), enquadra-se também na tipologia de parâmetros de balanço energético inicial-final, e corresponde ao tempo do centro de gravidade da resposta impulsiva, sendo expresso da seguinte forma [12]:

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} t \times p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (41)$$

, onde o $p(t)$ é o valor instantâneo da pressão sonora da resposta impulsiva (de notar que é a resposta impulsiva, como em C_{80} e D_{50} , e não a resposta impulsiva integrada como acontece em T_{20} e EDT) da sala num determinado ponto.

Em termos de valores discretos e em termos de Níveis de Pressão Sonora, pode-se escrever a seguinte expressão, tendo em conta a equação (1), e o valor prático de infinito t_{35} (ver capítulo 2.6):

$$T_S = \frac{\sum_{i=0}^{t_{35}} t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}}}{\sum_{i=0}^{t_{35}} 10^{\frac{L_i}{10}}} \quad (42)$$

Tendo em conta a equação (6), e considerando um decaimento linear dos Níveis de Pressão Sonora L_i , com declive m e $L_i = a$ para $t = 0$, e tendo em conta a equação (26), pode-se escrever:

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot 10^{\frac{a+mt}{10}} dt}{\int_0^{\infty} 10^{\frac{a+mt}{10}} dt} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt}{\int_0^{\infty} e^{-\frac{6 \cdot \ln(10)}{T_{60}} t} dt} \quad (43)$$

, ou seja:

$$T_S \approx \frac{\int_0^{\infty} t \cdot e^{-\frac{13,8}{T_{60}} t} dt}{\int_0^{\infty} e^{-\frac{13,8}{T_{60}} t} dt} \quad (44)$$

Recorrendo a uma tabela de integrais [30], pode-se escrever:

$$T_S \approx \frac{\left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} t}}{\left(\frac{13,8}{T_{60}}\right)^2} \left(-\frac{13,8}{T_{60}} t - 1\right) \right]_0^{\infty}}{\left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} t}}{\frac{13,8}{T_{60}}} \right]_0^{\infty}} = \frac{\left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \infty}}{\left(\frac{13,8}{T_{60}}\right)^2} \left(-\frac{13,8}{T_{60}} \infty - 1\right) \right] - \left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} 0}}{\left(\frac{13,8}{T_{60}}\right)^2} \left(-\frac{13,8}{T_{60}} 0 - 1\right) \right]}{\left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} \infty}}{\frac{13,8}{T_{60}}} \right] - \left[\frac{e^{-\frac{13,8}{T_{60}} 0}}{\frac{13,8}{T_{60}}} \right]} \quad (45)$$

, ou seja:

$$T_S \approx \frac{-\left[\frac{1}{\left(\frac{13,8}{T_{60}}\right)^2} \cdot (-1) \right]}{-\left[\frac{1}{\frac{13,8}{T_{60}}} \right]} = \frac{T_{60}}{13,8} \quad (46)$$

Assim, apresenta-se na Figura 8 a variação teórica de T_S em função do Tempo de Reverberação.

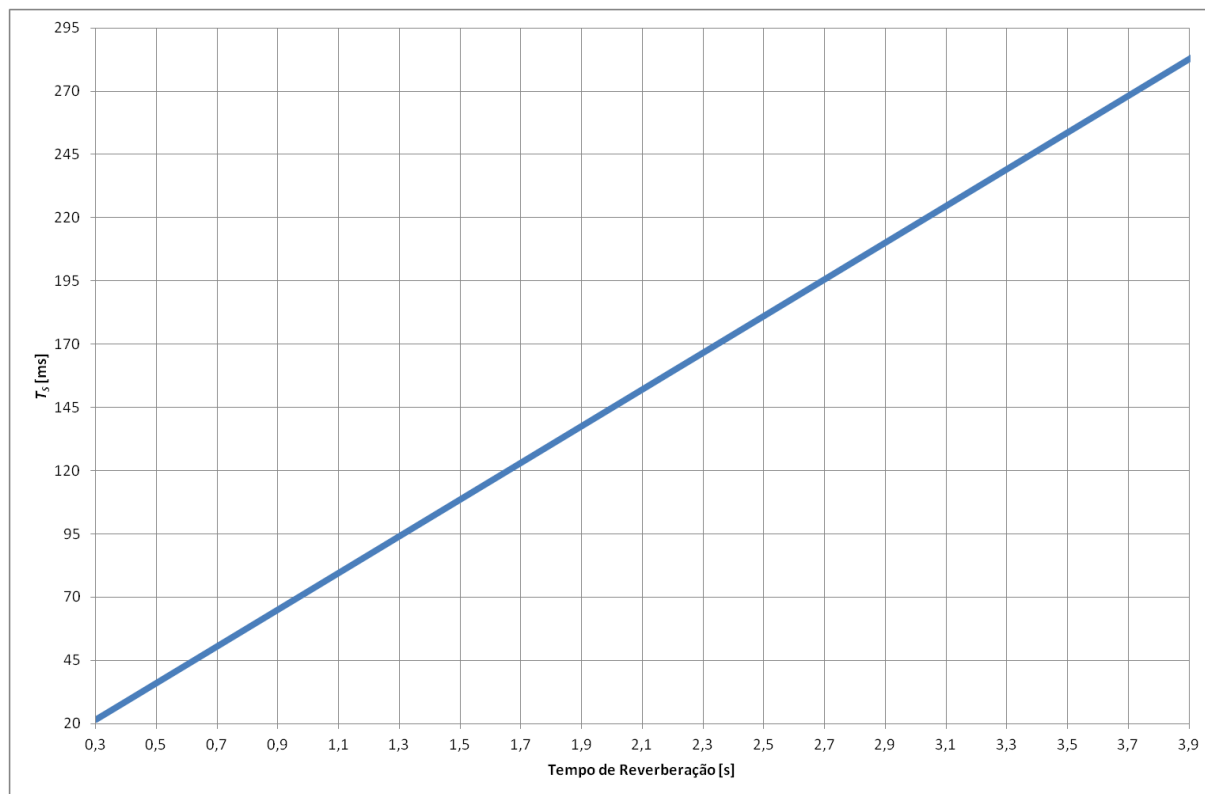


Figura 8: Variação teórica T_s com o Tempo de Reverberação

2.6.6. Ruído de Fundo

Conforme referido no capítulo 2.6, entendem-se por Ruído de Fundo todos os sons que não são desejáveis de ouvir no interior de uma Casa de Fado, por parte dos espetadores, quando se está a ouvir o Fado.

Assim podem enquadrar-se na categoria de Ruído de Fundo os seguintes ruídos:

1. Ruído proveniente do exterior (por exemplo, tráfego rodoviário, ferroviário, passagem de pessoas, vocalização de animais, etc.). Este tipo de ruído pode ser minimizado através de um adequado isolamento sonoro de fachada.
2. Ruído proveniente de máquinas existentes no interior da Casa de Fado (por exemplo, ares condicionados, arcas frigoríficas, etc.). Este tipo de ruído pode ser minimizado através da seleção de equipamentos menos ruidosos e/ou através da sua adequada localização e/ou condicionamento acústico.
3. Conversação e/ou movimentação humana no interior da Casa de Fado, com origem nos funcionários e/ou no público. Este tipo de ruído pode ser minimizado através de uma adequada disciplina de movimentação e de conversação, dos funcionários e do público, quando ocorre o Fado.

2.7. Metodologia alternativa desenvolvida para obtenção de G (Amplificação Acústica)

Sendo mais fácil de transportar balões, para através deles (depois de cheios), emitir um impulso sonoro intenso (rebetamento), do que transportar uma fonte sonora dodecaédrica típica, com o respetivo amplificador, procurou-se desenvolver uma metodologia alternativa de caracterização da *Amplificação Acústica* G através da utilização de um impulso sonoro.

Quando ocorre um impulso sonoro, os “primeiros” Níveis de Pressão Sonora apercebidos em determinado ponto da sala, em linha de vista (sem obstáculos) com a origem do impulso, correspondem à denominada propagação direta (sem ocorrência de reflexões), pelo que correspondem assim aos Níveis de Pressão Sonora que ocorreriam em campo livre, podendo assim ser utilizados para determinar o $L_{M10,CL}$ da equação (29) ou o L_P da equação (31), através das seguintes expressões⁸, tendo por base a equação (13):

$$L_{M10,CL} = L_{Max,d} + 20 \log\left(\frac{d}{10}\right) \quad (47)$$

$$L_P = L_{Max,d} + 11 + 20 \log(d) \quad (48)$$

onde $L_{Max,d}$ é o Nível de Pressão Sonora Máximo (Nível de Pressão Sonora da propagação direta) da resposta impulsiva em um ponto a uma distância d à origem do impulso. A distância d terá assim de ser conhecida.

Relativamente ao Nível de Pressão Sonora do regime estacionário, no ponto em avaliação L_M , ele pode ser obtido através da resposta impulsiva [48], no ponto em causa, efetuando a Soma Energética (ver equação (28)) dos valores dos Níveis de Pressão Sonora L_i (5 ms em 5 ms, no presente trabalho) da resposta impulsiva, deste o início do impulso até o impulso decrescer 35 dB (t_{35} ; valor prático de infinito [45]), ou seja:

$$L_M = 10 \log\left(\sum_{i=0}^{t_{35}} 10^{\frac{L_i}{10}}\right) \quad (49)$$

Desta forma pode-se escrever, como pretendido:

$$G = 10 \log\left(\sum_{i=0}^{t_{35}} 10^{\frac{L_i}{10}}\right) - L_{Max,d} - 20 \log\left(\frac{d}{10}\right) \quad (50)$$

, onde L_i corresponde aos Níveis de Pressão Sonora da resposta impulsiva no ponto em avaliação, e $L_{Max,d}$ ao Nível de Pressão Sonora Máximo (Nível de Pressão Sonora da propagação direta) da resposta impulsiva em um ponto a uma distância d (que terá de ser conhecida) à origem do impulso.

⁸ De notar que considera desprezável a *Absorção do Ar*, conforme justificado no capítulo 2.5.

Para que seja possível a medição de G em diferentes pontos da sala, e não só naqueles em linha de vista com a origem do impulso, considerou-se adequado utilizar dois sonómetros: um de referência a uma distância d da origem do impulso e em linha de vista com a origem do impulso, para determinação de $L_{Max,d}$, e outro localizado nos diferentes pontos de interesse da sala onde se determinam os diferentes valores de L_i .

Não se conhecem estudos que tenham utilizado esta metodologia para caracterização *in situ* da *Amplificação Acústica*, mas a referência [49] descreve, no seu capítulo 9.3.3, a possibilidade de obtenção de G desta forma, pelo que se considera adequada a sua utilização no presente trabalho, tanto mais que os valores obtidos (ver capítulo 5.2) se encontram dentro do que seria expectável, tendo em conta a bibliografia disponível e os valores teóricos apresentados no capítulo 2.6.1.

3 Valores aconselháveis ou obrigatórios

Ainda que a perceção musical, no geral e em particular no caso do Fado, seja muito subjetiva, existem características mais ou menos consensuais e objetivas que levam a que se considere um determinado espaço como tendo boas ou más condições acústicas para a prática de Fado. De forma complementar, daqui se depreende que será impossível encontrar um único valor ideal, mas apenas possível, e desejável, encontrar uma gama de valores recomendáveis, que a serem verificados tornem mais provável a perceção subjetiva de uma boa qualidade acústica.

Julga-se ser de reforçar, conforme expresso no artigo “*Art + Physics = Beautiful Music*”, de 18 de Abril de 2000, do “*The New York Times*” [50], que a resposta à seguinte pergunta típica:

“Se uma sala de espetáculos cumprir todos os requisitos físico-acústicos já desenvolvidos até à presente data terá garantidamente boas condições acústicas?”

, não é um “sim redondo”, como desejariam muitos dos utilizadores das salas de espetáculo, mas sim um “sim probabilístico”, ou seja, não é garantido mas há maior probabilidade de sucesso da qualidade acústica, em grande medida pela razão evocada por William J. Cavanaugh no artigo do “*The New York Times*” [50] referido (tradução e contextualização livre):

“A física associada à colocação de um homem na lua é muito mais simples do que a física associada à qualidade acústica de salas de espetáculo”.

De referir também que tais limitações não devem significar que não vale a pena quantificar a acústica de salas de espetáculo – em particular, no caso do presente trabalho, de Casas de Fado – mas sim que essa quantificação deve ser feita sem perder de vista as limitações referidas, e que são necessários ainda mais e melhores trabalhos nesta área, como inclusive tem vindo a ser feito, a avaliar pelo significativo número de trabalhos científicos que têm sido desenvolvidos nesta temática (ver capítulo 8), faltando colmatar a lacuna (colmatação que se espera iniciar com o presente trabalho) da acústica das Casas de Fado.

Sem perder de vista o referido, analisam-se nos subcapítulos seguintes os valores recomendados pela bibliografia disponível para os parâmetros objetivos que serão considerados no presente trabalho (Tempo de Reverberação, parâmetros “Complementares” e Ruído de Fundo), e os respetivos limites legais aplicáveis, e procura-se deduzir/antecipar, em conformidade, os valores recomendáveis, ou obrigatórios, para Casas de Fados.

Face à análise efetuada, apresentam-se também alguns equívocos que se julgam poder ocorrer e algumas recomendações associadas.

3.1. Tempo de Reverberação (T_{60})

Sendo o Tempo de Reverberação o parâmetro objetivo pioneiro de caracterização da qualidade acústica de salas, possui naturalmente uma bibliografia mais extensa relativamente a valores recomendados para diferentes tipos de uso.

Da bibliografia consultada afigura-se adequado explicitar as seguintes exigências legais e/ou recomendações associadas ao Tempo de Reverberação, as quais são resumidas e apresentadas em conjunto na Figura 9 (normalmente as casas de Fado não possuem um Volume muito elevado, pelo que se considerou suficiente e adequado cingir o gráfico da Figura 9 a Volumes até 500 m³):

1. DL 96/2008 [2]:

1.1. Alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º:

No interior de Refeitórios ou Recintos Públicos de Restauração, e no interior de Escritórios ($V \geq 100 \text{ m}^3$), considerados mobilados normalmente e sem ocupação, o Tempo de Reverberação, correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, deverá satisfazer a seguinte condição (onde V é o volume interior do espaço; ver série 1.1 na Figura 9):

$$T_{60} \leq 0,15V^{\frac{1}{3}} \quad (51)$$

1.2. Alínea a) do n.º 1 do Artigo 10.ºA:

Os recintos cuja principal valência corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente de auditórios, salas de conferência e salas polivalentes, e nas salas de cinema, estão sujeitos ao seguinte requisito de Tempo de Reverberação (ver série 1.2 na Figura 9):

$$T_{60} \leq 0,12V^{\frac{1}{3}}, \text{ se } V < 250 \text{ m}^3 \quad (52)$$

$$T_{60} \leq 0,32 + 0,17 \log(V), \text{ se } 250 \leq V < 9000 \text{ m}^3 \quad (53)$$

2. Página 129 do livro [5].

2.1. Sala de espetáculos musicais (ver série 2.1 na Figura 9).

2.2. Auditório (ver série 2.2 na Figura 9).

3. Equação 4b do artigo [6] (ver série 3 na Figura 9):

$$\log(T_{60}) = 0,21 \log(V) - 0,55 \Leftrightarrow T_{60} \approx 0,28 \times V^{0,21} \quad (54)$$

4. Página 175 do livro [7]:

4.1. Sala de concertos (ver série 4.1 na Figura 9).

4.2. Cinema (ver série 4.2 na Figura 9).

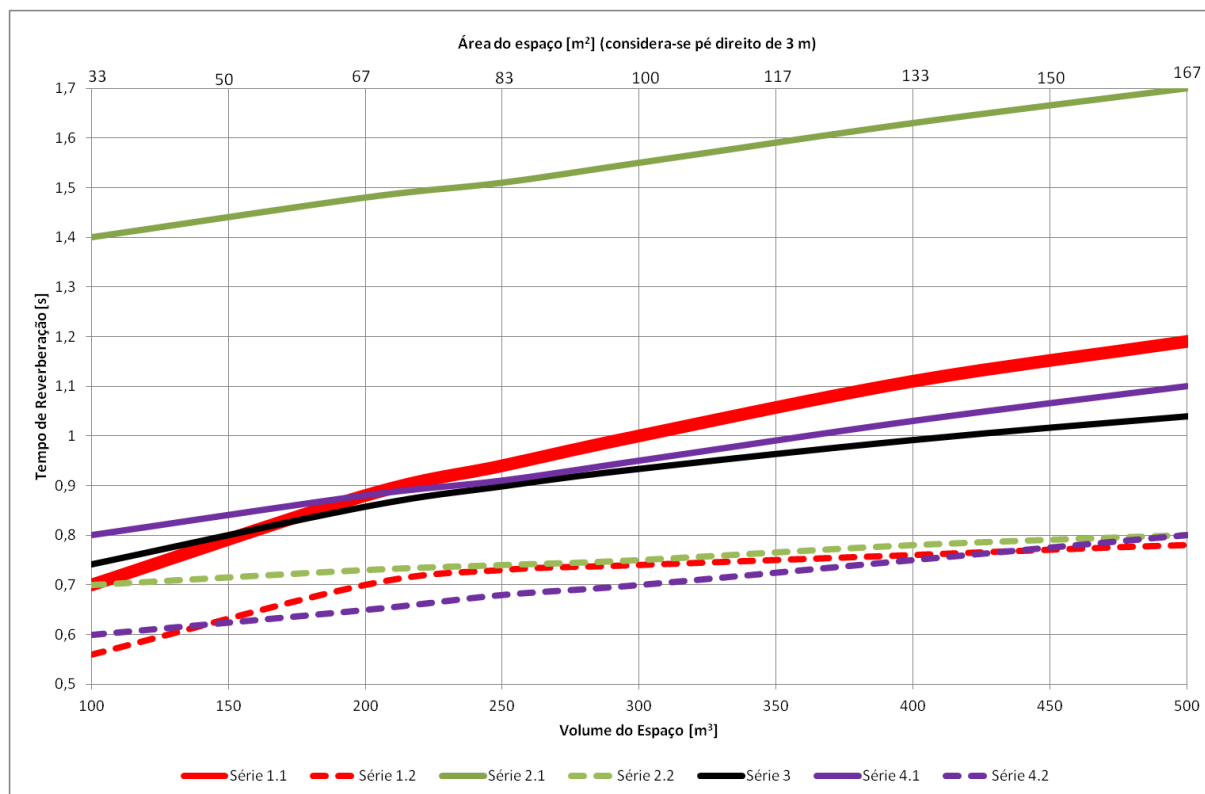


Figura 9: Valores recomendados na Bibliografia para o Tempo de Reverberação

Analisando a Figura 9 verifica-se que, no geral, são recomendados/exigidos valores maiores de Tempo de Reverberação para música e para espaços com maior volume, e valores menores de Tempo de Reverberação para palavra e para espaços com menor volume.

Sendo o Fado um estilo em que pode ser relevante perceber nitidamente a palavra cantada, ou falada, pelo Fadista, será recomendável, nesta perspetiva, um Tempo de Reverberação não muito elevado (mais próximo das curvas mínimas da Figura 9). Sendo também o Fado um estilo em que pode ser relevante persentir vivacidade na música tocada pelos instrumentos (normalmente Guitarra e Viola de Fado), será recomendável, nesta perspetiva, um Tempo de Reverberação mais elevado (mais próximo da curva máxima da Figura 9), para que a Sala (para que a música) não aparente estar morta/seca [42]. Por outro lado, o carácter virtuoso e “rendilhado” dos solos e contrapontos de guitarra portuguesa implicam uma elevada clareza, o que se pode contrapor a um Tempo de Reverberação mais elevado.

Face ao enunciado, é expetável, à partida, que os valores de Tempo de Reverberação recomendáveis para Casas de Fado, se encontrem algures entre as curvas mínimas e a curva máxima da Figura 9 (ver capítulo 5.2).

Considera-se ser de salientar que algumas Casas de Fado (talvez a maioria) correspondem a espaços de Restauração, pelo que, em sentido estrito, deverão cumprir o estabelecido na alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2]. Este limite da legislação prende-se em grande medida com o ruído excessivo que pode ocorrer num espaço de restauração com muitos utentes, todos a falar ao mesmo tempo, sem disciplina de emissão sonora. Como muitas Casas de Fado possuem um ambiente mais intimista, é menor a probabilidade de uma emissão sonora excessiva, pelo que, do ponto de vista da qualidade acústica do Fado, poderão ser aceitáveis/recomendáveis Tempos de Reverberação superiores aos estabelecidos na legislação (ver capítulo 3.3).

3.2. Parâmetros “Complementares”

Os parâmetros “Complementares” possuem, comparativamente ao Tempo de Reverberação, uma bibliografia disponível menos extensa, no que concerne a valores recomendados para diferentes tipos de uso, e não possuem limites legais.

Apresentam-se no Quadro 4 os valores típicos indicados na tabela A.1 da EN ISO 3382-1 [12], e outras recomendações encontradas na bibliografia indicada.

Quadro 4: Valores recomendados na Bibliografia para os parâmetros “Complementares”

Bibliografia	Valores típicos/recomendados				
	Amplificação Acústica G [dB]	Tempo de Decaimento Inicial EDT [s]	Clareza C_{80} [dB]	Definição D_{50} (sem unidade)	Tempo Central T_s [ms]
EN ISO 3382-1 [12]	-2 a +10	1,0 a 3,0	-5 a +5	0,3 a 0,7	60 a 260
Outra	15,5 a 18,0 [6]* 7 a 13 [51]▲	1,21 a 2,54 [52]♣ 1,36 a 2,51 [53]◆	2,1 a 3,1 [6]* > 4 [54]	> 0,38 [55]●	≤ 130 [55]

* Os limites expostos foram extraídos da Tabela 1 da referência [6], para volumes entre 400 e 800 m³, sendo os maiores valores aplicáveis a volumes mais pequenos.

▲ Os limites expostos foram extraídos da Figura 4 da referência [51], para volumes menores do que 500 m³, sendo os maiores valores de G aplicáveis a volumes mais pequenos.

♣ Os limites expostos foram extraídos da Tabela 1 da referência [52], onde o volume mais baixo é 1070 m³.

◆ Os limites expostos foram extraídos da Tabela 1 da referência [53], onde o volume mais baixo é 8221 m³.

● O critério exposto para D_{50} é deduzido a partir do critério bibliográfico [55] para C_{50} , tendo em conta a expressão A.12 da EN ISO 3382-1 [12].

Analise-se, nos subcapítulos seguintes, os valores explicitados no Quadro 4 para cada um dos parâmetros “Complementares”, e procurem-se antecipar valores típicos/recomendáveis para Casas de Fado.

3.2.1. Amplificação Acústica (G)

De acordo com a definição do parâmetro G (ver capítulo 2.6.1), se o mesmo possuir um valor de 0 dB, significará que o ouvinte escutará a fonte sonora como se estivesse em campo livre a 10 metros dessa fonte. Tendo em conta que, de acordo com a equação (13), um aumento de 6 dB significa passar para cerca de metade da distância, e uma diminuição de 6 dB, significa passar para cerca do dobro da distância, então um valor de 6 dB para G , significará que o ouvinte escutará a fonte sonora como se estivesse em campo livre a 5 metros dessa fonte, e um valor de -6 dB para G , significará que o ouvinte escutará a fonte sonora como se estivesse em campo livre a cerca de 20 metros dessa fonte. De igual modo valores de 12 dB, 18 dB e 24 dB, para G , significam, respetivamente, que o ouvinte escutará a fonte sonora como se estivesse em campo livre a cerca de 2,5, 1,25 e 0,625 metros dessa fonte.

Quando a fonte sonora possui elevada potência (por exemplo uma grande orquestra), não é grave ocorrerem valores reduzidos (ou mesmo negativos) para G , podendo inclusive ser desagradáveis e desaconselháveis valores elevados de G (por exemplo a referência [55] refere ser recomendável, para grandes orquestras, valores de G menores do que 5 dB).

No caso do Fado, como a fonte sonora típica (Fadista, Guitarrista e Viola) não possui elevada potência, e o volume das Casas de Fado não ultrapassa normalmente os 500 m³, são, à partida, desejáveis, e exetáveis, maiores valores de G nas Casas de Fado, eventualmente superiores a 10 dB (ver capítulos 2.6.1 e 5.2).

3.2.2. Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Como a informação bibliográfica disponível aplica-se sobretudo a espaços com grandes volumes (grandes salas de concerto), e uma vez que o Tempo de Reverberação, e subsequentemente o EDT , decrescem com o volume do espaço (ver capítulo 2.5.2), é provável que, na prática se possam encontrar valores de EDT menores do que os recomendados no Quadro 4 (ver capítulo 5.2). Contudo, como existe uma relação direta entre o Nível de Pressão Sonora e o Tempo de Reverberação, e podem ser convenientes maiores valores de G (como se explicou no subcapítulo anterior), poderão também ser, à partida, convenientes/desejáveis valores de Tempo de Reverberação mais elevados, desde

que se cumpra um bom compromisso de Clareza e Definição da palavra e da música (ver capítulo 2.6 e subcapítulos seguintes).

3.2.3. Clareza (C_{80})

O parâmetro *Clareza* relaciona a energia sonora associada aos primeiros 80 ms do decaimento com a energia sonora seguinte. Assim, como a dinâmica do discurso musical possui variações típicas na ordem dos 80 ms, pretende-se que a energia sonora ocorrente depois dos 80 ms seja o mais baixa possível, para que não ocorra interferência dessa energia “parasita” com a dinâmica do discurso musical, pelo que a clareza será tanto melhor quanto maior for o valor de C_{80} . Como as Casas de Fado possuem, tipicamente, volumes não muito elevados, é provável, à partida, a possibilidade de valores elevados de C_{80} (eventualmente superiores a 5 dB; ver Quadro 4 e capítulos 2.6.3 e 5.2), sem que ocorram Tempos de Reverberação demasiado baixos (sem que seja necessária muita absorção sonora no espaço), que poderiam comprometer a *Amplificação Acústica* do espaço.

3.2.4. Definição (D_{50})

O parâmetro *Definição* relaciona a energia sonora associada aos primeiros 50 ms do decaimento com a energia sonora total do decaimento. Assim, como a dinâmica do discurso falado possui variações típicas na ordem dos 50 ms, pretende-se que a energia sonora ocorrente nesses 50 ms seja o mais elevada possível, ou seja, para que a energia “parasita” da parte do decaimento a seguir aos 50 ms seja o mais baixa possível e não interfira com a dinâmica do discurso falado, pelo que a definição será tanto melhor quanto maior for o valor de D_{50} . Conforme referido anteriormente, para C_{80} , como as Casas de Fado possuem, tipicamente, volumes não muito elevados, é provável, à partida, a possibilidade de valores elevados de D_{50} (eventualmente superiores a 0,7; ver Quadro 4 e capítulos 2.6.4 e 5.2) sem que ocorram Tempos de Reverberação demasiado baixos (sem que seja necessária muita absorção sonora no espaço), que poderiam comprometer a *Amplificação Acústica* do espaço.

3.2.5. Tempo Central (T_S)

O parâmetro Tempo Central está associado à perceptibilidade da dinâmica da palavra e da música (clareza; definição), sendo essa perceptibilidade tanto melhor quanto menor for o valor de T_S . Conforme referido anteriormente, para C_{80} e para D_{50} , como as Casas de Fado

possuem, tipicamente, volumes não muito elevados, é provável, à partida, a possibilidade de valores reduzidos de T_S (eventualmente menores do que 60 ms; ver Quadro 4 e capítulos 2.6.5 e 5.2), sem que ocorram Tempos de Reverberação demasiado baixos (sem que seja necessária muita absorção sonora no espaço), que poderiam comprometer a *Amplificação Acústica* do espaço.

3.2.6. Ruído de Fundo

O Ruído de Fundo possui não só referências bibliográficas relativamente a valores recomendáveis, sobretudo Curvas *NC* (*Noise Criteria*) e Curvas *NR* (*Noite Rating*) [19,56,57], mas também legislação com limites obrigatórios [2].

Apresentam-se no Quadro 5 os valores das Curvas *NC* e *NR* recomendados para várias situações, e os valores máximos típicos associados do Nível Sonoro Contínuo Equivalente Ponderado A [58] (ver capítulos 2.3.1 e 2.3.2).

Quadro 5: Valores máximos recomendados tipicamente para o Ruído de Fundo

Tipo de Espaço		NC	NR	L_{Aeq} dB(A)
Muito calmo	Salas de Concerto e de Ópera, Estúdios de Gravação, Teatros, etc.	10-20	20	25-30
Muito calmo	Quartos privados, Estúdios de Televisão e Rádio, Salas de Conferência e de Leitura, Catedrais e Grandes Igrejas, Livrarias, etc.	20-25	25	25-30
Muito calmo	Salas de estar privadas, Salas de Reuniões, Salas de Conferência e de Leitura, Quartos de Hotéis, etc.	30-40	30	30-35
Calmo	Salas Públicas em Hotéis, Pequenos Escritórios, Salas de Aula, Salas de Audiência, etc.	30-40	35	40-45
Moderadamente ruidoso	Escritórios de Desenho, Sanitários, Banheiros, Áreas de Recepção, Corredores, Lojas, etc.	35-45	40	45-55
Ruidoso	Cozinhas de Hospitais e Hotéis, Lavandarias, Salas de Computadores, Cantinas, Supermercados, etc.	40-50	45	45-55

Em termos de limites legais, no n.º 3 do artigo 10ºA do DL 96/2008 [2], está estabelecido o seguinte (ver capítulos 2.3.2 e 2.5.3):

“As fachadas dos recintos referidos nos n.ºs 1 e 2 devem assegurar que os valores do índice de isolamento a sons aéreos, $D_{2m, nT, w}$, corrigido do termo de adaptação aplicável, C ou C_{tr} , sejam os necessários para que o nível sonoro contínuo equivalente do ruído ambiente no interior do recinto, determinado a partir da média espacial de pontos representativos, na ausência de funcionamento das instalações técnicas do edifício, L_{Aeq} , satisfaça o seguinte”:

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB (A)} \quad (55)$$

No n.º 5 do artigo 10ºA do DL 96/2008 [2], está estabelecido o seguinte:

“No interior dos recintos, o nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular, L_{Aeq} , associado ao funcionamento dos equipamentos e instalações técnicas, designadamente de instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado, deve, com a sala desocupada, satisfazer o seguinte”:

$$L_{Aeq} \leq 38 \text{ dB (A), no caso de cinemas} \quad (56)$$

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB (A), nos restantes recintos} \quad (57)$$

Os recintos referidos são os seguintes [2]:

1. Recintos cuja principal valência corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente auditórios, salas de conferência e salas polivalentes, e salas de cinema;
2. Auditórios e salas cuja principal valência não corresponda a atividades assentes na oratória, nomeadamente auditórios para música ou salas de espetáculo.

Face ao explicitado, e assumindo que uma Casa de Fados corresponde a uma Sala de Espetáculos, então necessita verificar, por imposição legal:

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB (A)} \quad (58)$$

, quer para o Ruído de Fundo proveniente do exterior, quer para o Ruído de Fundo proveniente do interior.

3.3. Possíveis equívocos e algumas recomendações

Face ao explicitado anteriormente, consideram-se como principais equívocos legais possíveis, relativamente às Casas de Fado, os associados ao fato de a maioria das Casas de Fado corresponderem a Recintos de Restauração. Assim, poderá entender-se, erroneamente, que as Casas de Fado devem cumprir apenas os seguintes requisitos, aplicáveis a Recintos de Restauração, ou que não devem cumprir os seguintes requisitos, não aplicáveis a Recintos de Restauração:

1. Isolamento Sonoro de Fachada:

Os limites de Isolamento Sonoro de Fachada ($D_{2m,nT,w}$) constantes na alínea a) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2], aplicáveis a Recintos de Restauração, são os seguintes:

$$D_{2m,nT,w} \geq 25 \text{ dB} \quad (59)$$

Este valor de isolamento pode ser insuficiente para garantir o Ruído de Fundo necessário a uma Sala de Espetáculos, pelo que deverá ser tido em conta, para as Casas de Fado entendidas com Salas de Espetáculo, o estabelecido no n.º 3 do artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2]. De referir que em termos “grosseiros”, um Isolamento Sonoro de Fachada de 25 dB apenas garantirá um Ruído de Fundo menor ou igual a 30 dB(A) (n.º 3 do artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2]), no interior da Casa de Fado, se os níveis sonoros no exterior forem menores ou iguais a $30 + 25 = 55$ dB(A), o que corresponde a um valor relativamente reduzido para a tipologia de zonas onde as Casas de Fado normalmente se inserem.

2. Tempo de Reverberação:

Os limites de Tempo de Reverberação (T_{60}) constantes na alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2], aplicáveis a Recintos de Restauração, são os seguintes:

$$T_{60} \leq 0,15V^{1/3} \text{ [s]} \quad (60)$$

uma vez que, por razões da dinâmica musical, poderão ser aconselháveis Tempos de Reverberação mais elevados para Casas de Fado, o cumprimento ou incumprimento deste requisito deverá ser bem ponderado à luz do estabelecido no n.º 2 do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2], para Salas de Espetáculo:

“Nos auditórios e salas cuja principal valência não corresponda a actividades assentes na oratória, nomeadamente de auditórios para música ou salas de espectáculo, o projecto de condicionamento acústico destes espaços deve incluir um estudo específico destinado a assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização funcional”.

De salientar também que o “tempo de dimensionamento” referido na alínea b) do Artigo 2.º do DL 96/2008 [2]:

“para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projecto, o valor de referência a considerar será o do respectivo tempo de dimensionamento”, deverá ser entendido como o Tempo de Reverberação adequado para a casa de espetáculos em apreço, não devendo haver lugar a qualquer *Padronização* dos parâmetros de análise, caso o Tempo de Reverberação seja adequado.

3. Ruído de Fundo:

Os Recintos de Restauração não possuem, tipicamente, requisitos de Ruído de Fundo, ao abrigo do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2], a menos que sejam considerados como locais “onde se exerçam actividades que requeiram concentração e sossego”, o que, de acordo com alínea d) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2] obriga ao cumprimento do seguinte requisito de Nível de Avaliação, Ponderado A, Padronizado (ver capítulos 2.3.1, 2.3.2 e 2.5.3; de notar que neste caso será necessário estender

ao Nível de Avaliação Padronizado, a consideração legal associada ao Tempo de Reverberação de referência, transcrita anteriormente (alínea b) do Artigo 2.º do DL 96/2008 [2]), devido ao Ruído Particular do funcionamento de equipamentos do edifício:

- Se o funcionamento do equipamento for intermitente:

$$L_{Ar,nT} \leq 42 \text{ [dB(A)]} \quad (61)$$

- Se o funcionamento do equipamento for contínuo:

$$L_{Ar,nT} \leq 37 \text{ [dB(A)]} \quad (62)$$

Salienta-se que estes limites aplicam-se apenas ao ruído de equipamentos do edifício, e não ao ruído de outras fontes, e podem ser insuficientes para garantir uma adequada qualidade acústicas nas Casas de Fado, entendidas como Salas de Espetáculo, para as quais é necessário o cumprimento do requisito mais exigente estabelecido no n.º 3 e n.º 5 do Artigo 10ºA do DL 96/2008 [2], quer para o Ruído de Fundo proveniente do exterior quer para o Ruído de Fundo proveniente do interior:

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ [dB(A)]} \quad (63)$$

Salienta-se também que, se por hipótese, o Tempo de Reverberação não for o adequado, não será possível concluir, através de medições nessas condições, se os valores do Ruído de Fundo vão ou não cumprir os preceitos legais numa situação futura de alteração do Tempo de Reverberação para o valor adequado, podendo contudo, no sentido de “antever” o cumprimento ou incumprimento, efetuar a “*Padronização*” do valor obtido para o Ruído de Fundo considerando como valor de Tempo de Reverberação de referência aquele que se considera adequado.

Considera-se ser de salientar também que os requisitos legais de Ruído de Fundo em termos de valor médio energético, como ocorre na legislação Portuguesa, podem permitir a ocorrência de valores máximos de Ruído de Fundo demasiado elevados e que podem por em causa a qualidade acústica desejada. Nesta perspetiva pode ser adequado entender o limite legal de valor médio energético para o Ruído de Fundo, como um limite de valor máximo, conforme é recomendado, por exemplo, na Regulamentação da Grã-Bretanha para o Ruído de Fundo em Escolas [59], e como é apanágio da metodologia associada às Curvas *NC* e *NR* [19,56,57]. A título de exemplo, considerando uma duração típica de 1h para um espetáculo de Fado, e um Ruído de Fundo estável de 30 dB(A), pode demonstrar-se que podem ocorrer até 38 “picos” de 40 dB(A), de 1 s de duração cada, durante o período de 1 hora referido – portanto “picos” de 1,5 minutos em 1,5 minutos durante 1 hora – que o Ruído de

Fundo global não vai ultrapassar 30,4 ≈ 30 dB(A). A expressão que permite tal demonstração é a seguinte:

$$10 \log\left(\frac{n \times 10^{\frac{40}{10}} + (3600 - n) \times 10^{\frac{30}{10}}}{3600}\right) \leq 30,4 \Leftrightarrow n \leq 38,6 \quad (64)$$

Outro tipo de equívoco que se afigura poder ocorrer, está associado ao fato dos valores típicos constantes na Tabela A.1 da EN ISO 3382-1 [12] não serem representativos para Casas de Fado, a avaliar pelo exposto nos subcapítulos anteriores (3.2.1 a 3.2.5) e pelos valores medidos *in situ* (ver capítulo 5.2). Assim será importante que o Projetista Acústico de Casas de Fado não utilize como base de dimensionamento os valores constantes na Tabela A.1 da EN ISO 3382-1 [12], mas sim os valores medidos *in situ* no presente trabalho em Casas de Fado típicas (ver capítulo 5.2), ou outros que tais. Caso seja possível, e face aos resultados obtidos no presente trabalho, poderá ser recomendável que a tradução para Português da norma EN ISO 3382-1 [12] contemple uma Nota de falta de representatividade dos valores da referida Tabela A.1 para Casas de Espetáculo com menores volumes, tipo Casas de Fado, e Casas de outro tipo de performance, nomeadamente Salas de Aula [60].

4 Questionário

Com o objetivo de conhecer a opinião de pessoas do meio Fadista sobre a importância da qualidade acústica das Casas de Fado e sobre quais as Casas de Fado que consideram ter melhores e piores condições acústicas, foi elaborado um questionário que se descreve no subcapítulo seguinte.

4.1. Formulário e disponibilização

O questionário elaborado está apresentado no Apêndice A.1, conforme se encontra disponível no *site*:

<https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dDZzZWJhTE0xRjFUY3FER09oa1N5bmc6MQ#gid=0>

A disponibilização do Questionário através do *site* referido permite uma maior hipótese de anonimato nas respostas, o que se afigurou adequado, uma vez que a nomeação de Casas de Fado com más condições acústicas pode revestir-se de alguma sensibilidade.

Este questionário foi disponibilizado a várias pessoas do meio Fadista, através de contatos gentilmente fornecidos pelo Museu do Fado (<http://www.museudofado.pt/>), e através de contatos pessoais do autor dentro do meio Fadista.

4.2. Resultados

Infelizmente o número de respostas ao Questionário conseguidas foram muito poucas (apenas 3), ocorrendo inclusive algumas manifestações de recusa ao fornecimento de respostas por considerarem, alegadamente, não conhecer suficientes Casas de Fado para poderem fornecer uma resposta fundamentada, ou por sentirem uma forte relação profissional ou emocional a determinadas Casas de Fado que não lhes permite um resposta imparcial.

Apesar de se terem obtido apenas 3 Respostas, essas respostas permitiram identificar 11 Casas de Fado, todas localizadas em Lisboa, que se listam de seguida por ordem Alfabética:

- Adega Machado; Café Luso; Faia; Fermentação; Fora de Moda; Já disse; Marquês da Sé; Mesa de Frades; Nicola; O Timpanas; Sr. Vinho.

Por razões associadas à subjetividade e valorização própria inerente às classificações atribuídas, também devido ao fato de existirem poucas respostas ao questionário e de se tratar do primeiro trabalho conhecido, deste género, sobre a acústica das Casas de Fados, afigurou-se adequado ocultar o nome dos Autores das respostas (de notar que em 1 dos casos a resposta até foi totalmente anónima) e ocultar o nome das Casas de Fados associadas às respostas obtidas. Assim, apresentam-se no Apêndice A.2 as respostas obtidas, sendo as Respostas numeradas de 1 a 3 e as respetivas Casas de Fado denominadas pelas letras A a K, em função da ordem de surgimento.

Face aos resultados obtidos apresentam-se no Quadro 6 as Casas de Fado alvo de resposta, por ordem decrescente de qualidade acústica. Para a mesma resposta de uma dada pessoa, considera-se, na lista seguinte, a Casa 1 superior, em termos acústicos, à Casa 2, e para o mesmo nível de qualidade acústica atribuído por respostas de pessoas diferentes considera-se, na lista seguinte, a Casa da 1.^a resposta superior, em termos acústicos, à Casa da 2.^a resposta, o que faz com que a diferenciação continuada apresentada, na lista seguinte, possa significar, na realidade, nos casos próximos, equivalência de condições acústicas.

Quadro 6: Ordenação das Casas de Fado constantes nas respostas ao questionário

Ordem decrescente de qualidade acústica	Qualificação da qualidade acústica (Boa, Média; Má)	Denominação da Casa de Fado	Principais razões da nomeação
1	Boa	Casa D	Ruído Exterior; Ruído Interior; Reverberação
2	Boa	Casa E	Ruído Exterior; Ruído Interior; Reverberação
3	Boa	Casa F	Ruído Exterior; Ruído Interior; Reverberação
4	Boa	Casa G	Reverberação
5	Boa	Casa H	Ruído Exterior; Reverberação
6	Boa	Casa I	Reverberação; Distribuição da sala (negativo)
7	Média	Casa C	Reverberação
8	Média	Casa J	Reverberação
9	Média	Casa K	Reverberação
10	Má	Casa A	Ruído Exterior; Ruído Interior; Espaço ao ar livre
11	Má	Casa B	Ruído Interior

Relativamente à importância atribuída, das 3 pessoas que responderam, 2 consideram Muito Importante e 1 considera Pouco Importante a acústica das Casas de Fado.

Uma vez que a pessoa que respondeu “pouco importante” se identificou, foi solicitado o porquê de tal resposta, tendo sido explicado que o Fado pode ocorrer em qualquer local independentemente da qualidade acústica do espaço.

5 Medições *in situ*

Procurou-se caracterizar *in situ*, através de medições, Casas de Fado com melhor e pior classificação no Questionário, tendo sido contatadas todas as 11 casas referidas nas respostas ao Questionário, contudo apenas se obteve resposta/autorização à realização de medições em 5 dessas casas:

- Casa G, Casa H, Casa I, Casa J e Casa K.

Nestas circunstâncias foram realizadas medições acústicas *in situ* nestas 5 casas, as quais possuem, de acordo com as respostas ao questionário, condições acústicas boas ou médias. Assim, os resultados obtidos nas medições, que se apresentam no subcapítulo seguinte, são representativos de Casas com condições acústicas consideradas Médias ou Boas, não existindo portanto resultados associados a casas com condições acústicas consideradas Más.

Por razões de autorização e de facilidade de medição, e também porque os valores bibliográficos existentes são maioritariamente representativos das salas sem público presente, as medições foram efetuadas sem público na sala e durante o período diurno (o funcionamento das Casas de Fado ocorre normalmente no período noturno). Considera-se assim ser de salientar que os valores de Ruído de Fundo obtidos, no período diurno, podem ser minimalistas na medida em que no período noturno ocorre normalmente, nas zonas onde se inserem as Casas de Fado, maior movimentação de pessoas nas ruas.

5.1. Procedimentos

As medições acústicas *in situ* foram realizadas através da seguinte instrumentação:

- 2 Sonómetros de Classe 1, marca 01 dB e modelo SOLO, gentilmente disponibilizados pela empresa SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído.
- 2 tripés para suporte e estabilização dos Sonómetros.
- Diversos balões e bomba de ar, para enchimento e posterior rebentamento dos balões para produção do impulso sonoro.
- Fita métrica para obtenção das dimensões dos espaços e determinação da distância do impulso ao ponto de medição (sonómetro) de referência.

Os dois Sonómetros registaram em simultâneo os impulsos sonoros, sendo que um dos sonómetros encontrava-se localizado numa posição fixa de referência, em linha de vista com a origem do impulso (para determinação do campo sonoro direto; campo livre), e o

outro sonómetro ia localizando-se em vários pontos da sala para obtenção da Resposta Impulsiva da Sala nesses diversos pontos.

Nos mesmos pontos onde foi obtida a Resposta Impulsiva da Sala, foi também medido o Ruído de Fundo.

Os procedimentos de medição e de localização dos pontos seguiram o estabelecido na EN ISO 3382-1 [12].

5.2. Resultados

Apresentam-se nos quadros seguintes (Quadro 7 a Quadro 11) os resultados obtidos para cada uma das 5 Casas de Fado caracterizadas, onde os parâmetros apresentados são os seguintes:

- T_{20} [s]: *Tempo de Reverberação*, entre -5dB e -25 dB, estando o ruído de fundo para além de -35 dB, relativamente ao Nível de Pressão Sonora inicial após o impulso sonoro (ver capítulo 2.5.2), obtido através da Resposta Impulsiva Integrada em vários pontos das salas.
- G [dB]: *Amplificação Acústica*, obtida através do valor de campo livre registado pelo sonómetro na posição de referência, e através do valor do regime estacionário obtido pelo outro sonómetro em vários pontos das salas (ver capítulos 2.6.1 e 2.7).
- EDT [s]: *Tempo de Decaimento Inicial*, entre 0 dB e -10 dB relativamente ao Nível de Pressão Sonora inicial após o impulso sonoro (ver capítulo 2.6.2), obtido através da Resposta Impulsiva Integrada em vários pontos da sala.
- C_{80} [dB]: *Clareza*, entre 0 dB e -35 dB relativamente ao Nível de Pressão Sonora inicial após o impulso sonoro (ver capítulo 2.6.3), obtida através da Resposta Impulsiva.
- D_{50} [sem unidades]: *Definição*, entre 0 dB e -35 dB relativamente ao Nível de Pressão Sonora inicial após o impulso sonoro (ver capítulo 2.6.4), obtida através da Resposta Impulsiva.
- T_S [ms]: *Tempo Central*, entre 0 dB e -35 dB relativamente ao Nível de Pressão Sonora inicial após o impulso sonoro (ver capítulo 2.6.5), obtido através da Resposta Impulsiva.
- L_{Aeq} Fundo [dB(A)]: *Nível Sonoro Contínuo Equivalente, Ponderado A*, do Ruído de Fundo nos vários pontos da sala (ver capítulo 2.6.6).

Os decaimentos associados aos resultados apresentados nos quadros seguintes (Quadro 7 a Quadro 11), estão apresentados na forma gráfica nos Apêndices A.3 a A.7, para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz.

Salienta-se que os valores do Ruído de Fundo obtidos se devem sobretudo ao funcionamento de arcas frigoríficas, e pontualmente à passagem de tráfego nas vias próximas.

Quadro 7: Resultados médios para a Casa G

Medição	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]	L_{Aeq} Fundo [dB(A)]
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
1	0,84	33	0,85	6	0,8	45	43,7
2	0,86	32	0,84	6	0,7	50	44,1
3	0,85	32	0,86	6	0,7	54	37,5
4	0,85	31	0,86	4	0,6	55	39,2
5	0,94	28	0,88	5	0,6	63	43,6
6	0,87	28	0,87	4	0,6	63	44
7	0,9	28	0,86	5	0,6	60	39
8	0,89	28	0,88	5	0,6	62	41,4
9	0,84	29	0,95	6	0,7	52	42,6
10	0,84	29	0,9	5	0,6	56	42,4
11	0,91	29	0,8	5	0,7	55	41,7
12	0,86	29	0,8	6	0,7	48	41,1
13	0,85	27	0,8	4	0,6	57	40,1
14	0,82	30	0,82	5	0,6	55	40,4
Média	0,86	29	0,85	5	0,6	55	41
Desvio Padrão	0,040 (5%)	2,1 (7%)	0,059 (7%)	1,1 (22%)	0,07 (12%)	6,9 (13%)	2,1 (5%)

Quadro 8: Resultados médios para a Casa H

Medição	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]	L_{Aeq} Fundo [dB(A)]
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
1	0,95	20	1,07	4	0,6	67	30,5
2	0,98	21	0,89	5	0,6	58	31,6
3	0,98	21	0,94	5	0,6	62	38,6
4	0,96	19	1,03	3	0,5	70	30,5
5	0,97	21	0,91	4	0,6	61	35,2
6	0,94	20	0,89	4	0,6	63	35,1
7	0,91	22	1,03	4	0,6	68	32,8
8	0,95	24	0,98	5	0,7	63	32,3
9	0,96	20	0,95	4	0,6	64	35,4
10	0,98	22	0,94	3	0,5	68	36,1
11	1,01	19	0,97	4	0,5	66	34,3
12	0,97	20	0,97	3	0,6	68	36,4
13	0,97	20	0,91	4	0,6	64	35,9
14	0,95	19	0,85	4	0,6	65	34,8
Média	0,96	20	0,95	4	0,6	64	34
Desvio Padrão	0,033 (3%)	1,4 (7%)	0,074 (8%)	0,8 (21%)	0,06 (10%)	5,5 (9%)	2,4 (7%)

Quadro 9: Resultados médios para a Casa I

Medição	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]	L_{Aeq} Fundo [dB(A)]
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
1	0,68	17	0,63	8	0,7	39	37,9
2	0,72	20	0,57	9	0,8	34	29,6
3	0,7	18	0,62	8	0,8	36	32,7
4	0,7	23	0,78	7	0,7	48	39,4
5	0,7	23	0,79	5	0,6	57	38,3
6	0,72	19	0,73	7	0,7	44	37,9
7	0,71	21	0,67	7	0,7	44	33,9
8	0,7	18	0,8	6	0,7	46	31,3
9	0,72	17	0,64	8	0,8	43	33,4
10	Medição não considerada						38,0
11	0,71	18	0,77	5	0,6	55	38,1
12	0,79	19	0,91	5	0,6	58	39,4
13	0,72	20	0,83	5	0,6	55	34,8
14	0,7	21	0,73	7	0,7	46	35,2
15	0,71	23	0,88	4	0,6	58	40,8
16	0,74	22	0,72	6	0,7	45	37,0
17	0,65	19	0,52	10	0,9	30	35,3
18	0,68	17	0,5	10	0,9	28	37,6
19	0,72	18	0,83	5	0,6	55	35,7
20	0,68	19	0,85	5	0,6	61	37,9
21	0,72	19	0,82	5	0,6	58	36,8
22	0,66	22	0,52	11	0,9	24	34,7
23	0,69	23	0,5	11	0,8	26	36,4
24	0,68	23	0,43	12	0,9	25	38,2
Média	0,7	20	0,69	7	0,7	44	36
Desvio Padrão	0,037 (5%)	2,2 (11%)	0,148 (21%)	2,4 (36%)	0,11 (16%)	12,6 (29%)	2,7 (8%)

Quadro 10: Resultados médios para a Casa J

Medição	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]	L_{Aeq} Fundo [dB(A)]
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
1	0,73	23	0,76	6	0,6	51	36,9
2	0,71	24	0,77	6	0,7	49	37,4
3	0,66	24	0,79	5	0,6	56	38,9
4	0,67	25	0,77	6	0,6	50	39,6
5	0,68	25	0,78	5	0,6	53	39,6
6	0,72	27	0,64	8	0,8	38	41,7
7	0,73	27	0,59	9	0,8	38	39,3
8	0,69	25	0,7	7	0,7	43	38,3
9	0,7	22	0,66	8	0,7	42	40,9
10	0,68	20	0,74	6	0,6	50	41,0
11	0,7	25	0,72	6	0,6	52	37,4
12	0,68	25	0,69	7	0,7	46	37,8
13	0,68	25	0,7	7	0,7	44	37,7
14	0,58	32	0,53	10	0,9	27	41,5
15	0,56	34	0,5	11	0,8	27	39,8
16	0,7	29	0,55	10	0,8	30	38,7
17	0,6	35	0,48	10	0,9	27	38,9
18	0,69	29	0,62	7	0,8	37	38,7
19	0,69	29	0,58	7	0,8	42	40,3
20	0,67	28	0,66	8	0,8	32	39,8
21	0,68	27	0,65	8	0,8	32	37,7
Média	0,67	26	0,66	7	0,7	41	39
Desvio Padrão	0,048 (7%)	3,8 (15%)	0,102 (16%)	1,9 (26%)	0,10 (14%)	10,2 (25%)	1,4 (4%)

Quadro 11: Resultados médios para a Casa K

Medição	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]	L_{Aeq} Fundo [dB(A)]
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
1	0,62	28	0,79	5	0,6	53	38,8
2	0,63	30	0,68	8	0,7	40	38,8
3	0,63	30	0,64	8	0,8	36	38,3
4	0,75	28	0,69	7	0,7	44	39,3
5	0,73	26	0,63	7	0,7	44	39,5
6	0,67	27	0,79	6	0,7	48	38,6
7	0,75	24	0,75	6	0,6	55	37,8
8	0,77	24	0,8	6	0,7	49	40,9
9	0,79	25	0,75	6	0,6	53	40,7
10	0,78	24	0,75	6	0,7	49	38,1
11	0,73	32	0,88	5	0,6	58	39,3
12	0,71	32	0,57	9	0,8	34	42,2
13	0,66	31	0,53	10	0,8	30	39,4
14	0,7	27	0,67	7	0,8	40	38,9
15	0,68	33	0,63	8	0,7	43	39,1
16	0,61	31	0,48	10	0,8	27	37,8
17	0,66	28	0,51	9	0,8	33	40,1
Média	0,70	28	0,68	7	0,7	43	39
Desvio Padrão	0,068 (10%)	3,3 (12%)	0,123 (18%)	1,9 (28%)	0,09 (13%)	10,3 (24%)	1,2 (3%)

No Quadro 12 apresentam-se os resultados médios globais, ordenados da Casa com melhores condições acústicas para a Casa com piores condições acústicas, em conformidade com a ordem do Quadro 6.

Quadro 12: Resultados médios globais (ordem qualitativa decrescente)

Casa de Fado	T_{20} [s]♦ Desv. Pad.	G [dB] Desv. Pad.	EDT [s] Desv. Pad.	C_{80} [dB] Desv. Pad.	D_{50} [sem unidades] Desv. Pad.	T_s [ms] Desv. Pad.	L_{Aeq} Fundo [dB(A)] Desv. Pad.
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
Casa G 261m ^{3*} 0,96s♣; 0,73s♠	0,86 0,040 (5%)	29 2,1 (7%)	0,85 0,059 (7%)	5 1,1 (22%)	0,6 0,07 (12%)	55 6,9 (13%)	41 2,1 (5%)
Casa H 204m ^{3*} 0,88s♣ 0,71s♠	0,96 0,033 (3%)	21 1,9 (9%)	0,95 0,074 (8%)	4 0,8 (21%)	0,6 0,06 (10%)	64 5,5 (9%)	34 2,4 (7%)
Casa I 332m ^{3*} 1,04s♣ 0,75s♠	0,70 0,037 (5%)	20 2,2 (11%)	0,69 0,148 (21%)	7 2,4 (36%)	0,7 0,11 (16%)	44 12,6 (29%)	36 2,7 (8%)
Casa J 752m ^{3*} 1,36s♣ 0,81s♠	0,67 0,048 (7%)	26 3,8 (15%)	0,66 0,102 (16%)	7 1,9 (26%)	0,7 0,10 (14%)	41 10,2 (25%)	39 1,4 (4%)
Casa K 308m ^{3*} 1,01s♣ 0,74s♠	0,70 0,068 (10%)	28 3,3 (12%)	0,68 0,123 (18%)	7 1,9 (28%)	0,7 0,09 (13%)	43 10,3 (24%)	39 1,2 (3%)

Casa de Fado	T_{20} [s]♦ Desv. Pad.	G [dB] Desv. Pad.	EDT [s] Desv. Pad.	C_{80} [dB] Desv. Pad.	D_{50} [sem unidades] Desv. Pad.	T_s [ms] Desv. Pad.	L_{Aeq} Fundo [dB(A)] Desv. Pad.
	Valor Médio para as Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz						Banda Larga
Máximo	0,96 0,068 (10%)	29 3,8 (15%)	0,95 0,148 (21%)	7 2,4 (36%)	0,7 0,11 (16%)	64 12,6 (29%)	41 2,7 (8%)
Mínimo	0,67 0,033 (3%)	20 1,9 (7%)	0,66 0,059 (7%)	4 0,8 (21%)	0,6 0,06 (10%)	41 5,5 (9%)	34 1,2 (3%)

* Volume da Casa de Fado.

♣ Limite legal da alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [2].

♠ Limite legal da alínea a) do n.º 1 do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2].

♦ De notar que apesar dos valores apresentados corresponderem à média das Bandas de Oitava de 500 Hz e 1000 Hz, consideram-se estes valores comparáveis com os limites legais do DL 96/2008 [2], relativos à média da Bandas de Oitava de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

6 Discussão dos Resultados

Analisando as respostas do Quadro 6 e os resultados do Quadro 12, verifica-se o seguinte:

- T_{20} e EDT :

É muito pequena a diferença entre T_{20} e EDT em todas as Casas de Fado caracterizadas, variando os valores medidos entre 0,66 s e 0,96 s, ou seja, valores inferiores, como era expetável, ao valor mínimo típico de 1 s indicado para EDT na Tabela A.1 da EN ISO 3382-1 [12]. As 2 Casas de Fado com melhor classificação no questionário têm valores de T_{20} e EDT mais próximos, ou acima, do limite legal da alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [10], e possuem menores desvios padrão para EDT . As restantes Casas de Fado têm valores de T_{20} e EDT inferiores ao limite legal da alínea a) do n.º 1 do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [10], o que pode indiciar Tempos de Reverberação demasiado baixos (maior absorção sonora), e possuem também uma maior dispersão (maior desvio padrão) para EDT . De referir que no Quadro 6 a “*principal razão da nomeação*” para a Casa G (melhor classificada) é a “*Reverberação*”.

- G :

Os valores de G obtidos variam entre 20 e 29 dB, ou seja, são valores significativamente superiores ao máximo (10 dB) constante na Tabela A1 da EN ISO 3382-1 [12], mas correspondem a valores dentro do que seria expetável para os Volumes e Tempos de Reverberação típicos das Casas de Fado, a avaliar pelos valores teóricos apresentados na Figura 4 (de notar contudo que são pouco concordantes os valores previstos de acordo com a equação (32) com os valores medidos *in situ*; ver Quadro 13), e pelos valores constantes na bibliografia para espaços com volumes semelhantes aos das Casas de Fado [60]. A Casa de Fado com melhor classificação é a que possui maior valor de G , contudo a 2.ª classificada possui um valor de G próximo do valor mínimo obtido (20; de notar contudo que este valor mínimo é ainda assim muito superior ao máximo típico de 10 dB [12]), Verifica-se assim que a ordenação qualitativa do Quadro 6 não possui uma relação direta com os valores específicos de G , contudo essa ordenação é relativamente coincidente com os valores do desvio padrão de G , ou seja, quanto menor o desvio padrão de G maior a classificação atribuída no Questionário.

- C_{80} :

Os valores de C_{80} obtidos variam entre 4 e 7 dB, ou seja, são próximos ou superiores ao valor máximo típico de 5 dB constante na Tabela A1 da EN ISO 3382-1 [12], como seria expeável (ver Figura 6 e referência [60]; de notar que existe uma relativa boa concordância entre os valores medidos e os valores previstos; ver Quadro 14). As Casas de Fado melhor classificadas são as que possuem menores valores de C_{80} , o que pode indiciar excesso de absorção sonora nas Casas de Fado com menor classificação no questionário.

- D_{50} :

Os valores de D_{50} obtidos variam muito pouco, entre 0,6 e 0,7 dB, e encontram-se próximos do valor máximo típico de 0,7 constante na Tabela A1 da EN ISO 3382-1 [12], como seria expeável (ver Figura 7 e referência [60]; de notar que existe uma relativa boa concordância entre os valores medidos e os valores previstos; ver Quadro 15). As Casas de Fado melhor classificadas possuem menores valores de desvio padrão para D_{50} .

- T_S :

Os valores de T_S obtidos variam entre 41 e 64 ms, portanto menores ou próximos do valor mínimo típico de 60 ms constante na Tabela A1 da EN ISO 3382-1 [12], como seria expeável (ver Figura 8 e referência [60]; de notar que existe uma relativa boa concordância entre os valores medidos e os valores previstos; ver Quadro 16). As Casas de Fado melhor classificadas possuem maiores valores de T_S , o que pode indiciar excesso de absorção sonora nas Casas de Fado com menor classificação no questionário.

- L_{Aeq} Fundo:

Os resultados associados ao Ruído de Fundo, ainda que provavelmente minimalistas, relativamente ao que poderá ocorrer no período de atividade normal das Casas de Fado, conforme justificado no capítulo 5, revelaram valores superiores aos limites legais do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2], o que corresponde a um desfecho não esperado, dado que as Casas de Fado caracterizadas possuem, de acordo com o questionário, Boas ou Médias condições acústicas, e a Casa de Fado melhor classificada no Quadro 12 (Casa G) é a que possui maior valor de Ruído de Fundo. Tais resultados podem assim significar que o requisito legal é demasiado exigente e/ou que foi subvalorizado este aspeto nas respostas ao questionário e/ou que não foram caracterizadas *in situ* as Casas de Fado com melhores condições acústicas de Ruído de Fundo. De referir a este respeito que as 3 Casas de Fado

melhor classificadas no Quadro 6, e que não foram alvo de análise *in situ*, possuem indicação do “*Ruído Exterior*” e do “*Ruído Interior*” como “*Principal razão da nomeação*”, enquanto a Casa G, alvo de análise *in situ*, não possui essas indicações mas apenas a “*Reverberação*”. Das Casas analisadas *in situ* a única que possui referência ao “*Ruído Exterior*”, como “*Principal razão da nomeação*”, é a Casa H, e é a que possui o menor valor de Ruído de Fundo no Quadro 12.

Quadro 13: Comparação dos valores medidos e previstos para a Amplificação Acústica

Casa de Fado	Volume [m ³]	T ₂₀ [s]	A	B	A – B [dB]	Limiar da Diferença Apercebida [dB]
			Valor previsto para G (equação (32)) [dB]	Valor medido para G [dB]		
Casa G	291	0,86	20	29	-9	1 [12]
Casa H	204	0,96	22	21	1	
Casa I	332	0,7	18	20	-2	
Casa J	752	0,67	14	26	-12	
Casa K	308	0,7	19	28	-9	

Quadro 14: Comparação dos valores medidos e previstos para a Clareza

Casa de Fado	T ₂₀ [s]	A	B	A – B [dB]	Limiar da Diferença Apercebida [dB]
		Valor previsto para C ₈₀ (equação (36)) [dB]	Valor medido para C ₈₀ [dB]		
Casa G	0,86	4	5	-1	1 [12] 1,6 [61]
Casa H	0,96	3	4	-1	
Casa I	0,7	6	7	-1	
Casa J	0,67	6	7	-1	
Casa K	0,7	6	7	-1	

Quadro 15: Comparação dos valores medidos e previstos para a Definição

Casa de Fado	T ₂₀ [s]	A	B	A – B	Limiar da Diferença Apercebida
		Valor previsto para D ₅₀ (equação (40))	Valor medido para D ₅₀		
Casa G	0,86	0,6	0,6	-0,04	0,05 [12]
Casa H	0,96	0,5	0,6	-0,08	
Casa I	0,7	0,6	0,7	-0,07	
Casa J	0,67	0,6	0,7	-0,05	
Casa K	0,7	0,6	0,7	-0,07	

Quadro 16: Comparação dos valores medidos e previstos para o *Tempo Central*

Casa de Fado	T_{20} [s]	A	B	A – B [ms]	Limiar da Diferença Apercebida [ms]
		Valor previsto para T_s (equação (46)) [ms]	Valor medido para T_s [ms]		
Casa G	0,86	62	55	7	10 [12]
Casa H	0,96	70	64	6	
Casa I	0,7	51	44	7	
Casa J	0,67	49	41	8	
Casa K	0,7	51	43	8	

A análise das comparações dos quadros anteriores, relativamente aos valores medidos e previstos, revela que o parâmetro que possui maiores desvios, quando comparados com os valores do respetivo *Limiar da Diferença Apercebida*⁹, é a *Amplificação Acústica*, o que significa que não é aconselhável a sua previsão através da equação (32) – a qual é válida apenas para Campo Difuso – sendo recomendável o recurso a métodos mais elaborados de previsão, nomeadamente o uso dos *softwares* disponíveis no mercado [62-65]. No caso dos parâmetros C_{80} , D_{50} e T_s , desde que se possua um método adequado de previsão do Tempo de Reverberação da sala [3], esses parâmetros podem ser determinados, com bom grau de concordância com os valores medidos *in situ* (a avaliar pelas comparações dos quadros anteriores), através, respetivamente, das equações (36), (40) e (46), as quais não assumem um Campo Difuso mas apenas a linearidade do decaimento.

⁹ Traduziu-se por *Limiar da Diferença Apercebida* a designação Inglesa *Just Noticeable Difference* constante na Tabela A.1 da EN ISO 3382-1 [12].

7 Conclusão

No desenvolvimento do trabalho foi possível contactar com várias pessoas do meio Fadista e foi possível verificar que existe, de certa forma, alguma “desconfiança” relativamente à “ciência”, sobretudo porque se considera que o Fado é mormente um “sentimento” não mensurável. Talvez seja esta uma das razões, possivelmente não a principal, para que tenham ocorrido poucas respostas ao Questionário, apesar de o mesmo ter sido distribuído a um número significativo de pessoas do meio Fadista.

O autor admite que outra das razões, possivelmente a principal, para terem existido poucas respostas ao Questionário, se prende com a capacidade do autor de explicar e incentivar o preenchimento do Questionário, e por outro lado, mas também por culpa do autor, a própria estrutura do Questionário elaborado.

Pese embora o referido, ocorreram 3 respostas ao Questionário que permitiram elencar as 11 Casas de Fado referidas anteriormente, das quais 5 foram alvo de análise *in situ*. Foi até possível perceber que, no meio Fadista, existem algumas pessoas que – com a sua razão – consideram a Acústica das Casas de Fado pouco importante, e existem outras pessoas que consideram a Acústica das Casas de Fado muito importante.

Julga-se ser de esclarecer que o desenvolvimento do presente trabalho não assenta na hipótese de que a acústica das Casas de Fado tem de ser algo de muito importante, assenta isso sim na hipótese de que a acústica das Casas de Fado (tendo a importância que tem, variável de pessoa para pessoa e de situação para situação) pode e deve ser analisada não só de forma qualitativa (de acordo com a percepção humana) mas também de forma quantitativa, fazendo uso dos parâmetros físico-acústicos definidos internacionalmente de forma normalizada [12], o que pode ter grandes vantagens sobretudo ao nível do dimensionamento adequado (maior probabilidade de sucesso; ver capítulo 3) de novas Casas de Fado e no eventual redimensionamento de Casas de Fado existentes no sentido da melhoria das condições acústicas, uma vez que a maioria dos *softwares* disponíveis para cálculo prospetivo das condições acústicas (por exemplo as referências [62-65]), assenta na determinação dos parâmetros físico-acústicos referidos. Neste âmbito, emerge como um dos contributos deste trabalho a demonstração da possibilidade de previsão, com boa concordância com as medições, dos parâmetros C_{80} , D_{50} e T_S através do recurso às equações aqui desenvolvidas (equações (36), (40) e (46)), enquanto o parâmetro G necessita ser previsto com recurso a metodologias mais elaboradas [62-65] (não assunção simples de Campo Difuso; equação (32)).

Na perspetiva enunciada, julga-se que a “simples” obtenção dos valores ocorrentes em Casas de Fados, para os parâmetros físico-acústicos recomendados internacionalmente, possui relevância em si mesmo, uma vez que não se conhecem, presentemente, esses valores, porquanto não existem (não se conhecem), até aqui, estudos direccionadas para a Acústica das Casas de Fados, razão pela qual se considera como outro dos contributos do presente trabalho, a explicitação dos valores quantitativos obtidos em Casas de Fado típicas, o que levou inclusive a tornar evidente que não são representativos das Casas de Fado – e de outros espaços de performance com menores volumes (ver capítulo 3.3) – os valores típicos constantes na Tabela A1 da EN ISO 3382-1 [12], sobretudo no que concerne ao parâmetro *Amplificação Acústica G*. De referir também que por “de trás” dos resultados constantes no capítulo 5.2, e resumidos no Quadro 12 em termos médios globais, está um tratamento relativamente volumoso de dados (178 decaimentos (ver Apêndices A.3 a A.7), dos quais foram calculados 6 parâmetros distintos, e 89 medições de Ruído de Fundo).

No que concerne à relação entre a qualificação acústica das respostas ao Questionário e a quantificação das medições *in situ* efetuadas, pese embora a fragilidade das conclusões associadas, dado o reduzido número de respostas e não ter sido possível caracterizar *in situ* a 1.^a e a última classificada (ver Quadro 6), afigura-se adequado expressar as seguintes “tendências”, resultantes do presente trabalho, e que carecem, pelas razões referidas, de ser aferidas em eventuais trabalhos futuros:

1. Aparenta existir uma preferência por Tempos de Reverberação (T_{20} e EDT) mais elevados, tendo ocorrido inclusive um caso (Casa H; 2.^a classificada das Casas que foram analisadas *in situ*) em que os valores obtidos (T_{20} e EDT) são superiores aos limites legais da alínea c) do n.º 1 do Artigo 6.º do DL 96/2008 [10].
2. Aparenta não existir correlação entre a qualidade acústica apercebida e os valores da *Amplificação Acústica G*, mas aparenta existir correlação com o desvio padrão de G : menor desvio padrão melhor qualidade acústica.
3. Aparenta existir uma preferência por valores de C_{80} e de D_{50} mais reduzidos (4/5 dB para C_{80} e 0,6 para D_{50}), mas ainda assim junto do que é normalmente considerado como muito boa *Clareza* (5 dB) e muito boa definição (0,7), e uma preferência por valores de T_S mais elevados (55/64 ms), mas ainda assim junto do que é normalmente considerado como um muito bom *Tempo Central* (60 ms).
4. Aparenta não existir correlação entre a qualidade acústica apercebida e os valores do Ruído de Fundo, nem correlação com os desvios padrão do Ruído de Fundo. Uma vez que os valores medidos, possivelmente minimalistas (ver capítulo 5), não cumprem os limites legais do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2], julga-se ser efetivamente necessário caracterizar, no futuro, outras Casas de Fado (principalmente

as Casas D, E e F, pois são referidas no questionário como tendo boas condições de “Ruído Interior” e de “Ruido Exterior”, e a Casa B, pois é referida no questionário como tendo más condições de “Ruído Interior”, ou outras que tais), para poder confirmar ou infirmar a seguinte hipótese que se afigura importante:

- a. Os limites legais de Ruído de Fundo do Artigo 10.ºA do DL 96/2008 [2], julgados aplicáveis a Casas de Fado, entendidas como Salas de Espetáculo, podem ser demasiado exigentes, a avaliar pelos resultados obtidos (ver capítulo 5.2) para as Casas de Fado consideradas com Boas condições acústicas.

Por fim e de molde mais “geral”, mas igualmente importante, considera-se que o trabalho desenvolvido permitiu também apresentar, de forma relativamente completa, os fundamentos teóricos e a bibliografia de base aplicáveis à acústica das Casas de Fado, o que assume especial relevância no quadro atual, até aqui, de não existência (não conhecimento), conforme já referido, de estudos direcionados para a acústica das Casas de Fado, o que poderá facilitar e/ou incentivar o desenvolvimento de novos trabalhos nesta temática – assim se deseja e assim se cumpriria a iniciativa do presente trabalho.

8 Referências

- [1] Thompson, Emily – *The soundscape of modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900-1933*. Massachusetts Institute of Technology, 2002. ISBN 0-262-20132-0.
- [2] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho.
- [3] EN 12354-6 – *Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces*. 2003.
- [4] Cavanaugh, William J.; Tocci, Gregory C.; Wilkes, Joseph A. – *Architectural Acoustics. Principles and Practice*. John Wiley & Sons, 2.ª Ed., 2010. ISBN 978-0-47019052-4.
- [5] Patrício, Jorge – *Acústicas nos Edifícios*. Verlag Dashöfer, 2007. ISBN 978-8906-55-9.
- [6] Nijs, Lau; Vries, Diemer de – *The young architect's guide to room acoustics*. Acoust. Sci. & Tech. 26, 2, 2005.
- [7] Silva, Pedro Martins da – *Elementos de Acústica Musical*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1989.
- [8] Beranek, Leo L. – *Subjective Rank-Orderings and Acoustical Measurements for Fifty-eight Concert Halls*. Acta Acustica United with Acustica, vol. 89, 494-508, 2003.
- [9] Skålevik, M. – *Concert Hall Parameters 2012. A status report*. Baltic-Nordic Acoustics Meeting, BNAM 2012.
- [10] Beranek, Leo L. – *The sound strength parameter G and its importance in evaluating and planning the acoustics of halls for music*. J. Acoust. Soc. Am. 129 (5), May, 2011.
- [11] Hak, C.; Wenmaekers, R.; Hak, J.; Luxemburg, L.; Gade, A. – *Sound Strength Calibration Methods*. Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, Sydney, Australia, ICA 2010.
- [12] EN ISO 3382-1 – *Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance Spaces*. 2009.
- [13] Crowell, Benjamin – *Vibrations and Waves*. Light and Matter, Fullerton, California, 2006. www.lightandmatter.com
- [14] French, A. P. – *Vibrations and Waves*. Massachusetts Institute of Technology, 1971.
- [15] Pierce, Allan D. – *Acoustics, An Introduction to Its Physical Principles and Applications*. 3ª ed. [s.l.]: Acoustical Society of America, 1994, ISBN 0-88318-612-8.
- [16] Rayleigh, J. W. S. – *The Theory of Sound*. New York: Dover Publications, 1945. ISBN 0-486-60293-3. Vol I e II.
- [17] Morfey, Christopher L. – *Dictionary of Acoustics*. Academic Press, 2001. ISBN 0-12-506940-5.
- [18] Kammler, David W. – *A First Course in Fourier Analysis*. Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-13-578782-3.
- [19] Rossing, Thomas D. – *The Science of Sound*. 2ª ed. [s.l.]: Addison Wesley Publishing Company, 1990. ISBN 0-201-15727-6.
- [20] Zwicker, E.; Fastl, H. – *Psychoacoustics*. Springer, 1999. ISBN 3-540-65063-6.
- [21] Silva, Pedro Martins da – *Acústica de Edifícios*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 8.ª ed., 2004. ISBN 972-49-0013-4.
- [22] <http://www.guardian.co.uk/world/2002/jun/17/humanities.internationaleducationnews>.

- [23] EN 61672-1 – *Electroacoustics: Sound level meters – Part 1: Specifications*. 2003.
- [24] Maekawa, Z.; Lord, P. – *Environmental and Architectural Acoustics*. E&FN SPON, s.d., ISBN 0-419-15980-0.
- [25] Henrique, Luís L. – *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian. 2002. ISBN 972-31-0987-5.
- [26] EN 61260 – *Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters*. 2001.
- [27] Diário da República Portuguesa. Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.
- [28] NP 1730-1 – *Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1. Grandezas Fundamentais e Procedimentos*. 1996. (ISO 1996-1: 1982). (normas já revogadas)
- [29] NP ISO 1996-1 – *Acústica: Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente: Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de análise*. 2011. (ISO 1996-1: 2003).
- [30] Spiegel, Murray R.; Liu, John – *Manual de Fórmulas e Tabelas de Matemática*. 2.ª ed., Bookman, 20004. disponível em:
http://books.google.pt/books?id=Qul8d0ZDNo0C&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [31] NP 4361-2 – *Acústica: Atenuação do som na sua propagação ao ar livre: Parte 2: Método geral de cálculo*. 2001. (ISO 9613-2: 1996)
- [32] Beranek, Leo – *Noise and Vibration Control*. McGraw-Hill, 1971. ISBN 07-004841-X.
- [33] Crocker, Malcolm J. – *Handbook of Acoustics*. Wiley Interscience, 1998. ISBN 0-471-25293-X.
- [34] Schroeder, M. R. – *New method of measuring reverberation time*. JASA 38 (1965).
- [35] NP EN ISO 3382-2 – *Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes*. 2011. (ISO 3382-2: 2008)
- [36] NP EN ISO 717-1 – *Determinação do Isolamento Sonoro em Edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento Sonoro a Sons de Condução aérea*. 2009. (ISO 717-1:1996 + A1:2006)
- [37] NP EN ISO 717-2 – *Determinação do Isolamento Sonoro em Edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento Sonoro a Sons de Percussão*. 2009. (ISO 717-2:1996 + A1:2006)
- [38] Kürer, R. – *A simple measuring procedure for determining the "centre time" of room acoustical impulse responses*. 7th Intern. Congress on Acoustics, Budapest 1971.
- [39] Beranek, Leo L. – *Music, Acoustics & Architecture*. Original Edition, Cambridge, MA, 1962.
- [40] Beranek, Leo L. – *Concert Hall Acoustics*. Reprinted with permission from J. Acoust. Soc. Am. vol. 92, No. 1, © 1992, Acoustical Society of America: Melville, NY, July 1992.
- [41] Barron, Michael – *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: Spon Press. Routledge, 1993 (reprinted 1998).
- [42] Iazzetta, Fernando; Figueiredo, Fábio Leão; Masiero, Bruno Sanches – *Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical*. Guimarães, Acústica 2004.
- [43] Silva, Pedro Martins da – *Engenharia Acústica*. Ingenium Edições, Lda., 2007. ISBN 978-972-98843-9-9.
- [44] Carvalho, António P. O.; Silva, Pedro M. A. – *Caracterização da Megalgraja da Santíssima Trindade: Fátima*. Cádiz, TecniAcústica, 2009.

- [45] Hak, Constant; Vertegaal, Han – *What exactly is time infinity for acoustical parameters?*. International Congress on Sound and Vibration, Kraków, 2009.
- [46] EN ISO 3741 – *Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for reverberation test*. 2010.
- [47] EN ISO 3744 – *Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*. 2010.
- [48] ISO 18233 – *Acoustics: Application of new measurement methods in building and room acoustics*. 2006.
- [49] Rossing, Thomas D.; et. al – *Springer Handbook of Acoustics*. 2007.
- [50] <http://www.nytimes.com/2000/04/18/science/art-physics-beautiful-music.html?pagewanted=all&src=pm>.
- [51] Hyde, Jerald R.; Moller, Henrik – *Sound Strength in Small Halls*. Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 28, 2006.
- [52] Hidaka, Takayuki; Nishihara, Noriko – *Objective evaluation of chamber-music halls in Europe and Japan*. J. Acoust. Soc. Am. 116 (1), July 2004.
- [53] Santiago, Francisco; Inácio, Octávio – *An Acoustical Overview on Portuguese Concert Halls*. Coimbra, Acústica 2008.
- [54] Arau, Higini – *The Acoustic Design of the Molina of Segura Theater-Auditoria*. Madrid, International Congress on Acoustics, ICA 2007.
- [55] <http://www.renkus-heinz.com/easera/easeraappendixuspv.pdf>.
- [56] http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html.
- [57] http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html.
- [58] http://www.engineeringtoolbox.com/noise-criteria-d_726.html.
- [59] Building Bulletin 93 – *Acoustic design in schools*. 2004.
<https://www.education.gov.uk/publications/standard/publicationDetail/Page1/BB93#downloadableparts>
- [60] Nilson, Erling – *Room acoustic measures for classrooms*. Lisboa, Internoise 2010.
- [61] Ahearn, Meghan; et. al – *Investigation of the just noticeable difference of the clarity index for music, C80*. J. Acoust. Soc. Am. Volume 126, Issue 4, pp. 2288-2288, 2009.
- [62] <http://www.odeon.dk/>.
- [63] <http://www.catt.se/>.
- [64] <http://easera.afmg.eu/>.
- [65] <http://www.ramsete.com/>.

Apêndices

A.1 Questionário

Apresentam-se nas imagens seguintes o Questionário disponibilizado no *site*:

<https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dDZzZWhjTE0xRjFUY3FER09oa1N5bmc6MQ#gid=0>

Acústica das Casas de Fado

Este Questionário tem como objetivo a obtenção de resultados para uma Dissertação de Mestrado em Engenharia Física, na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, sobre a Acústica das Casas de Fado.

Entende-se por Acústica das Casas de Fado a acústica própria do espaço (Sala) em causa e não a acústica dos instrumentos musicais (incluindo a voz).

Apresentam-se em seguida, com o intuito de se poder entender melhor o que é pretendido, algumas características que se consideram estar associadas à Acústica de uma Sala:

- Ruído Exterior: Um espaço com baixo isolamento sonoro de fachada, e/ou que trabalhe de porta aberta, poderá deixar "entrar" som indesejável proveniente do exterior e que poderá interferir negativamente quer com o desempenho dos artistas quer com a perceção dos ouvintes.
- Ruído Interior: Em um espaço que possua equipamentos ruidosos, na cozinha e/ou na própria sala de espetáculos (por exemplo ares condicionados), o ruído proveniente desses equipamentos poderá igualmente interferir negativamente quer com o desempenho dos artistas quer com a perceção dos ouvintes. Outro exemplo será um espaço em que, normalmente, não haja disciplina de "silêncio" do público aquando da atuação dos artistas.
- Reverberação ou "eco": O fato de uma dada sala ser maior ou mais pequena, possuir mais ou menos decoração com materiais mais ou menos absorventes de som pode fazer com que essa sala pareça mais ou menos reverberante (é habitual as pessoas referirem-se a esta característica dizendo que a sala, em termos sonoros, é mais "quente", mais "envolvente" ou mais "fria"), o que tem influência na qualidade do som que chega aos ouvintes.

Agradecemos o seu contributo para este Questionário e, subseqüentemente, o seu contributo para o estudo da Acústica das Casas de Fado.

***Obrigatório**

Indique o seu nome (facultativo)

Mesmo que coloque o seu nome o tratamento da informação será efetuado de forma a manter sigilo sobre a proveniência das respostas dadas.

Indique a classe em que se insere *

- Fadista
- Músico de Fado
- Conhecedor de Fado
- Outra:

Qual a importância que atribui à Acústica das Casas de Fado? *

- Nada Importante
- Pouco Importante
- Importante
- Muito Importante

Das Casas de Fado que conhece indique pelo menos 1 e no máximo 3 que considere terem Más condições acústicas e, em cada caso, a principal razão da escolha (ruído exterior, ruído interior, reverberação, outra razão).

Casa 1 com Más Condições Acústicas *

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 1 *

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Casa 2 com Más condições acústicas (Facultativo)

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 2

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Casa 3 com Más condições acústicas (Facultativo)

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 3

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação

Outra:

Das Casas de Fado que conhece indique pelo menos 1 e no máximo 3 que considere terem Médias condições acústicas e, em cada caso, a principal razão da escolha (ruído exterior, ruído interior, reverberação, outra razão).

Casa 1 com Médias condições acústicas *

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 1 *

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Casa 2 com Médias condições acústicas (Facultativo)

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 2

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Casa 3 com Médias condições acústicas (Facultativo)

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 3

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Das Casas de Fado que conhece indique pelo menos 1 e no máximo 3 que considere terem Boas condições acústicas e, em cada caso, a principal razão da escolha (ruído exterior, ruído interior, reverberação, outra razão).

Casa 1 com Boas condições acústicas *

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 1 *

- Ruído Exterior
- Ruído Interior
- Reverberação
- Outra:

Casa 2 com Boas condições acústicas (Facultativo)

Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 2

Ruído Exterior

Ruído Interior

Reverberação

Outra:

Casa 3 com Boas condições acústicas (Facultativo)
Se não souber o nome da Casa de Fado tente identificá-la o melhor possível

Principais razões de escolha da Casa 3

Ruído Exterior

Ruído Interior

Reverberação

Outra:

Tecnologia do [Google Docs](#)

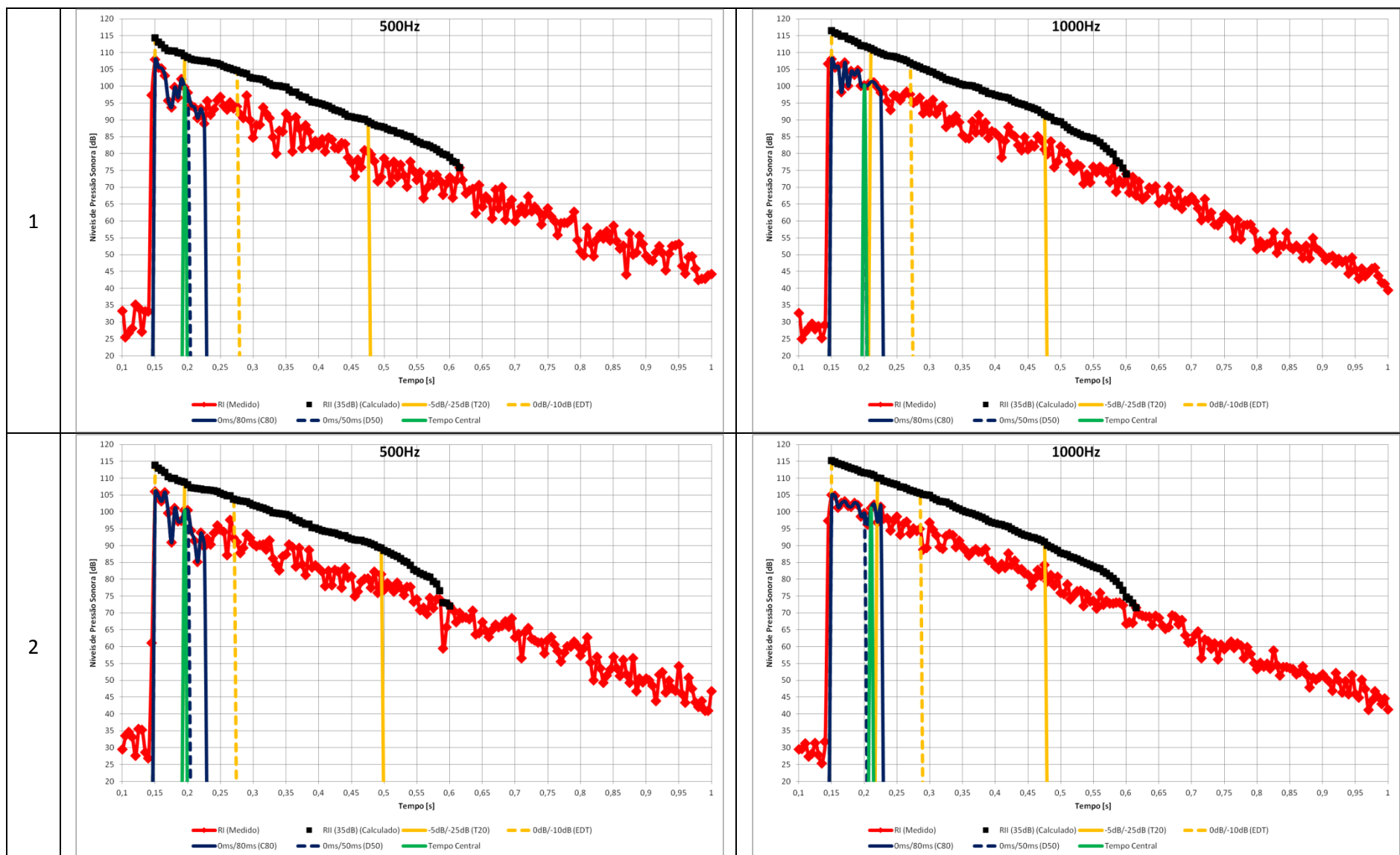
[Denunciar abuso](#) - [Termos de Utilização](#) - [Termos adicionais](#)

A.2 Respostas ao Questionário

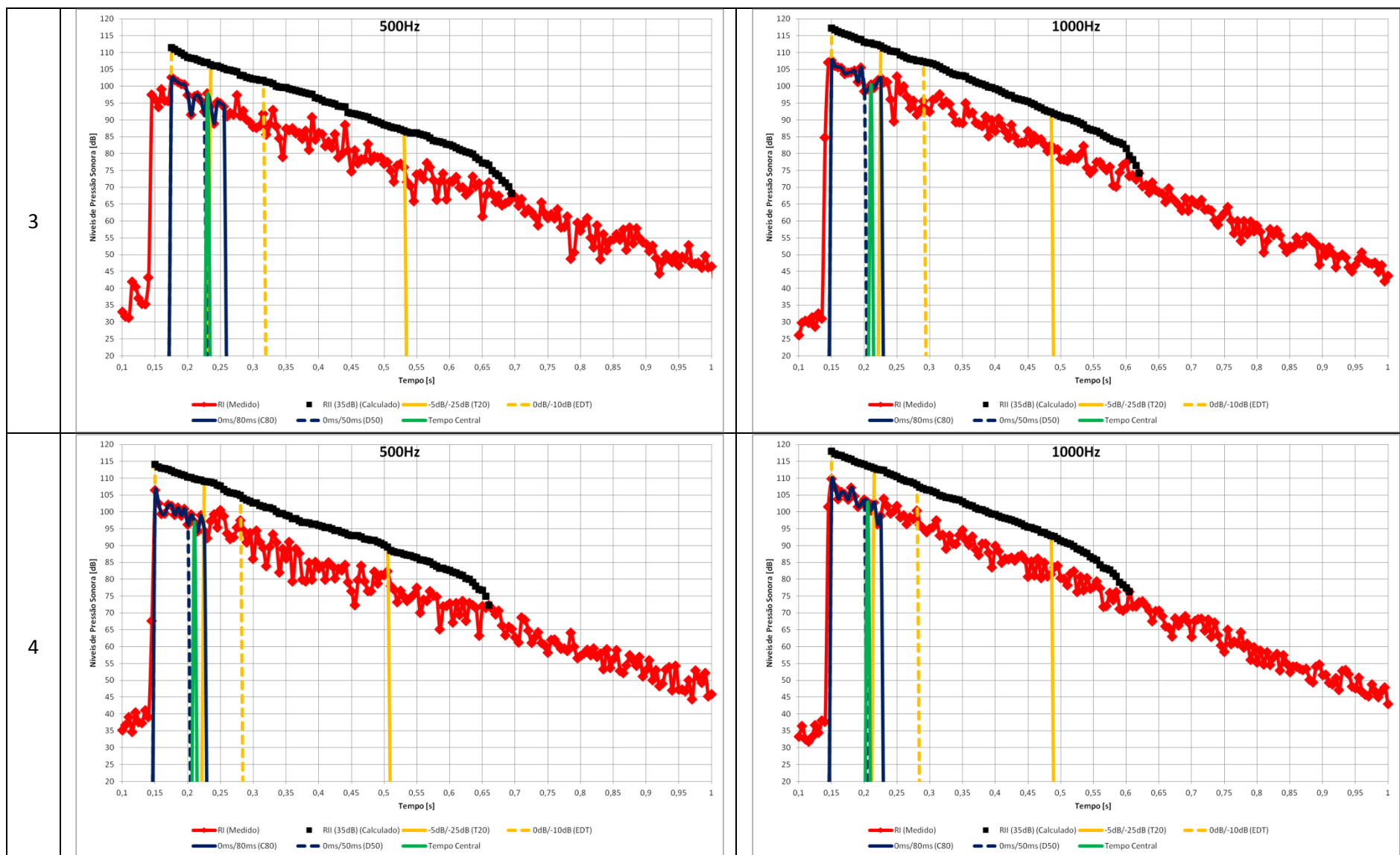
Perguntas	Respostas		
	1	2	3
Identificação da Pessoa	Sim	Não	Sim
Indique a classe em que se insere	Fadista	Compositor	Conhecedor; Fadista
Qual a importância que atribui à Acústica das Casas de Fado?	Muito Importante	Muito Importante	Pouco Importante
Casa 1 com Más Condições Acústicas	Casa A	-	-
Principais razões de escolha da Casa 1	Ruído Exterior, Ruído Interior, Espaço ao ar livre	-	-
Casa 2 com Más condições acústicas	Casa B	-	-
Principais razões de escolha da Casa 2	Ruído Interior	-	-
Casa 3 com Más condições acústicas (Facultativo)	-	-	-
Principais razões de escolha da Casa 3	-	-	-
Casa 1 com Médias condições acústicas	Casa C	-	Casa J
Principais razões de escolha da Casa 1	Reverberação	-	Reverberação
Casa 2 com Médias condições acústicas	-	-	Casa K
Principais razões de escolha da Casa 2	-	-	Reverberação
Casa 3 com Médias condições acústicas (Facultativo)	-	-	-
Principais razões de escolha da Casa 3	-	-	-
Casa 1 com Boas condições acústicas	Casa D	Casa G	Casa G
Principais razões de escolha da Casa 1	Ruído Exterior, Ruído Interior, Reverberação	Reverberação	Reverberação
Casa 2 com Boas condições acústicas	Casa E	Casa H	-
Principais razões de escolha da Casa 2	Ruído Exterior, Ruído Interior, Reverberação	Ruído Exterior, Reverberação	-
Casa 3 com Boas condições acústicas (Facultativo)	Casa F	Casa I	-
Principais razões de escolha da Casa 3	Ruído Exterior, Ruído Interior, Reverberação	Reverberação Distribuição da sala (negativo)	-

A.3 Medições *in situ* Casa G

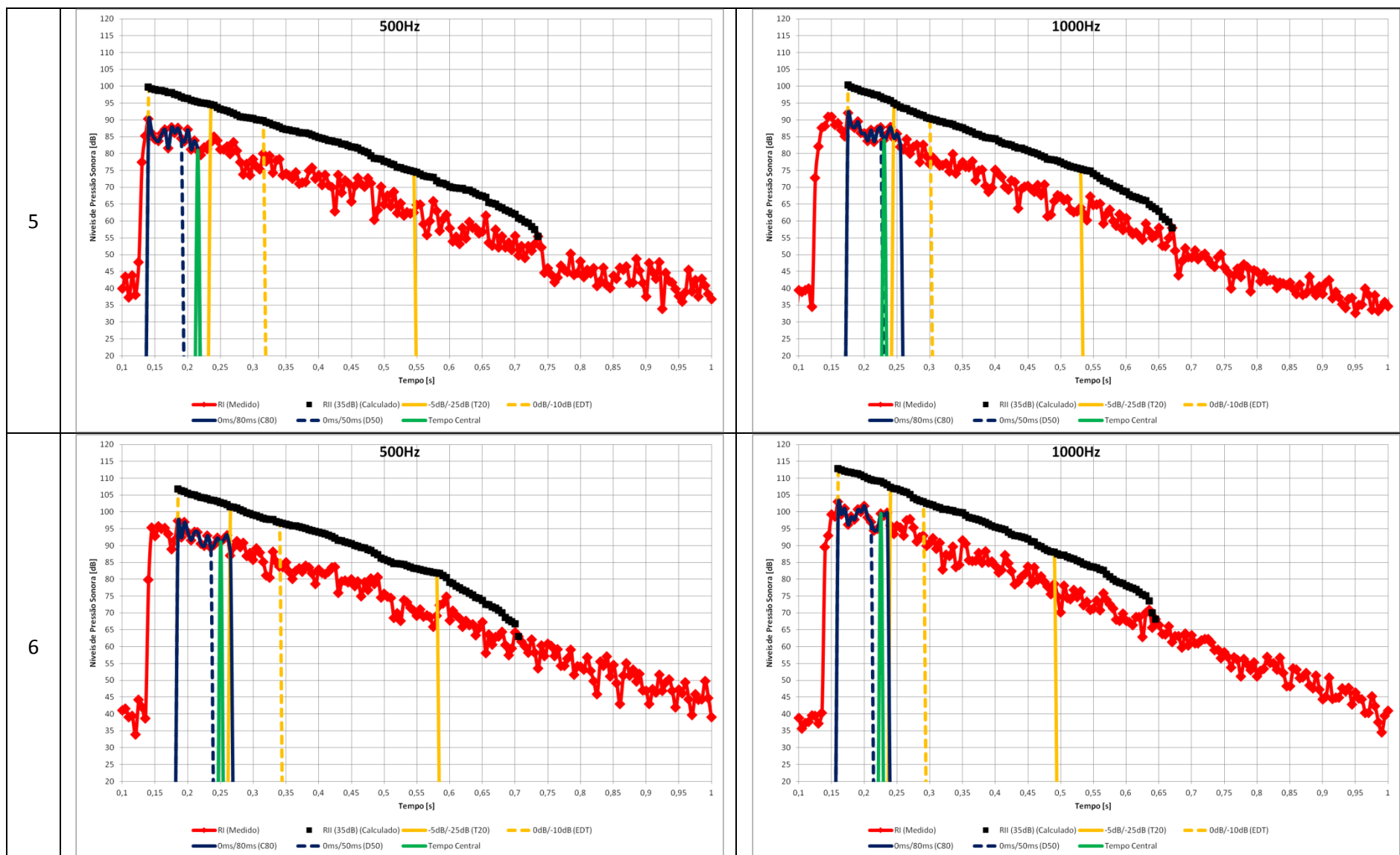
A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



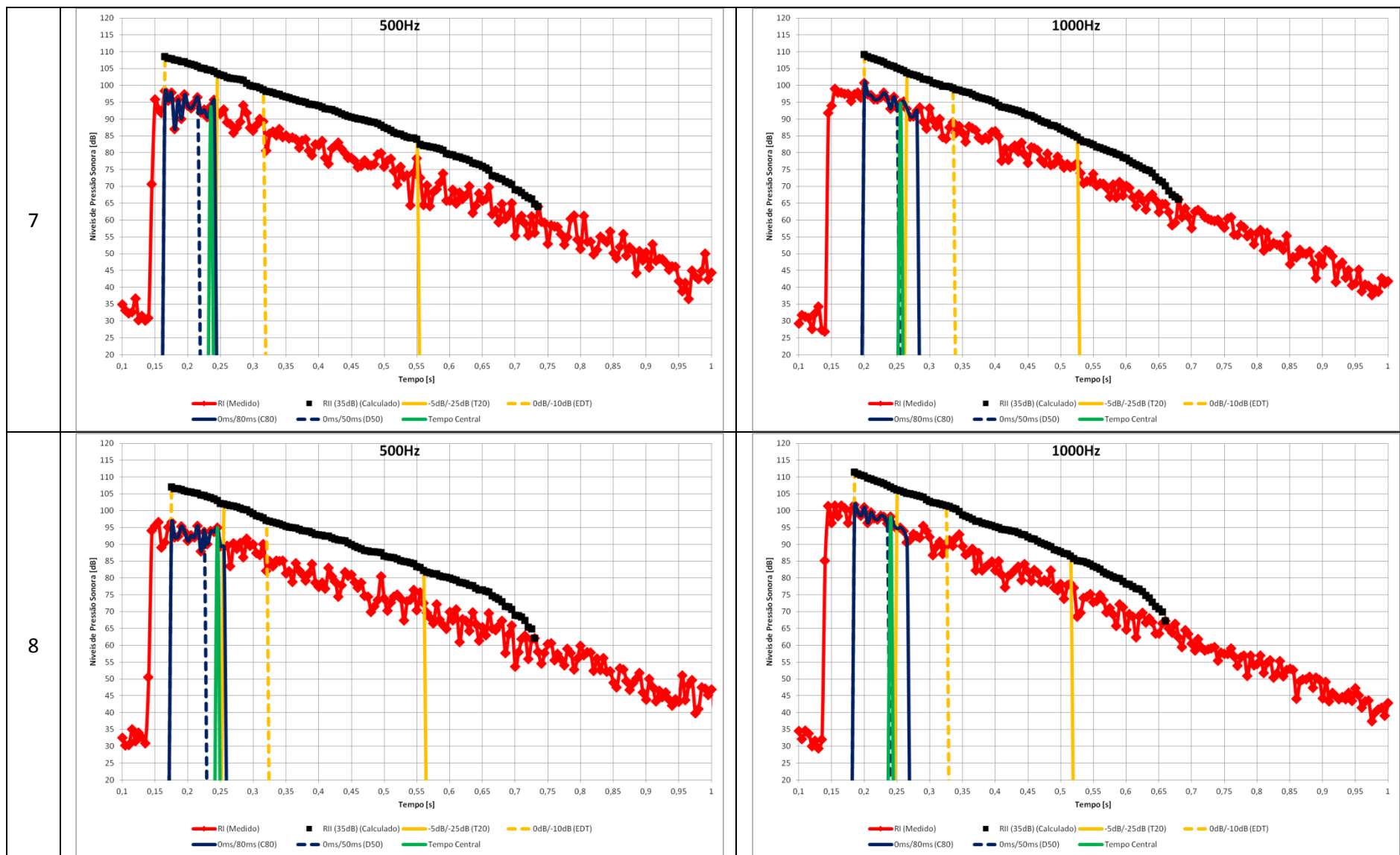
A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



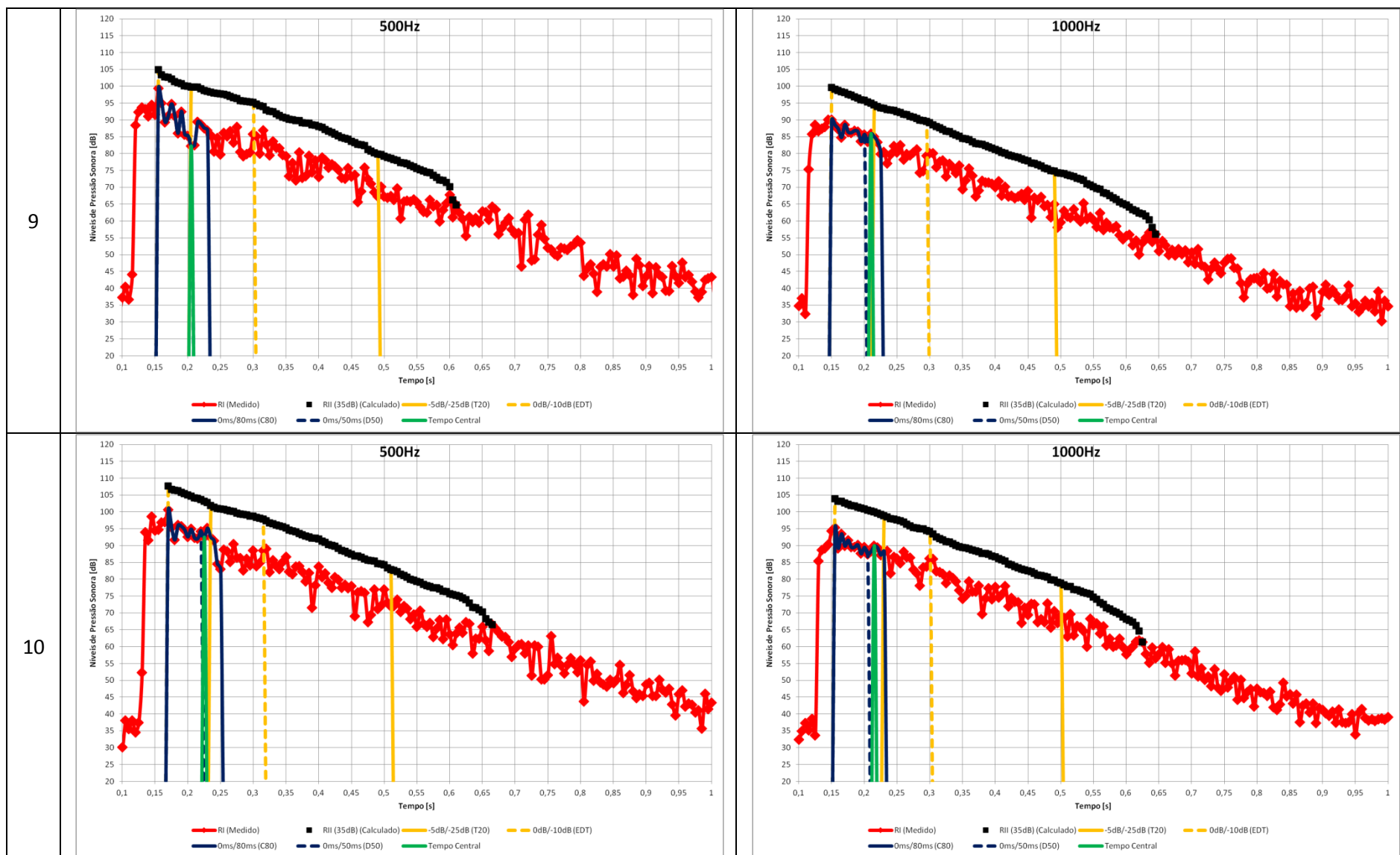
A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



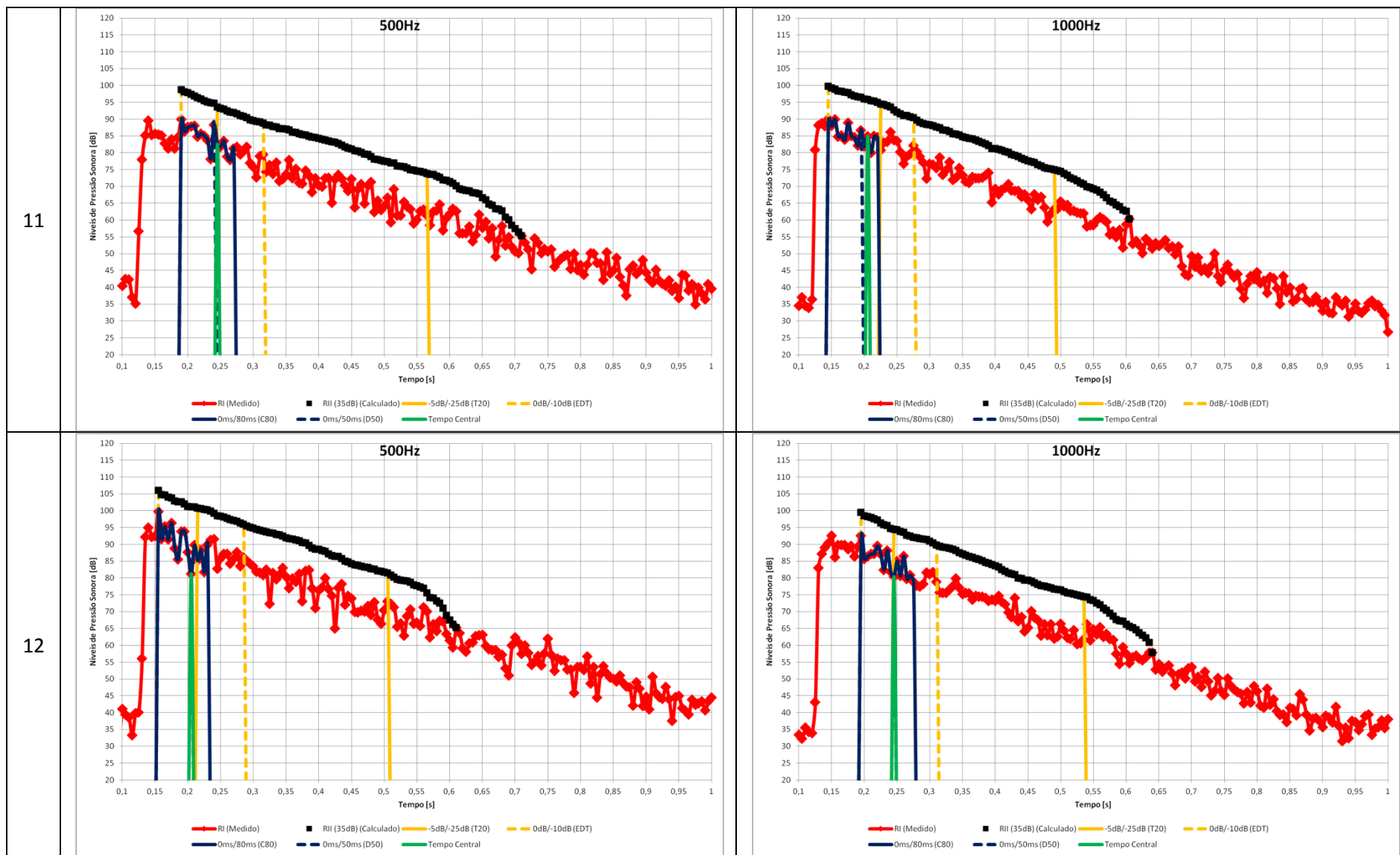
A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



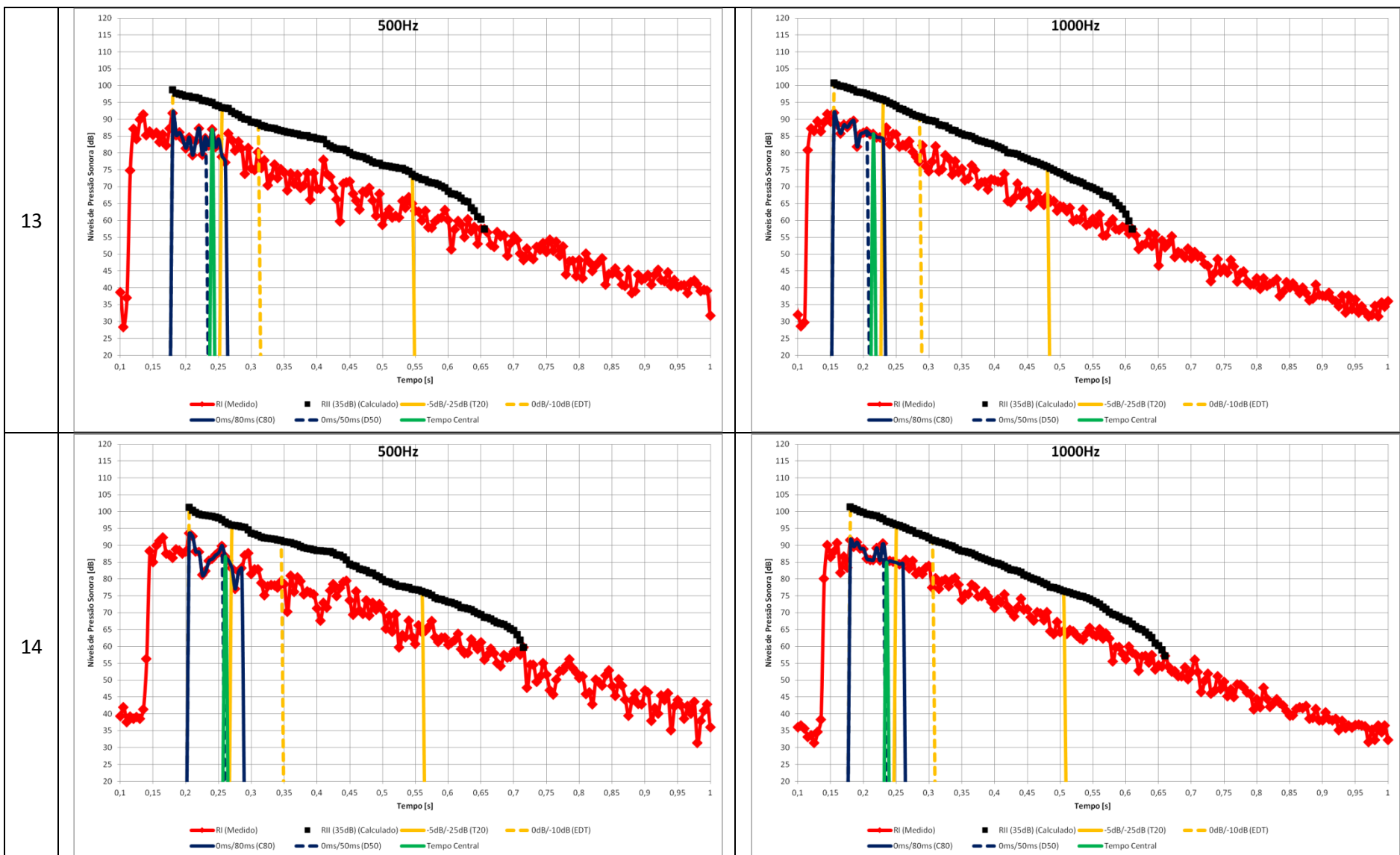
A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

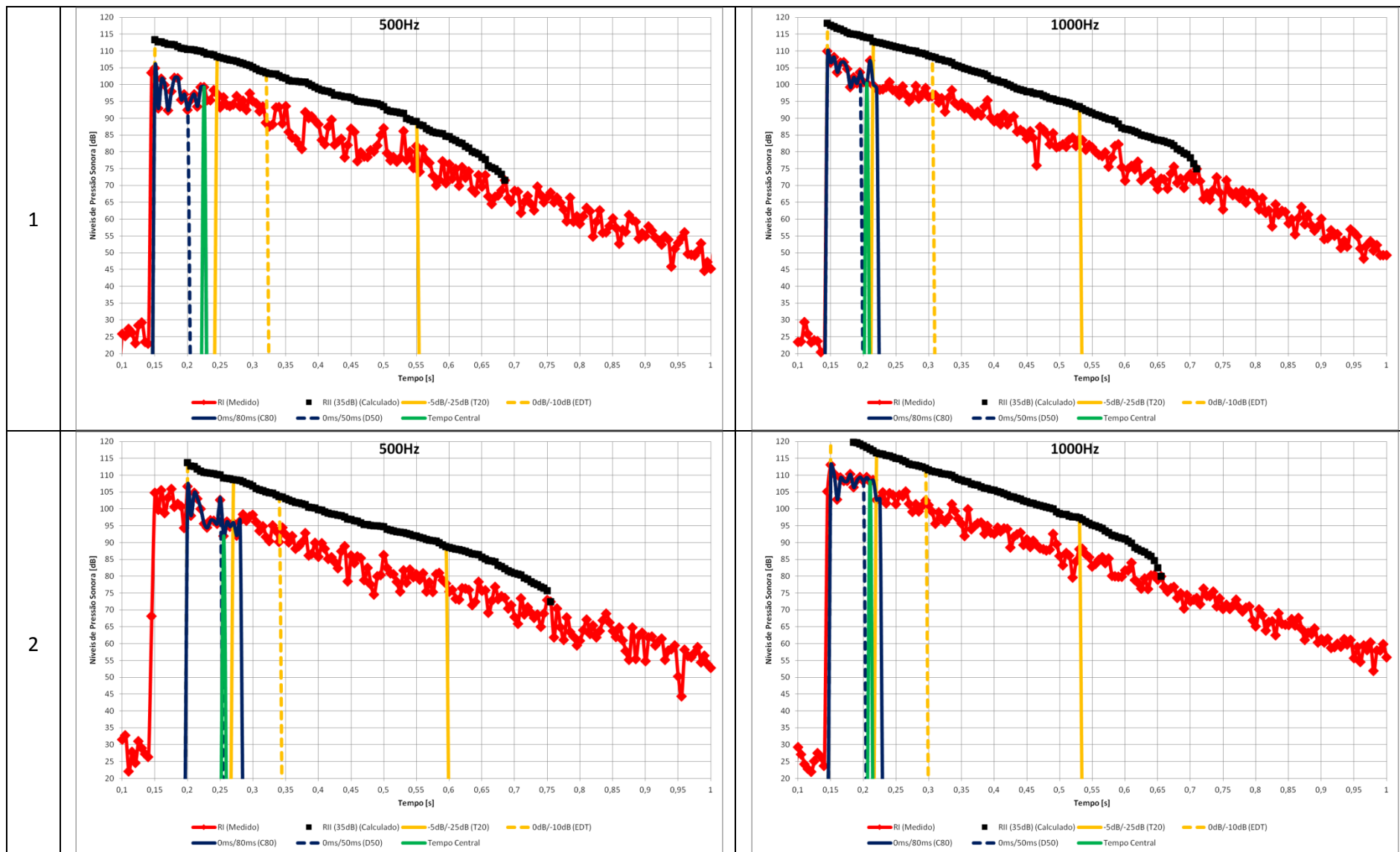


A.3 Medições *in situ* Casa G (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

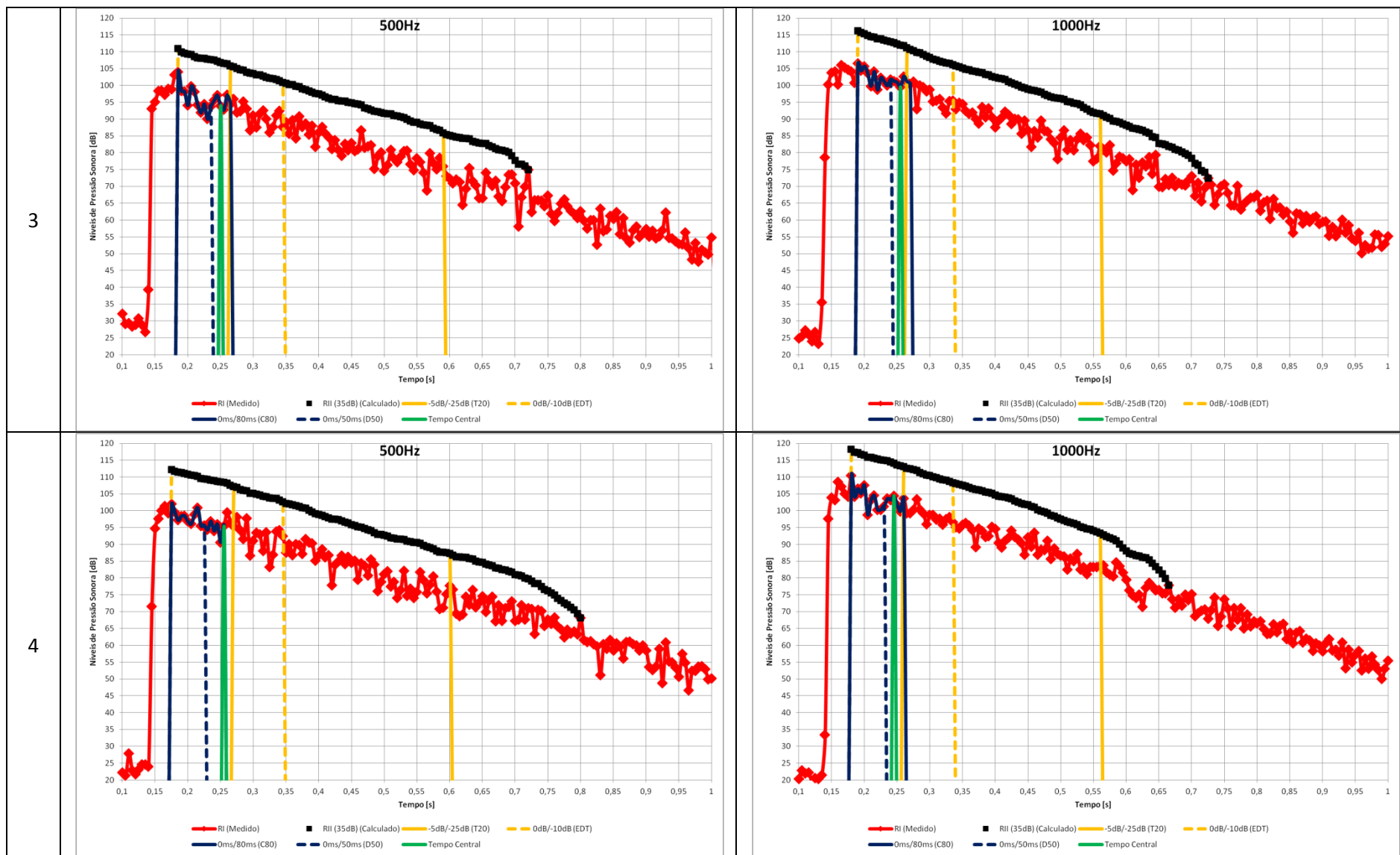


A.4 Medições *in situ* Casa H

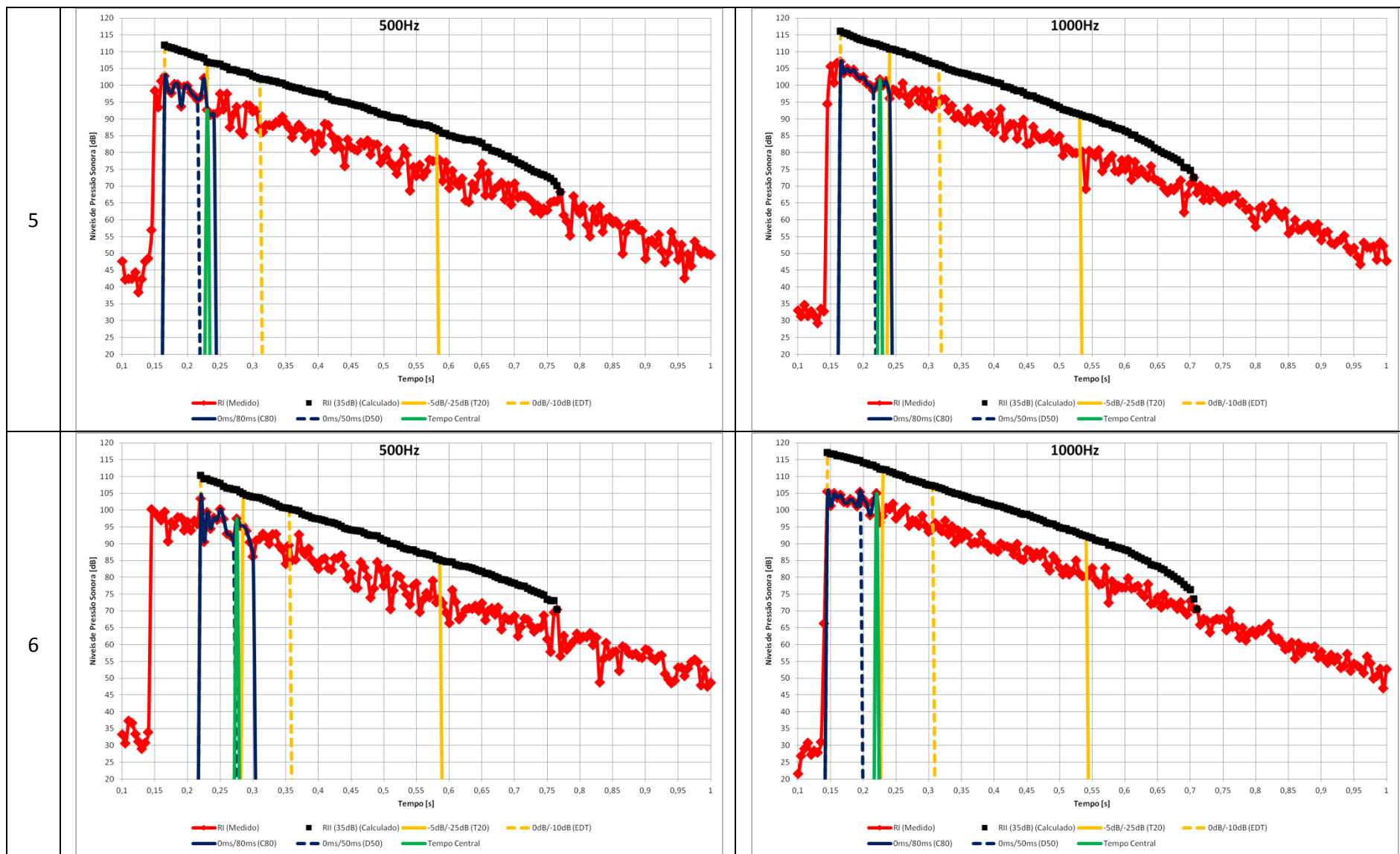
A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



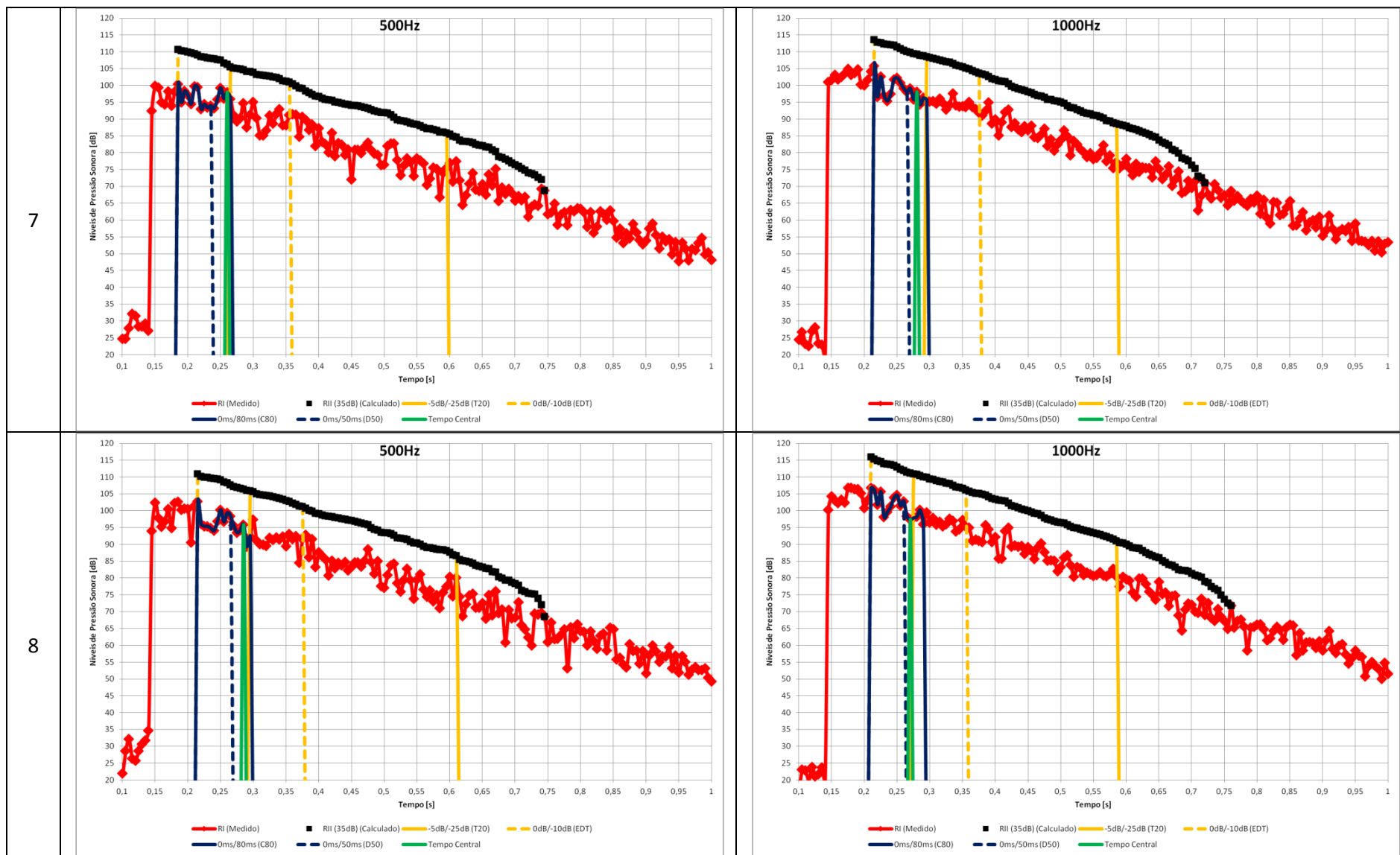
A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



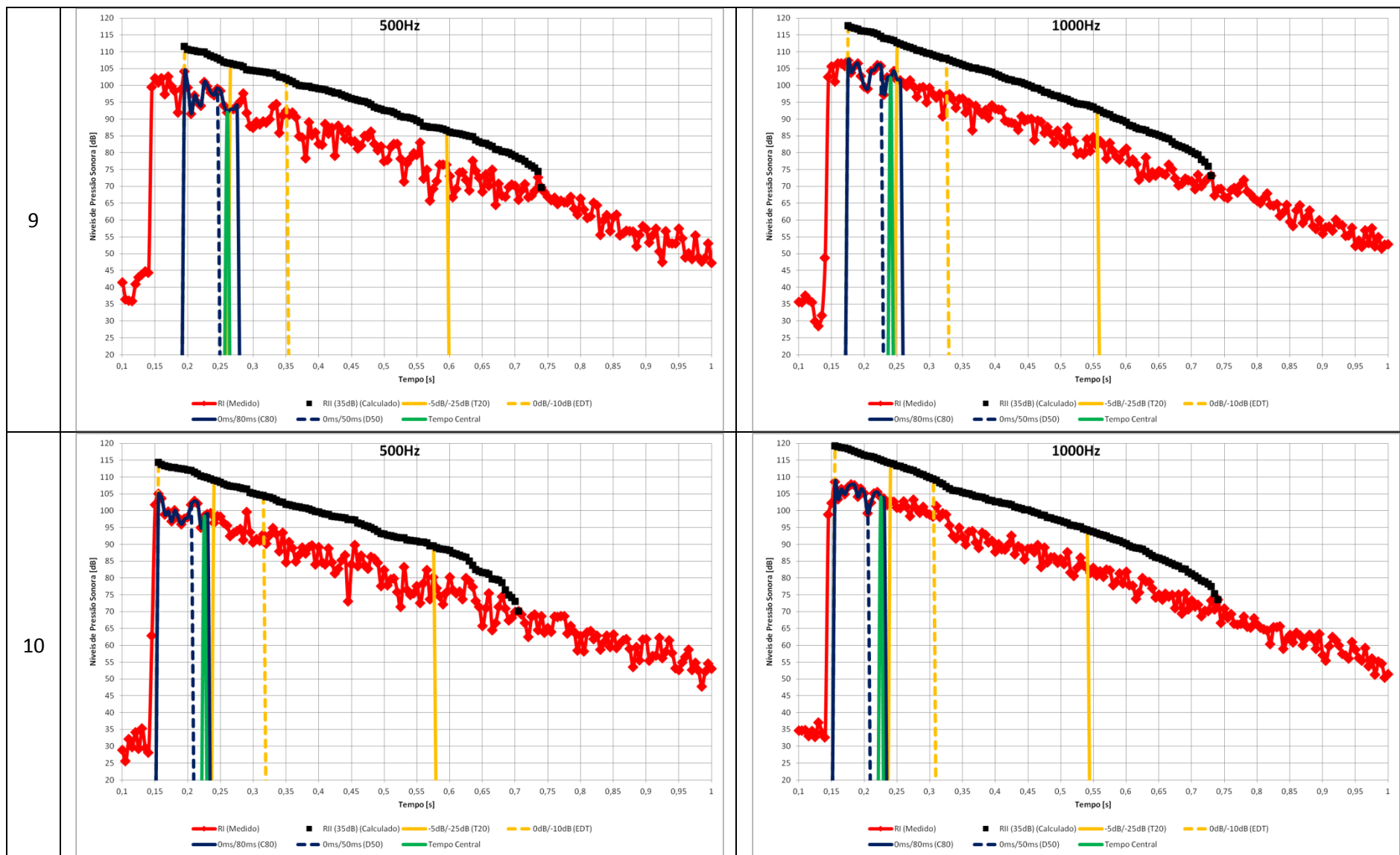
A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



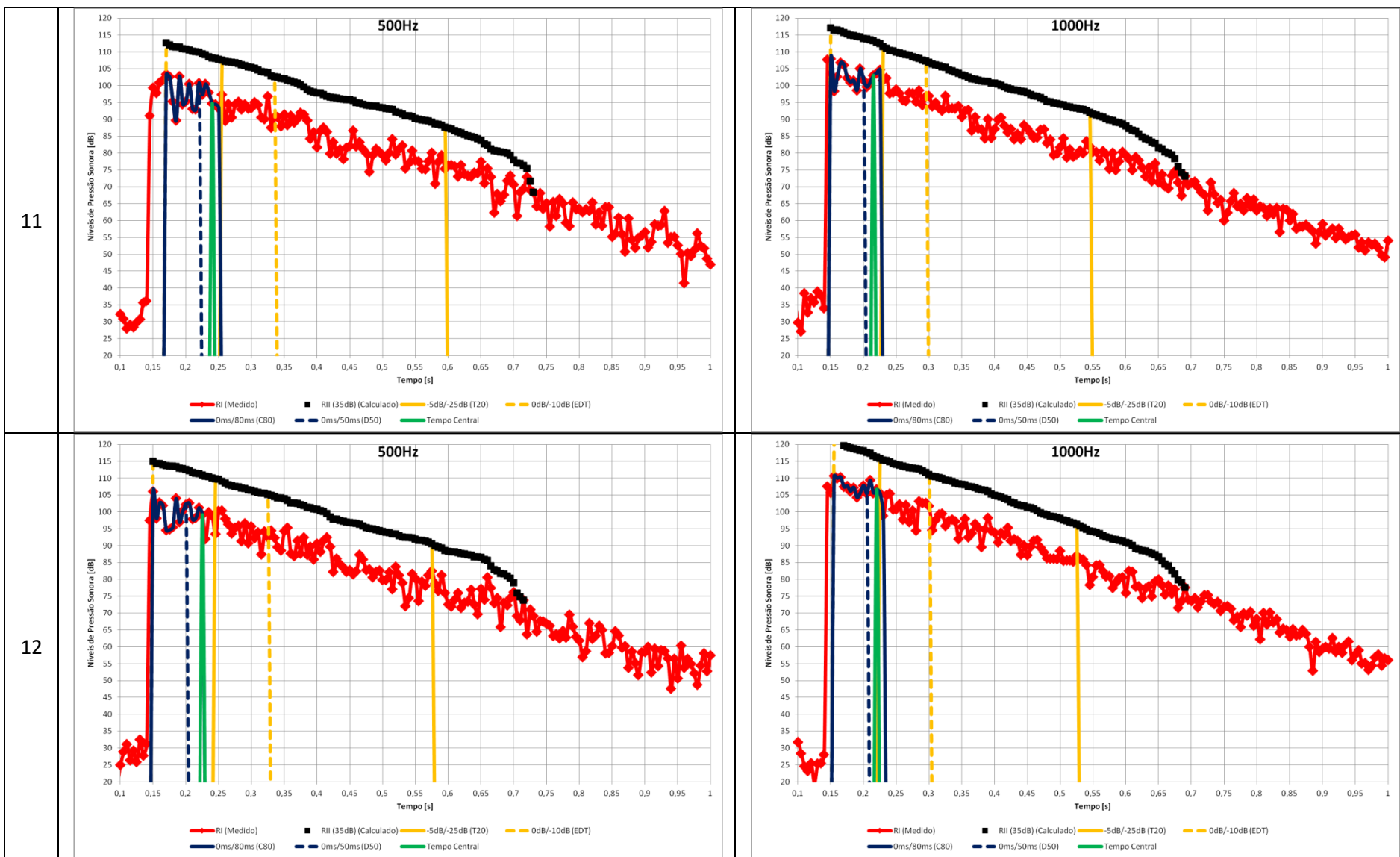
A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



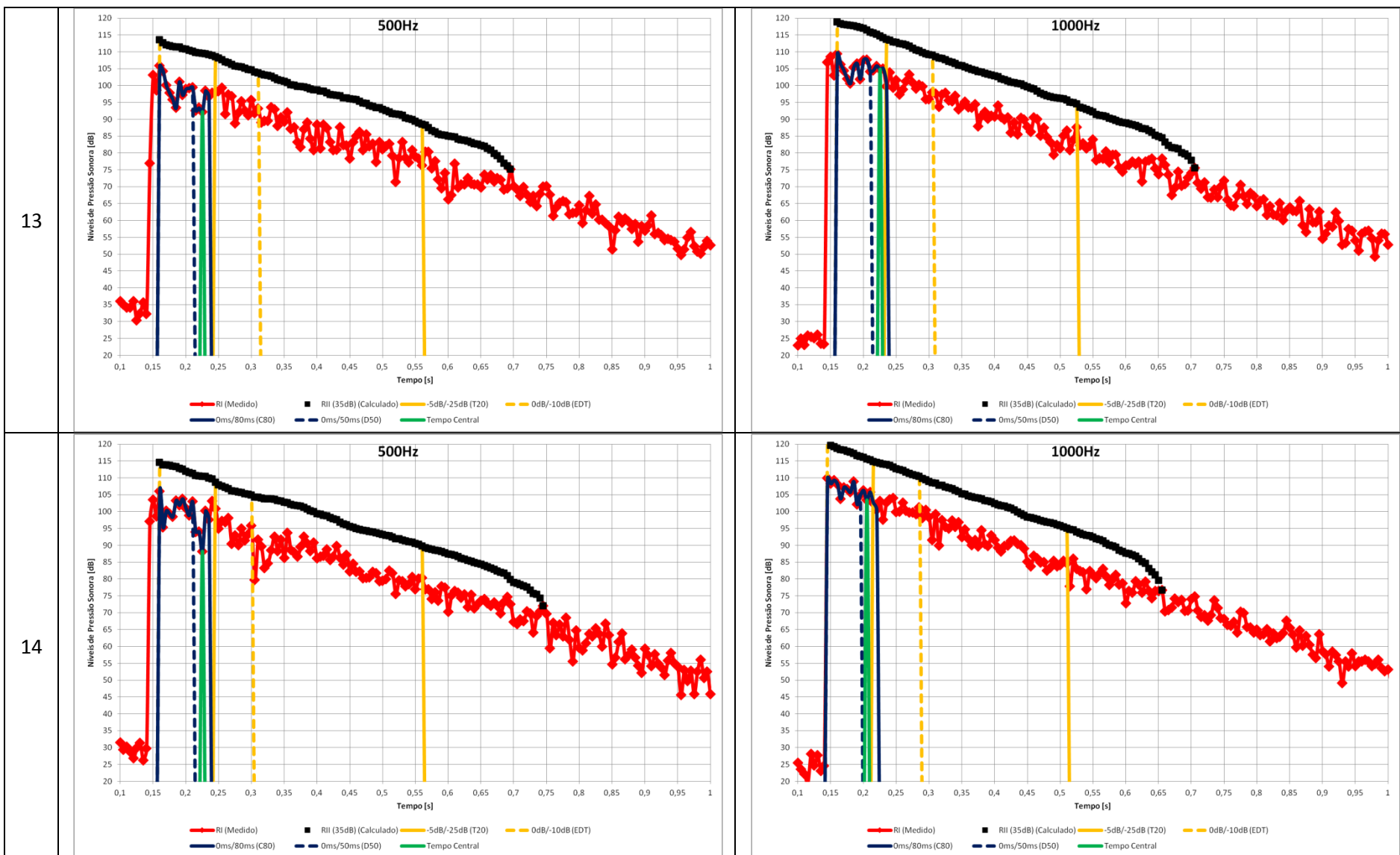
A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

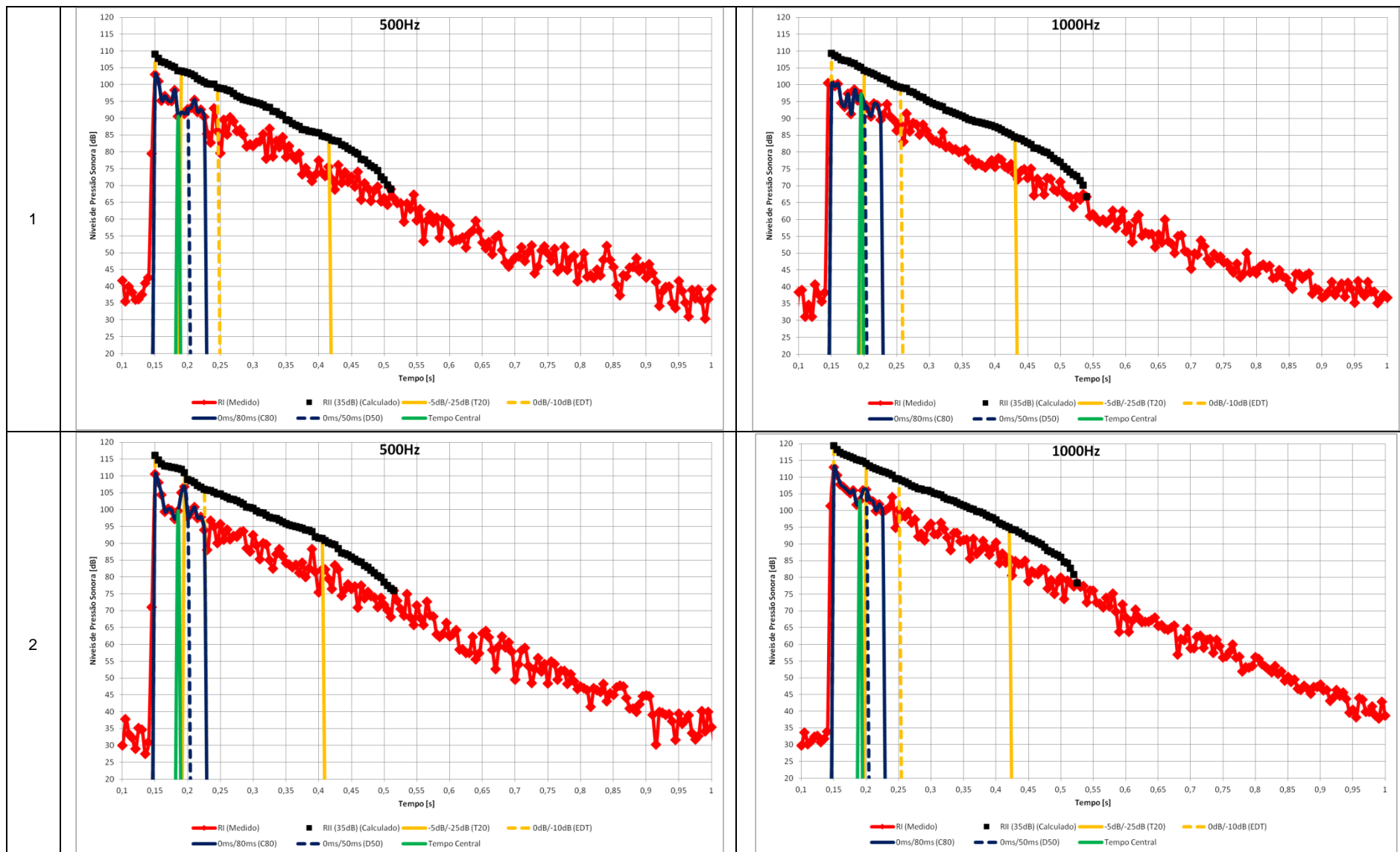


A.4 Medições *in situ* Casa H (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

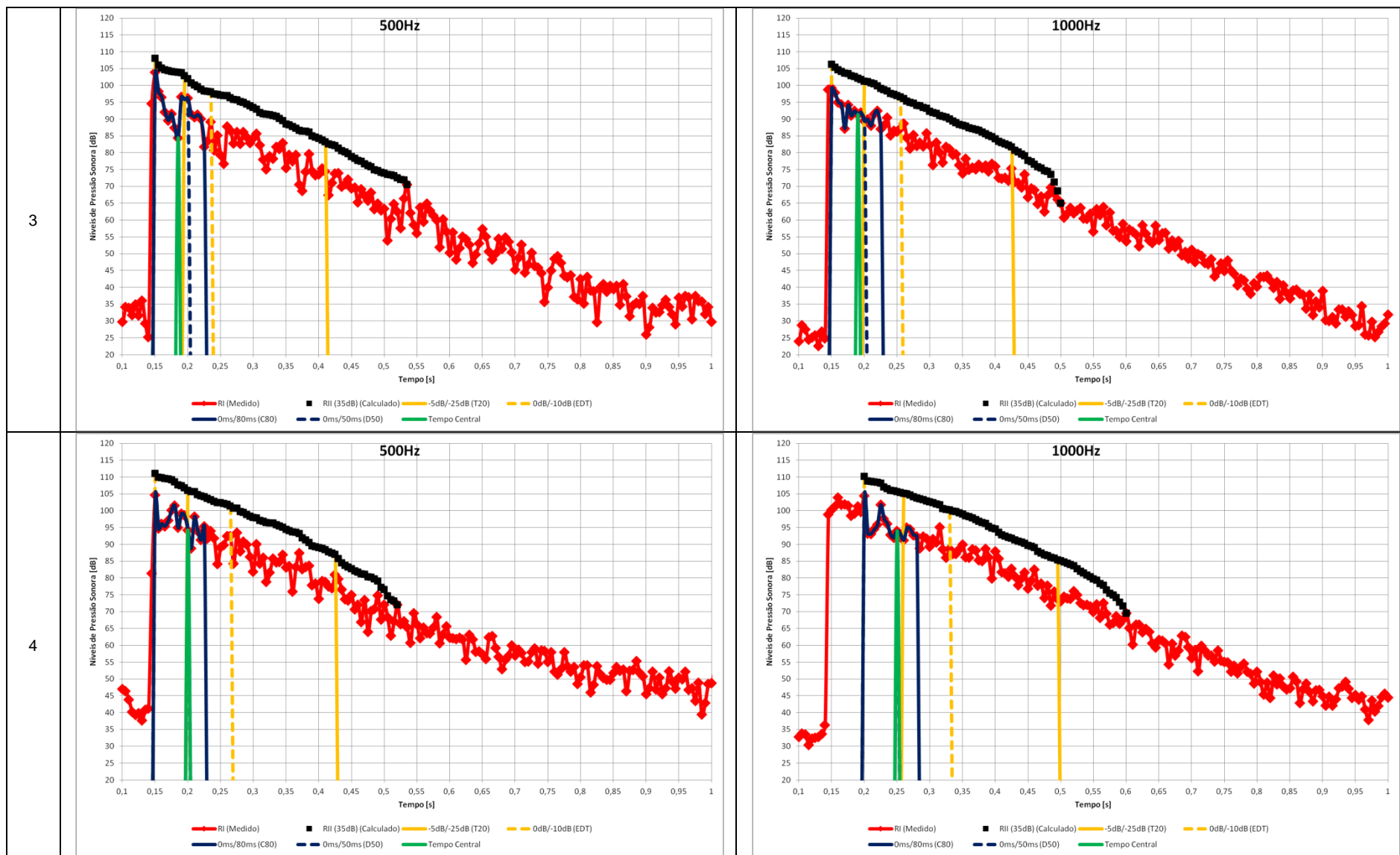


A.5 Medições *in situ* Casa I

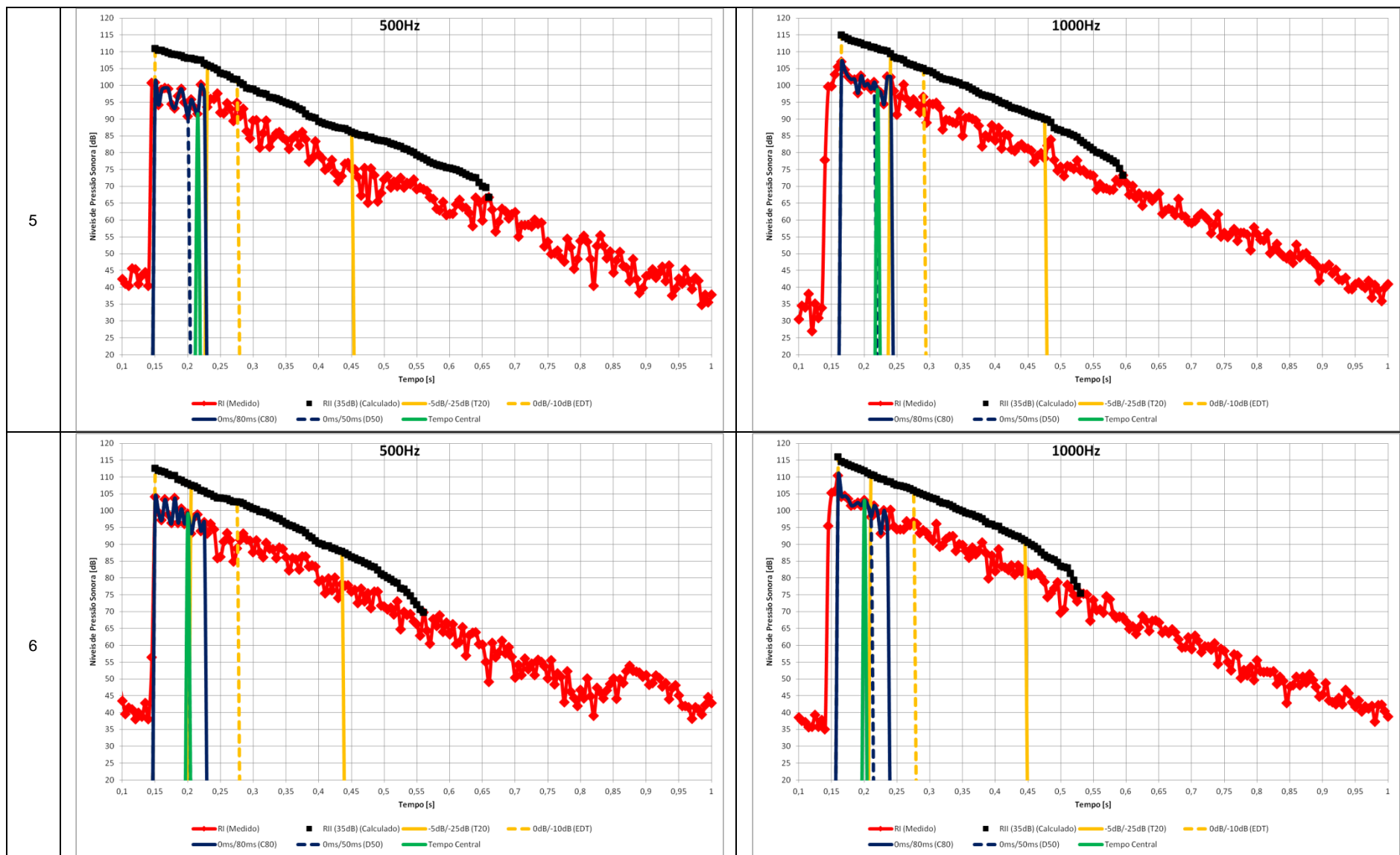
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



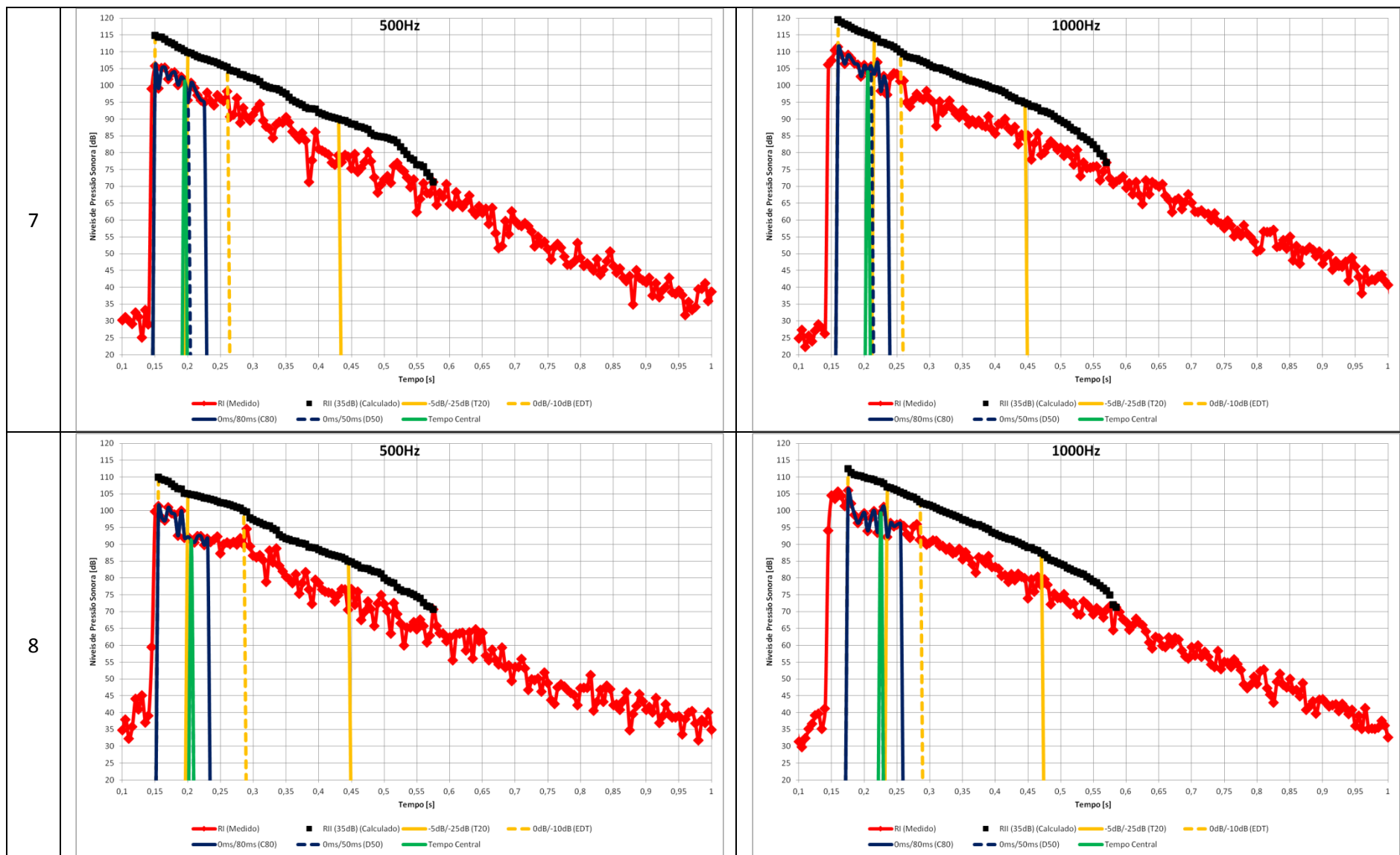
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



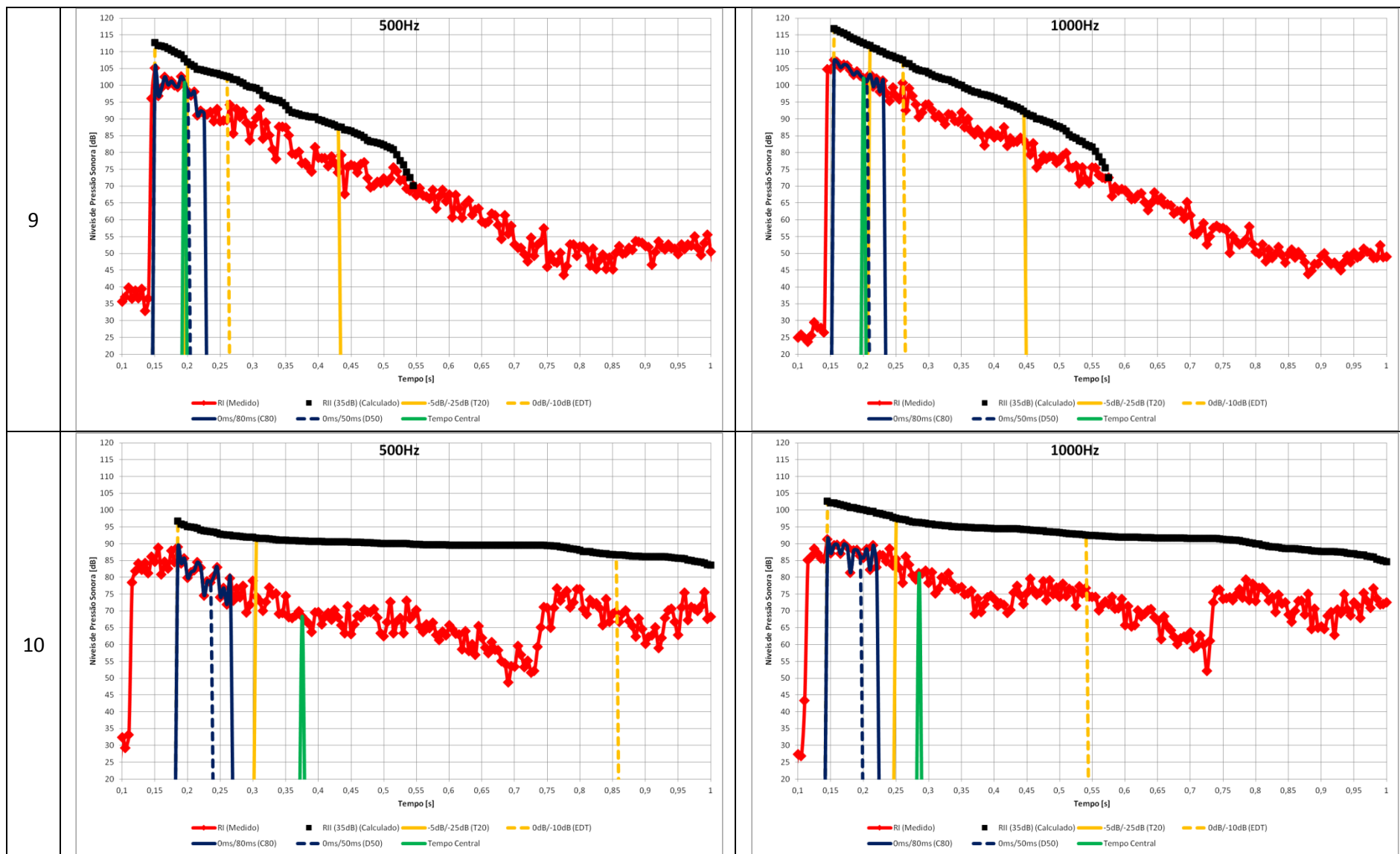
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



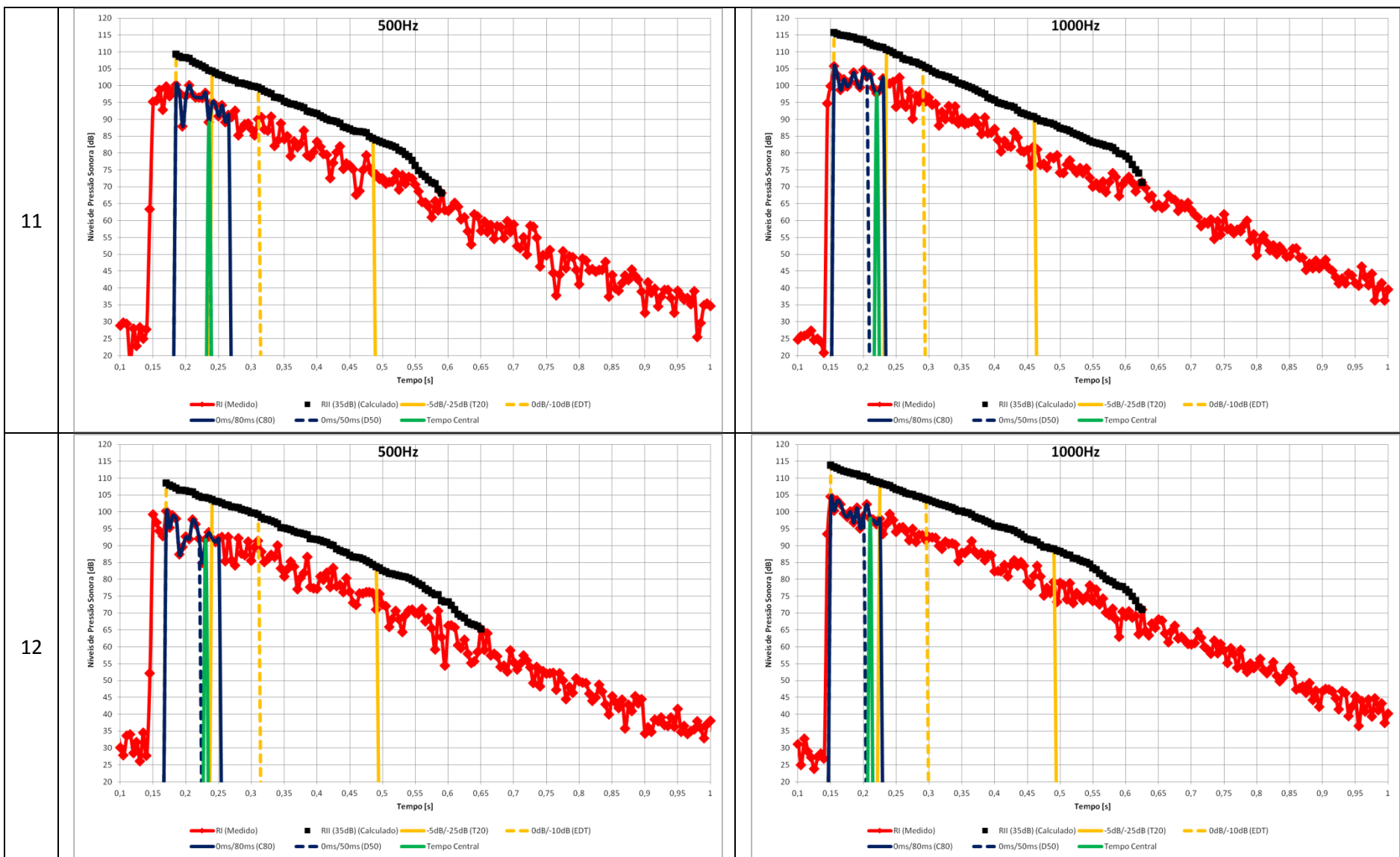
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



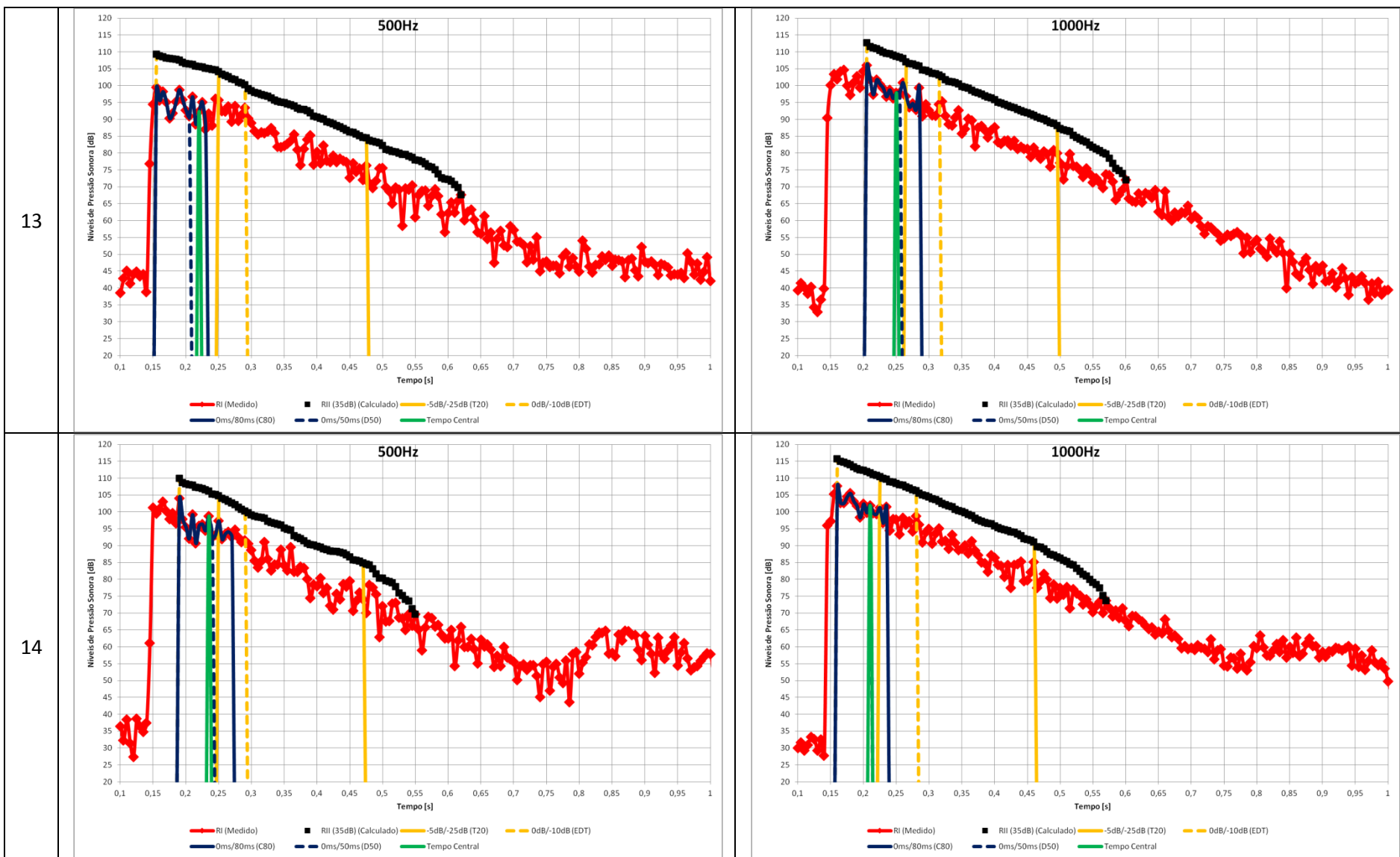
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



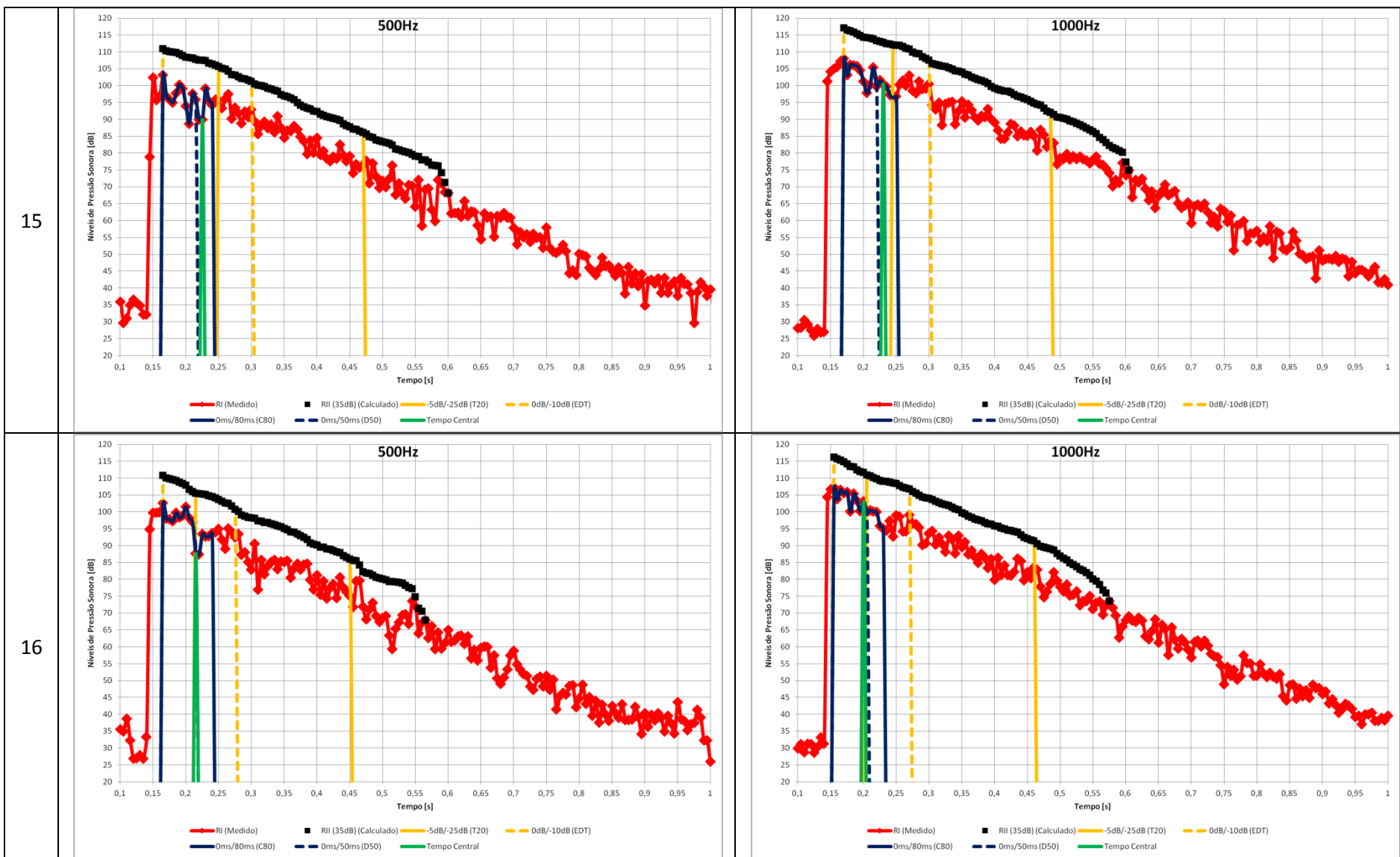
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



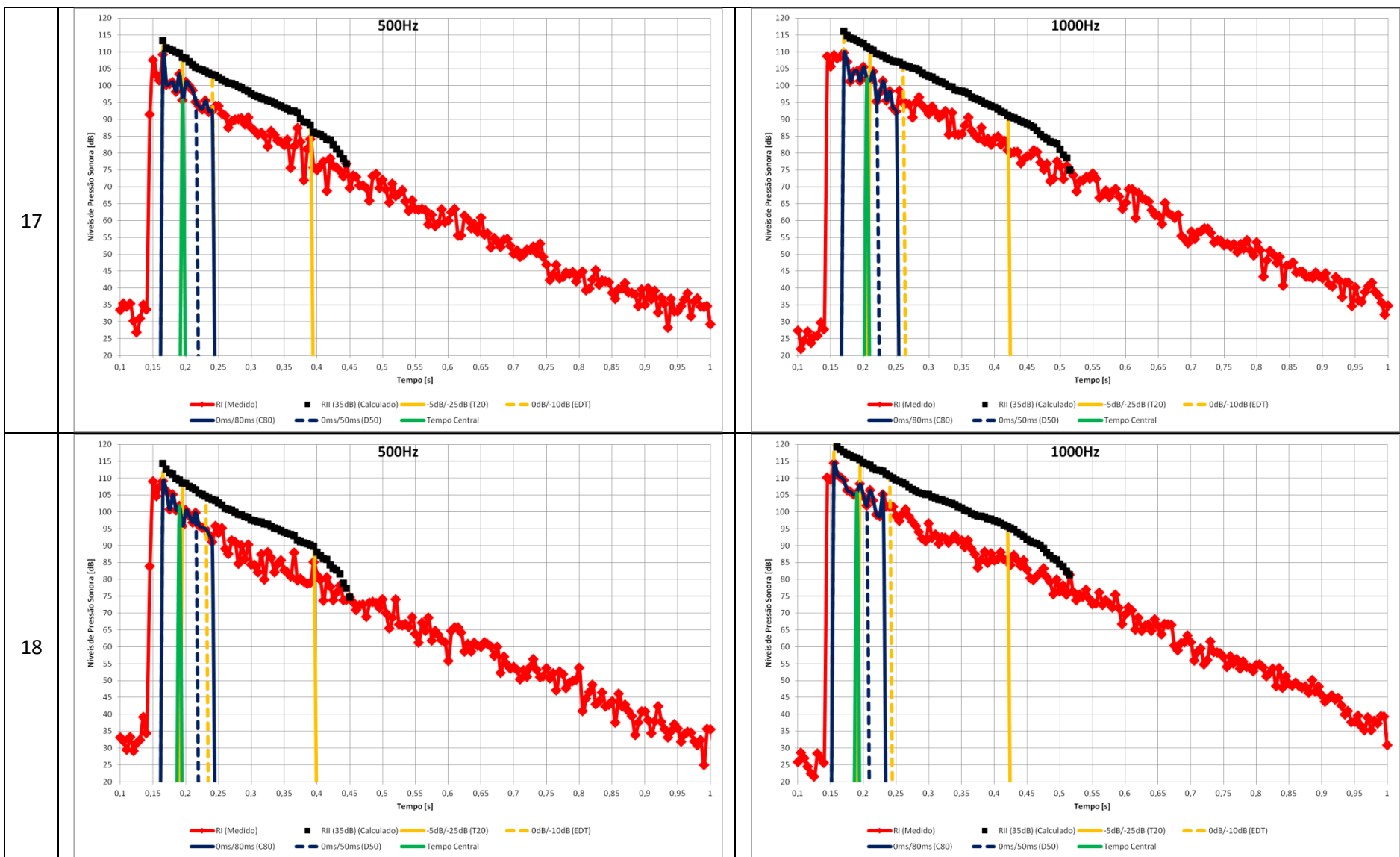
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



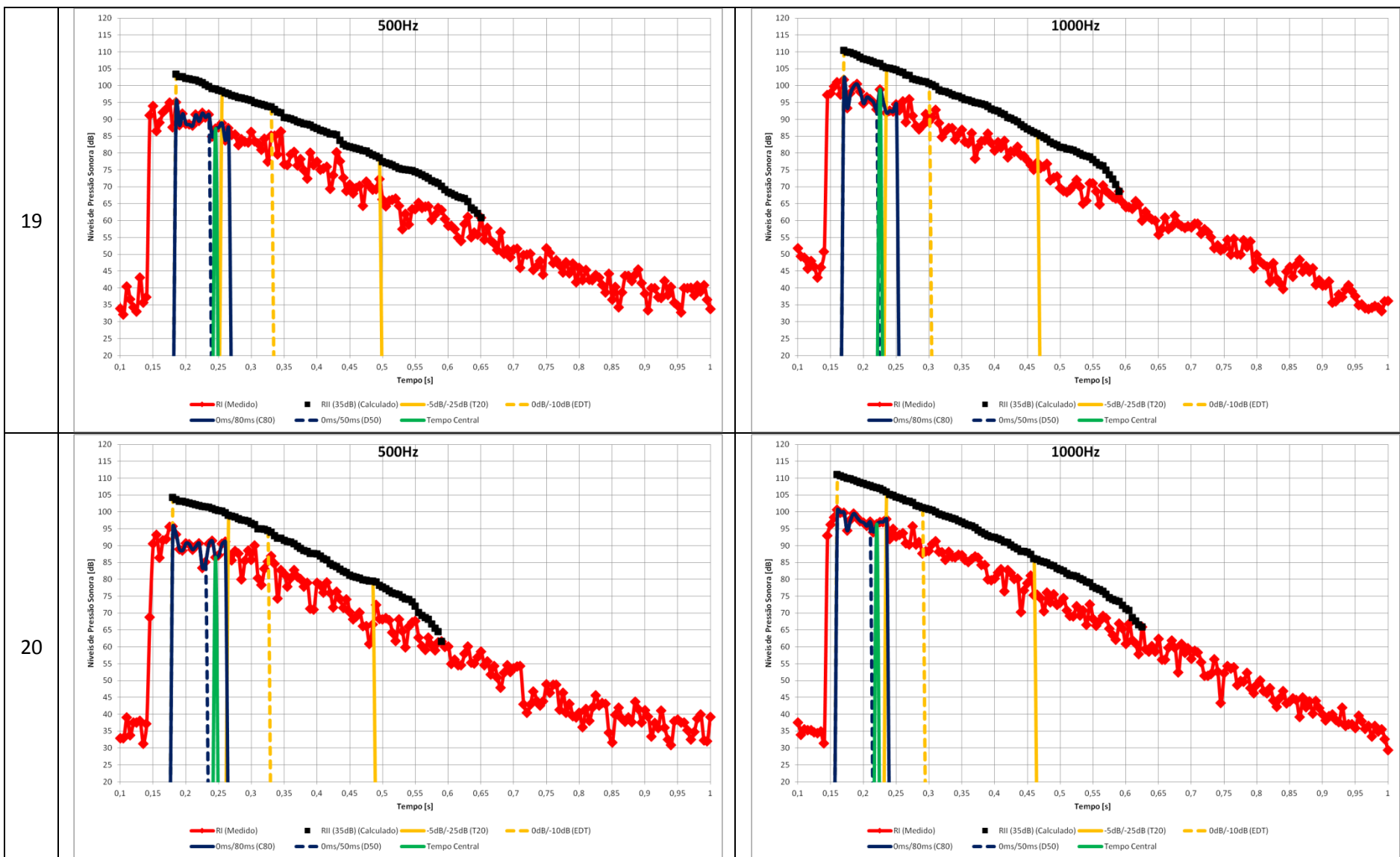
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



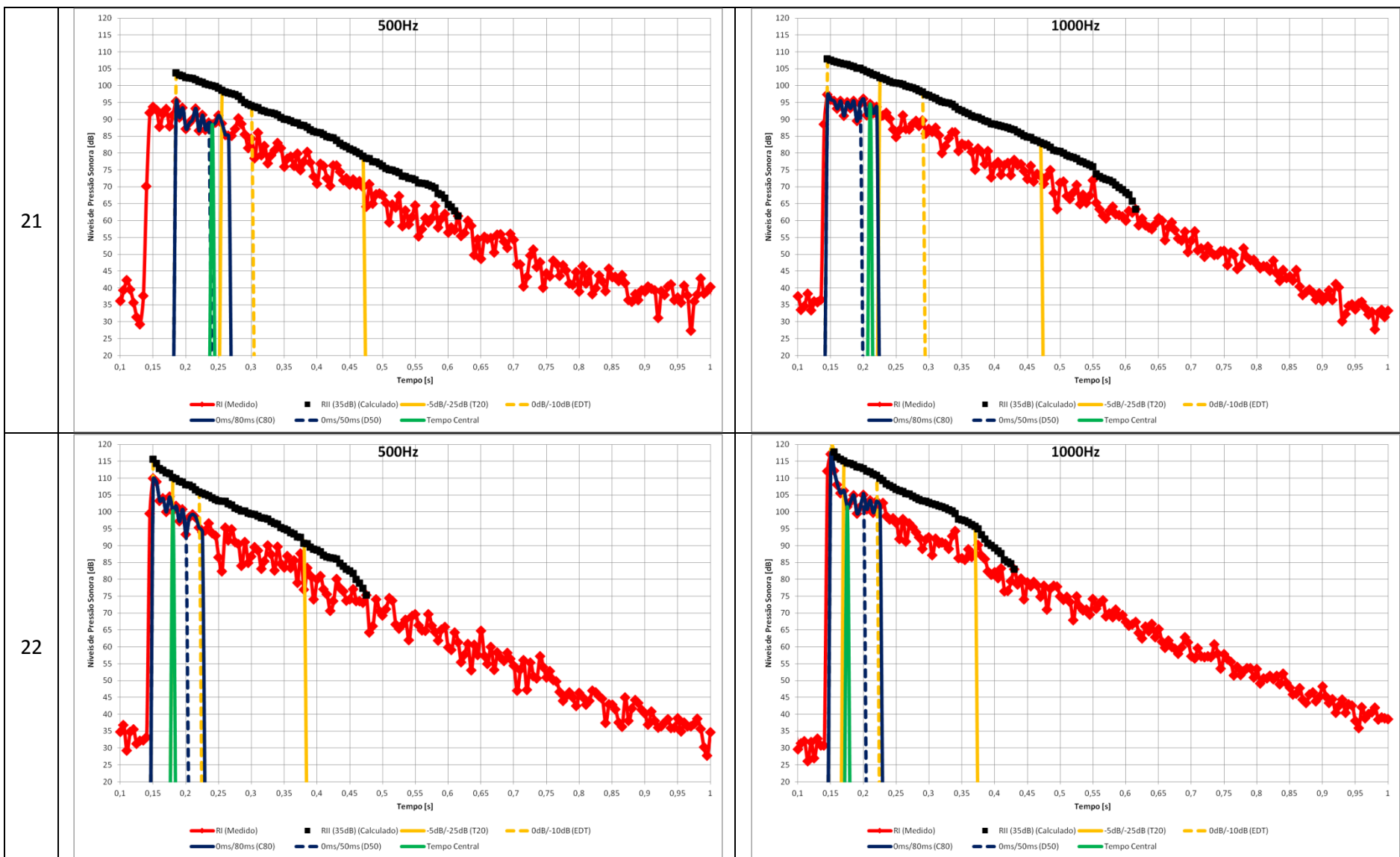
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



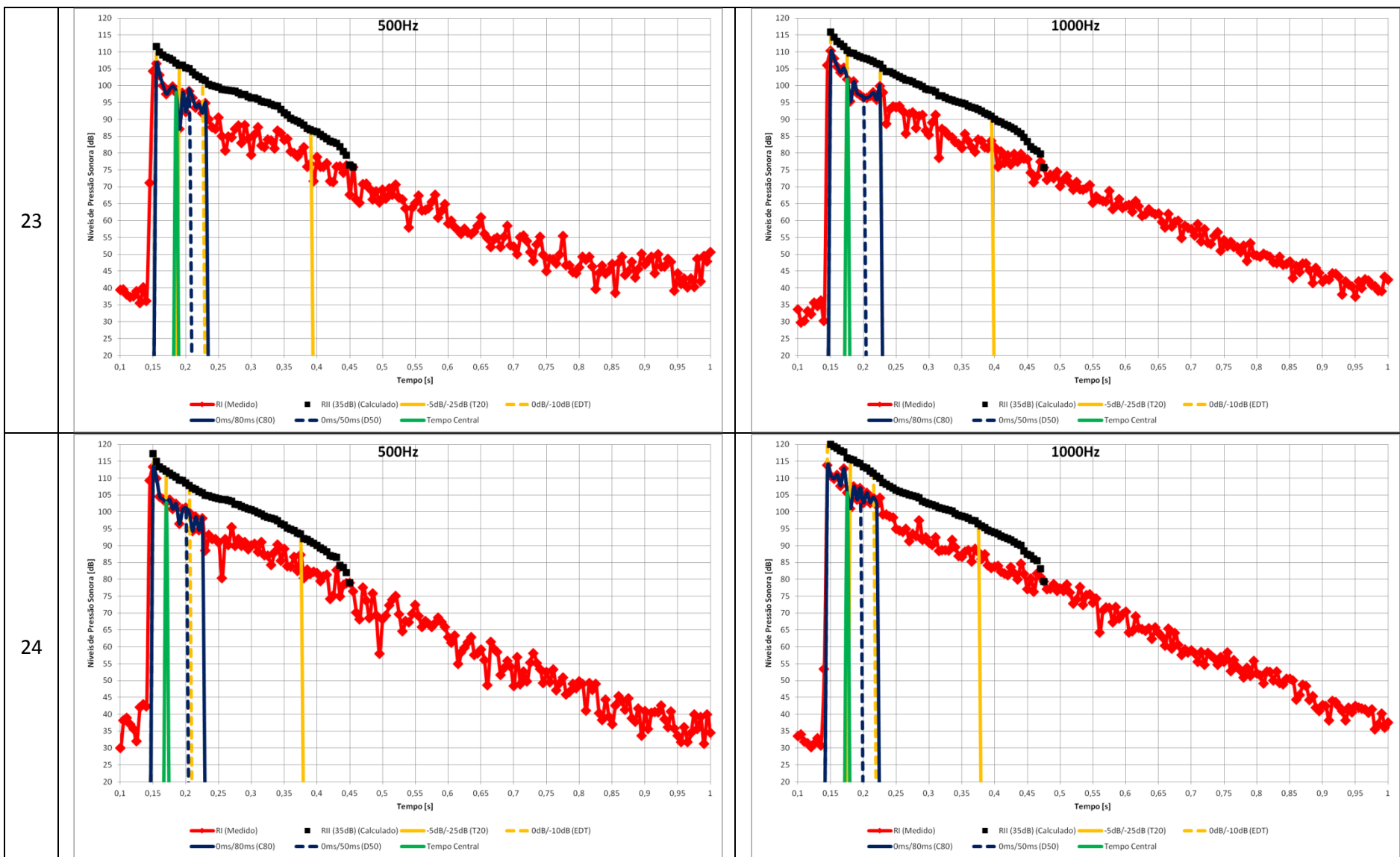
A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

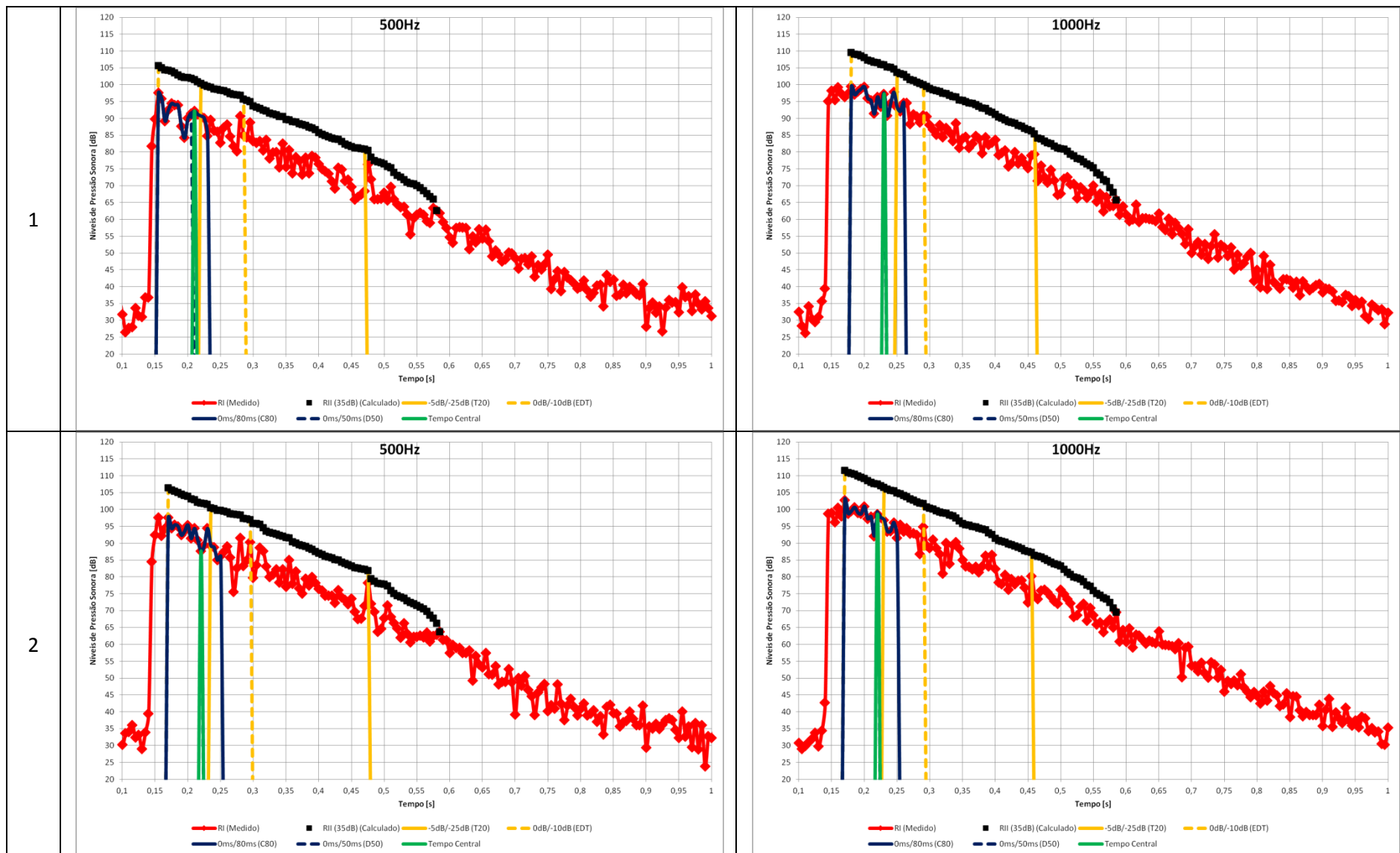


A.5 Medições *in situ* Casa I (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

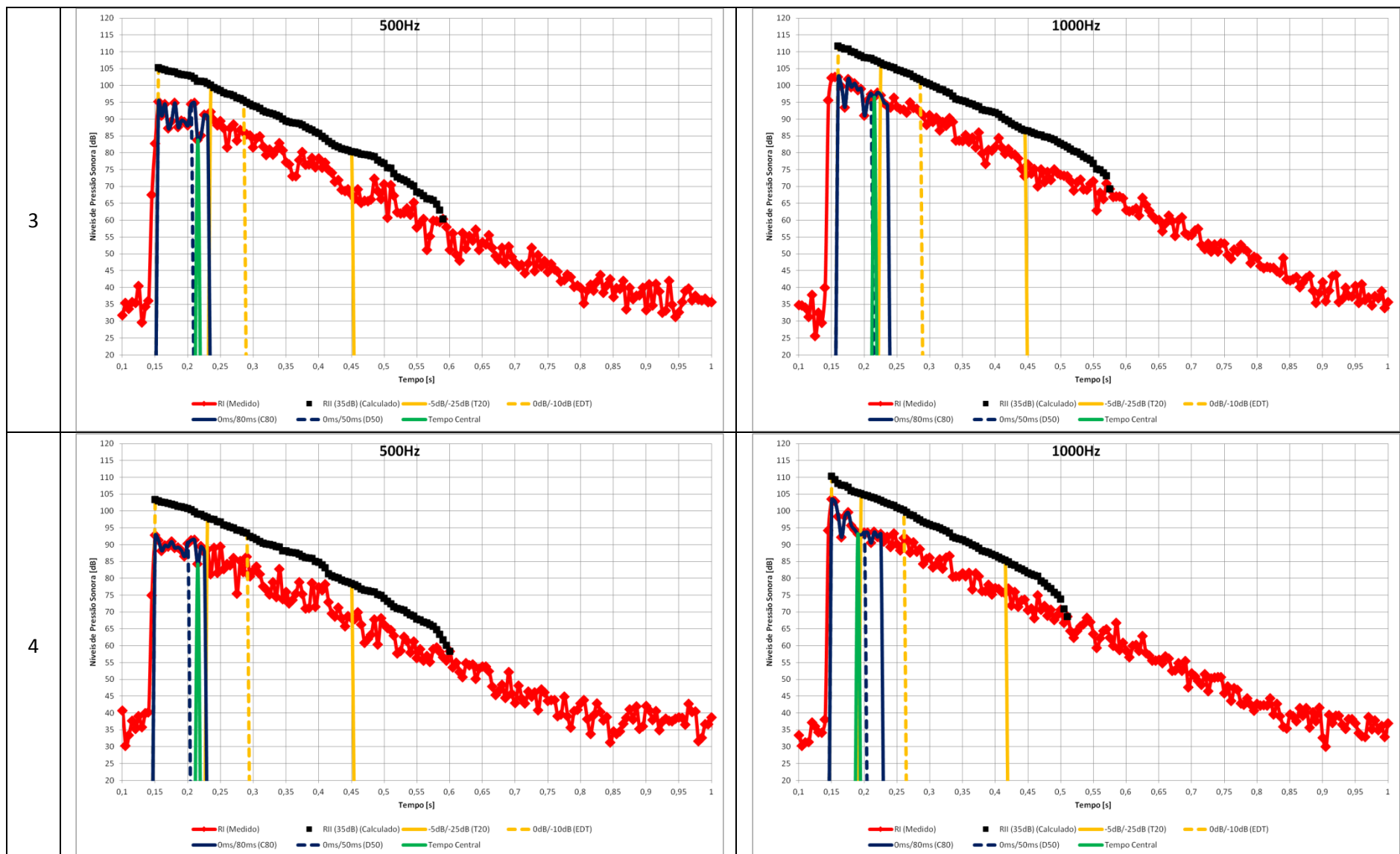


A.6 Medições *in situ* Casa J

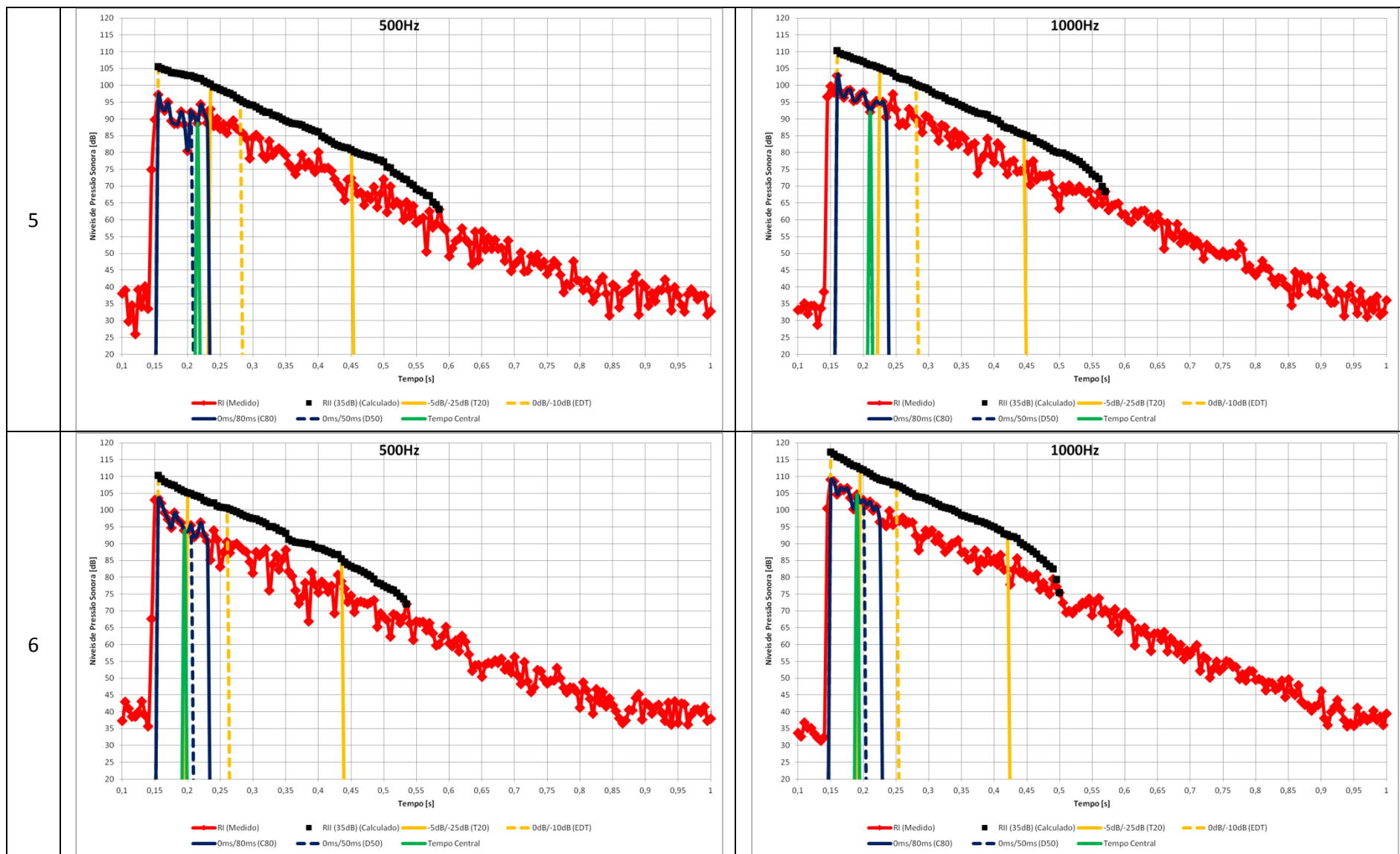
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



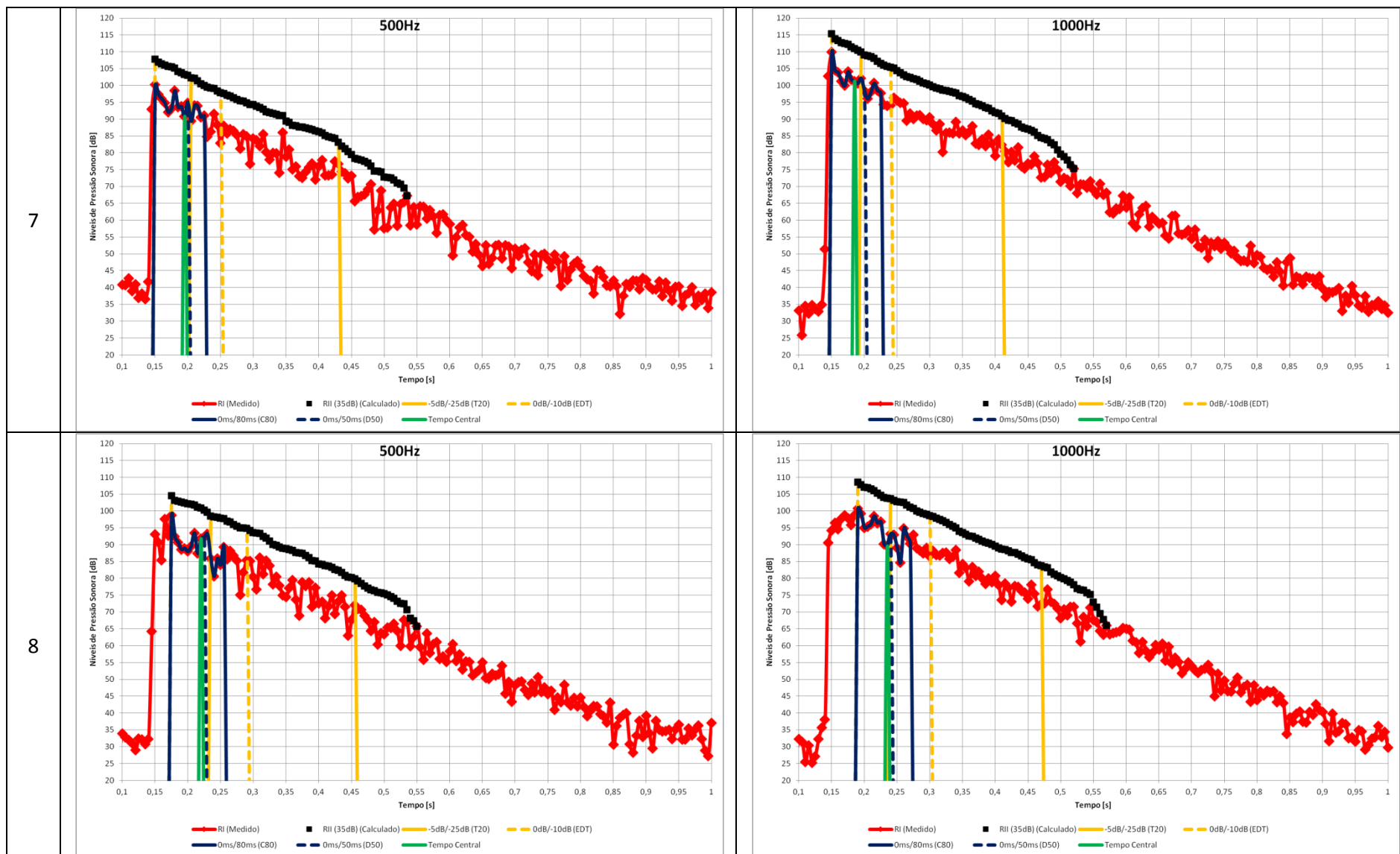
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



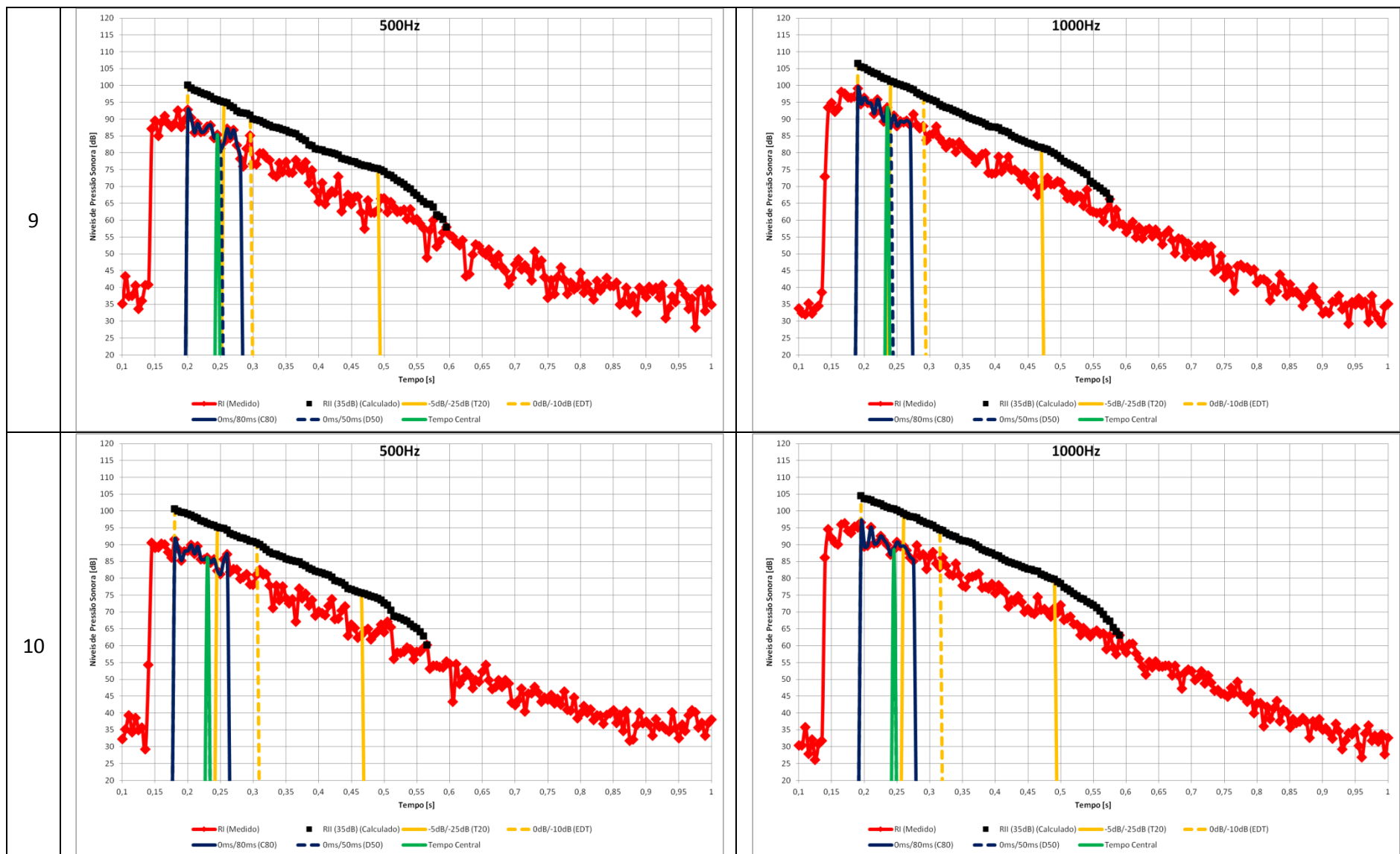
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



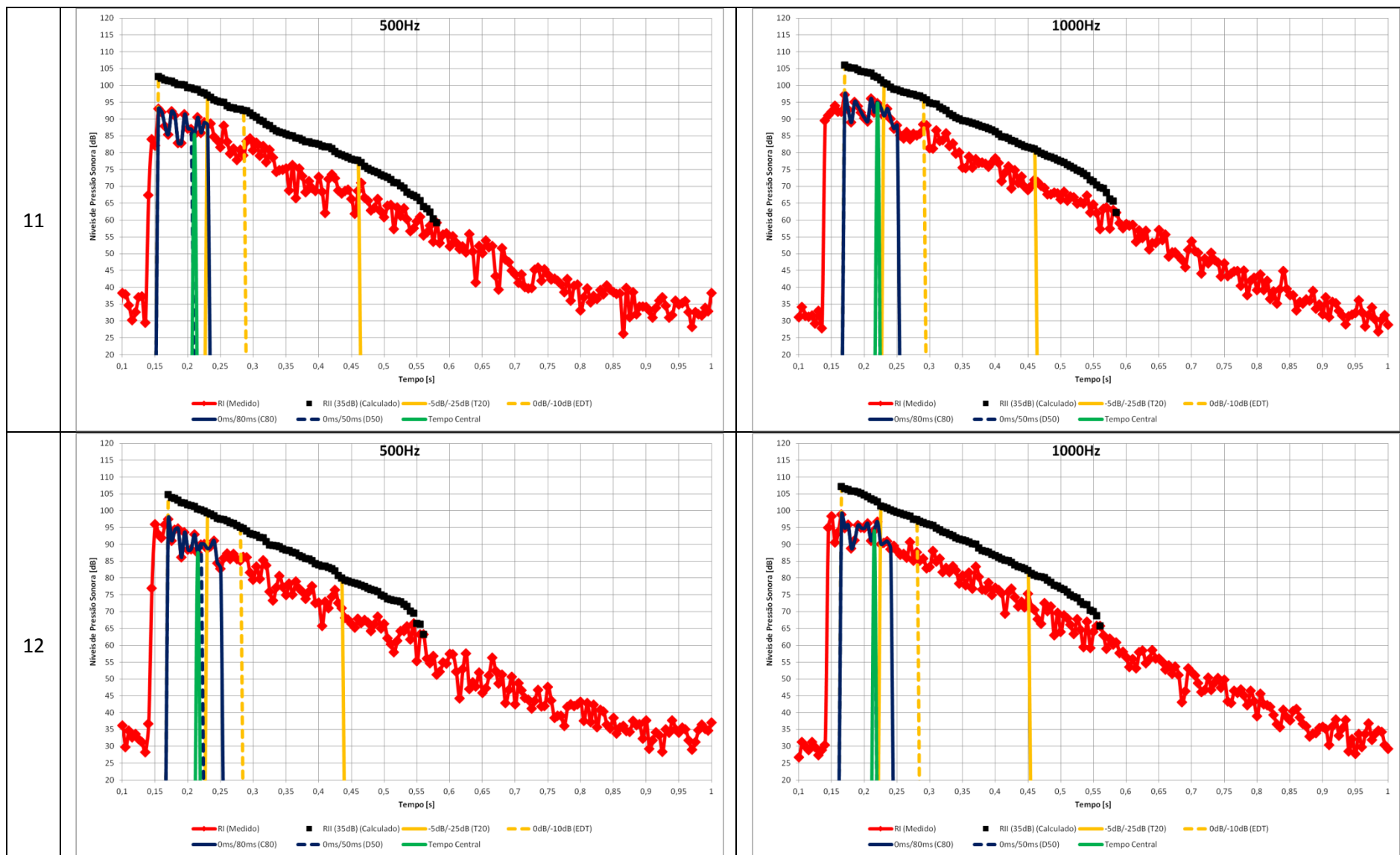
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



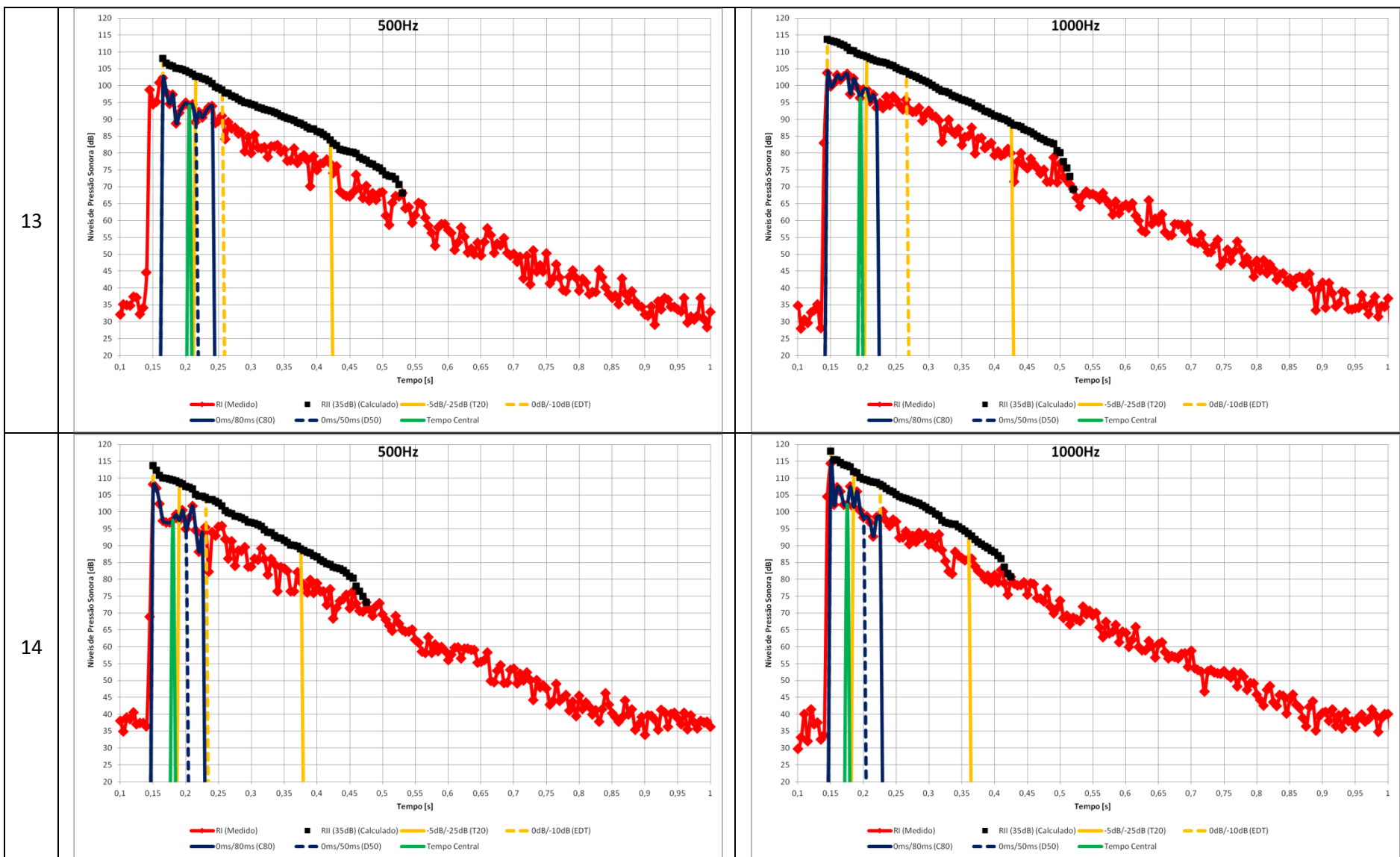
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



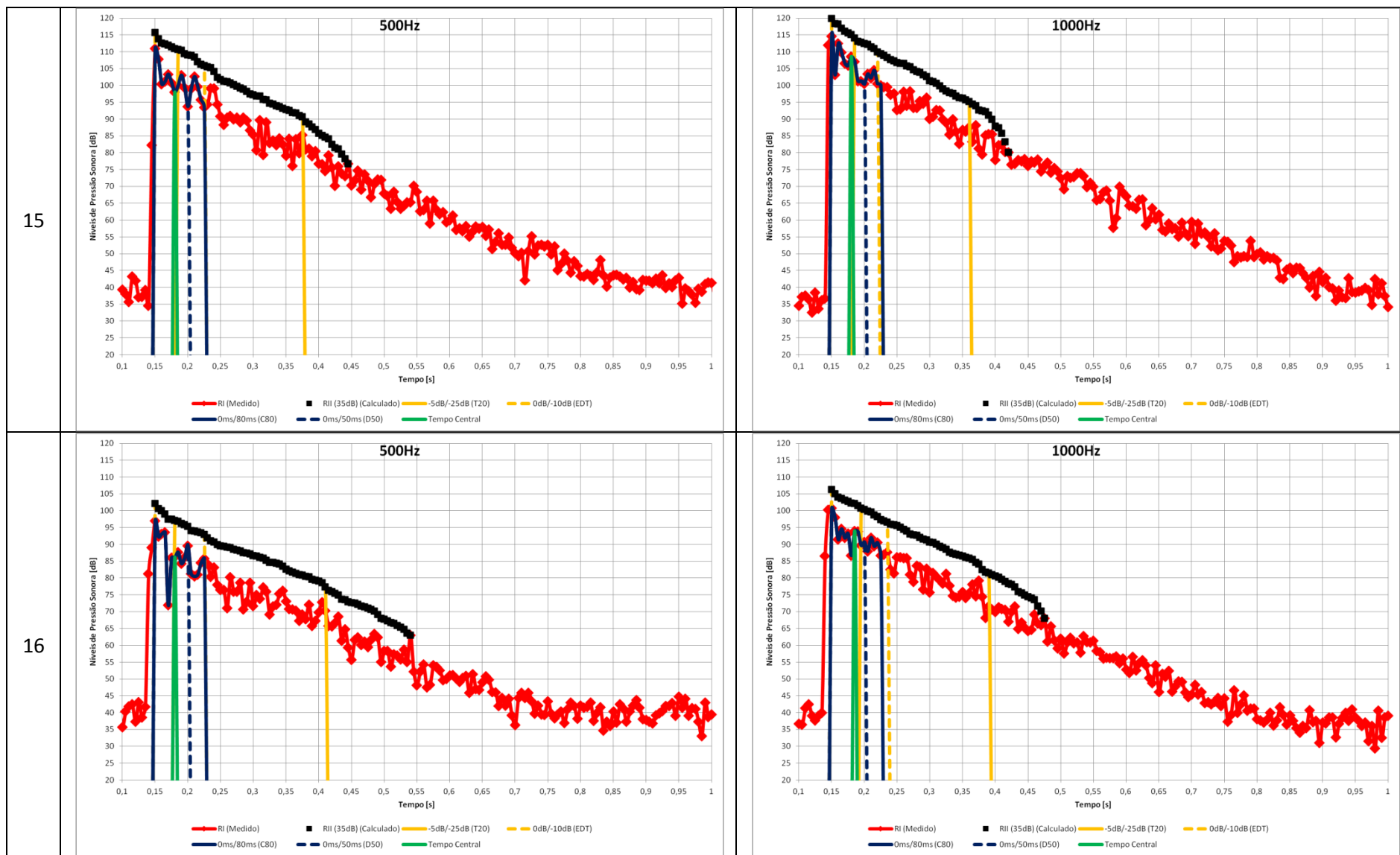
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



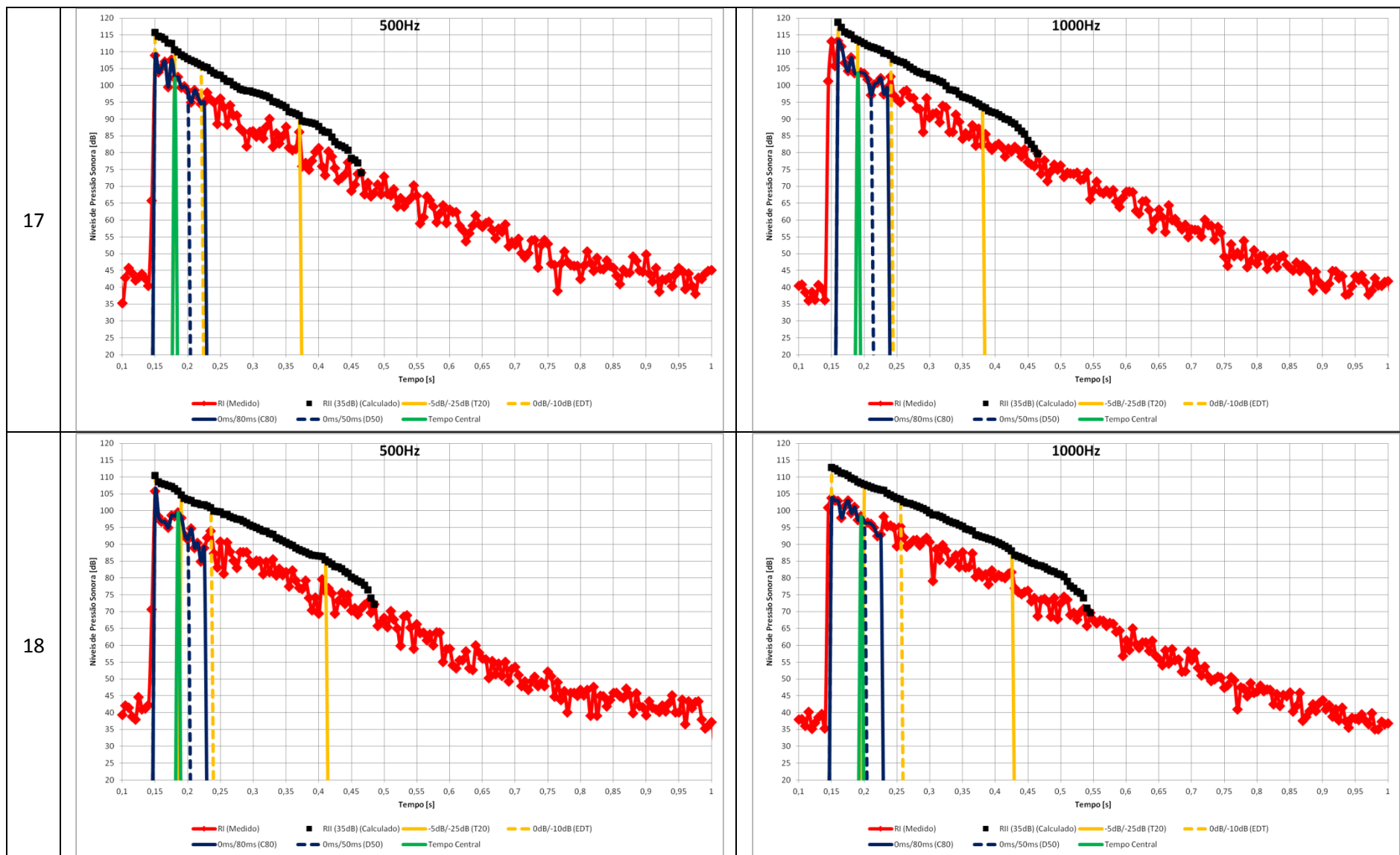
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



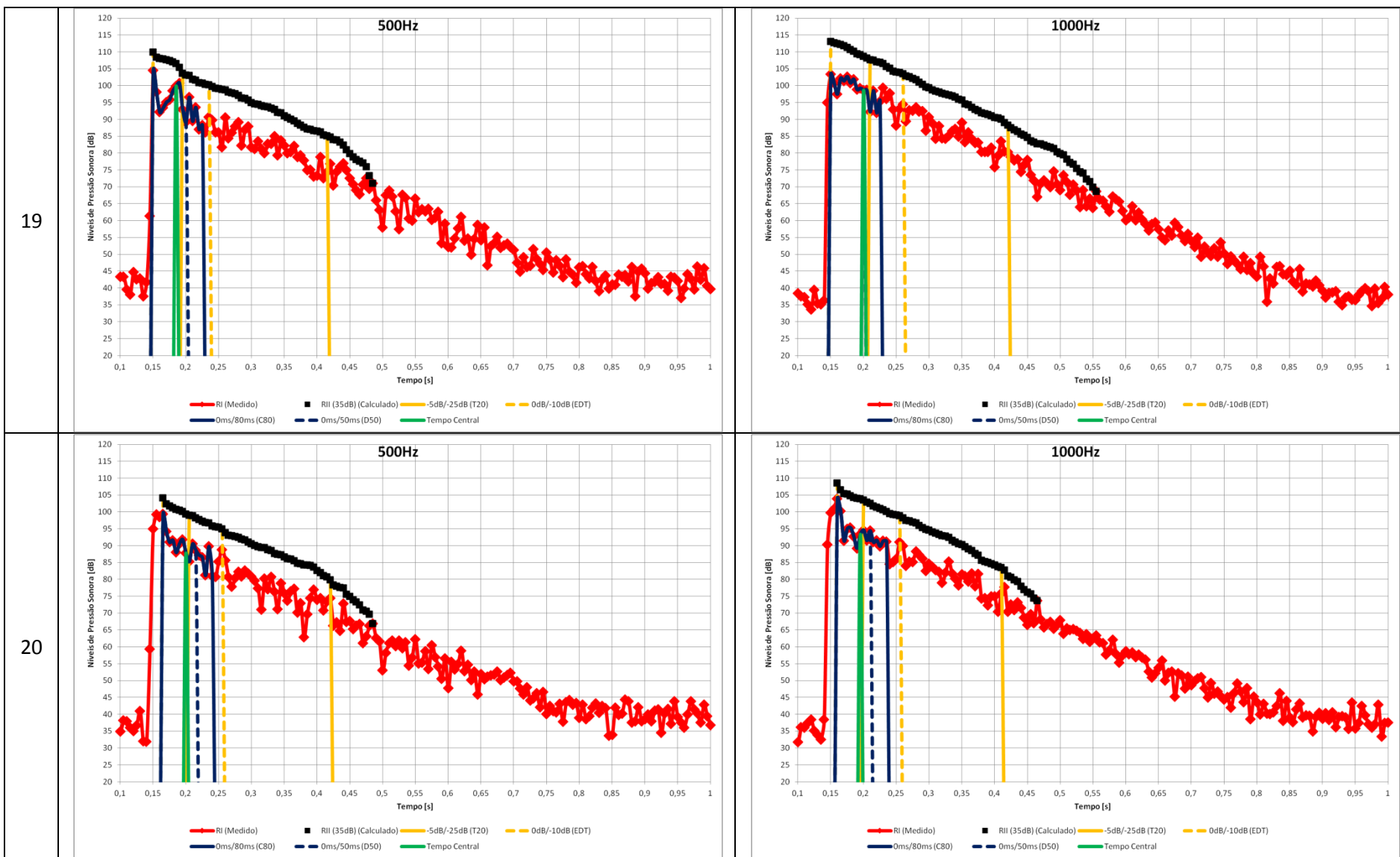
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



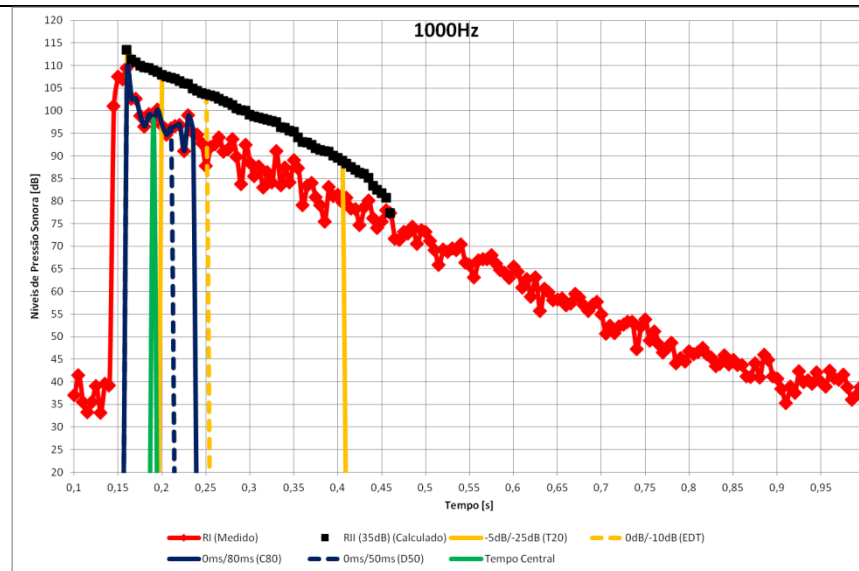
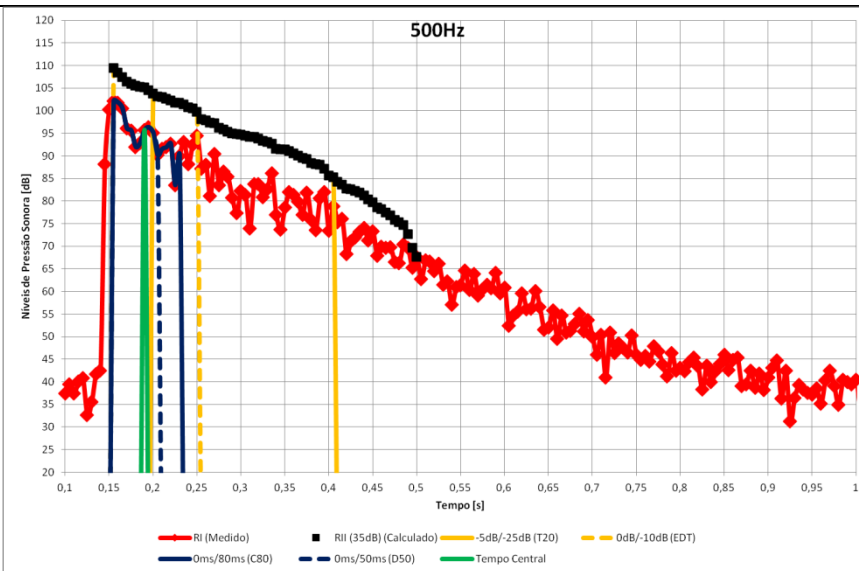
A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



A.6 Medições *in situ* Casa J (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

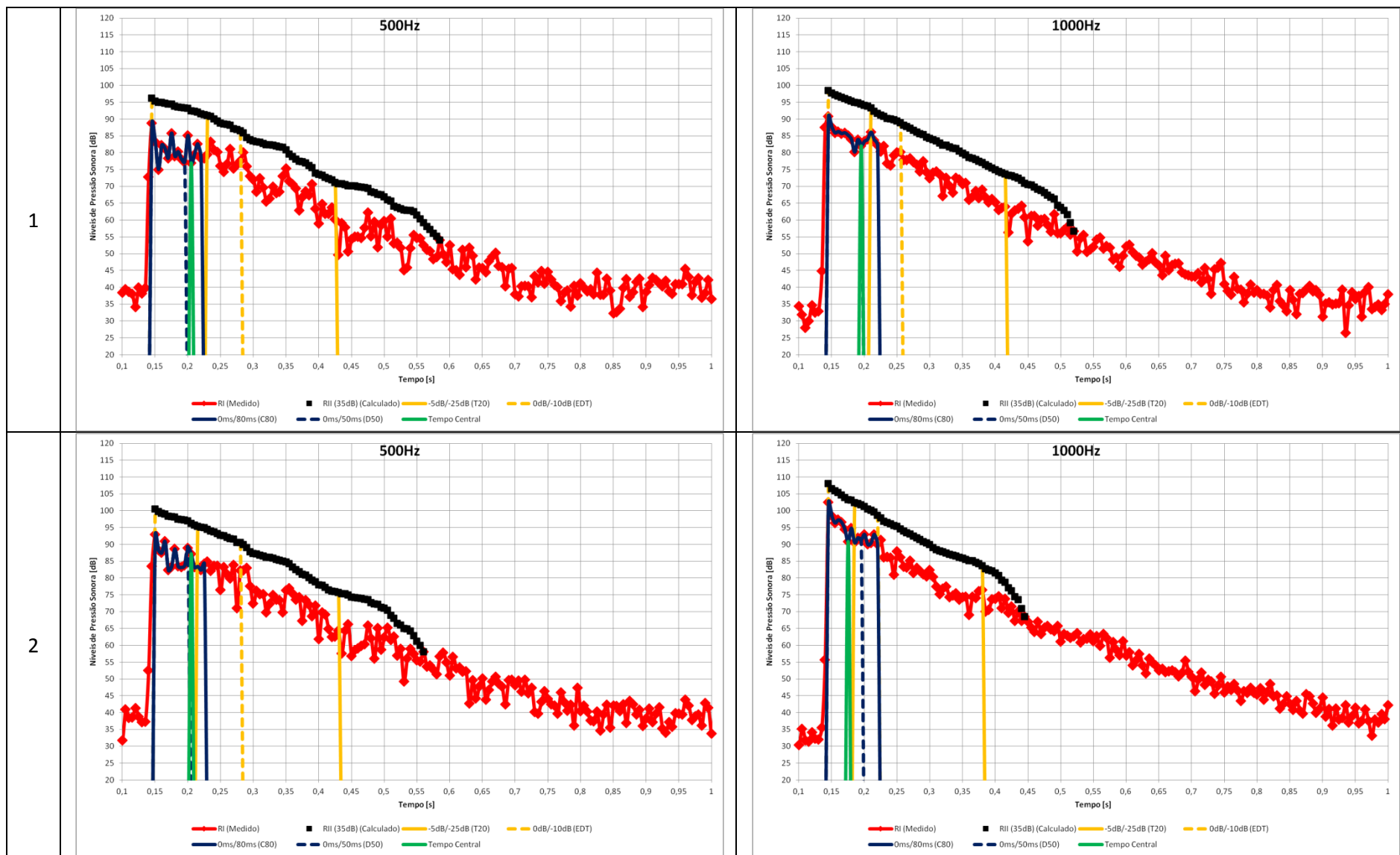


21

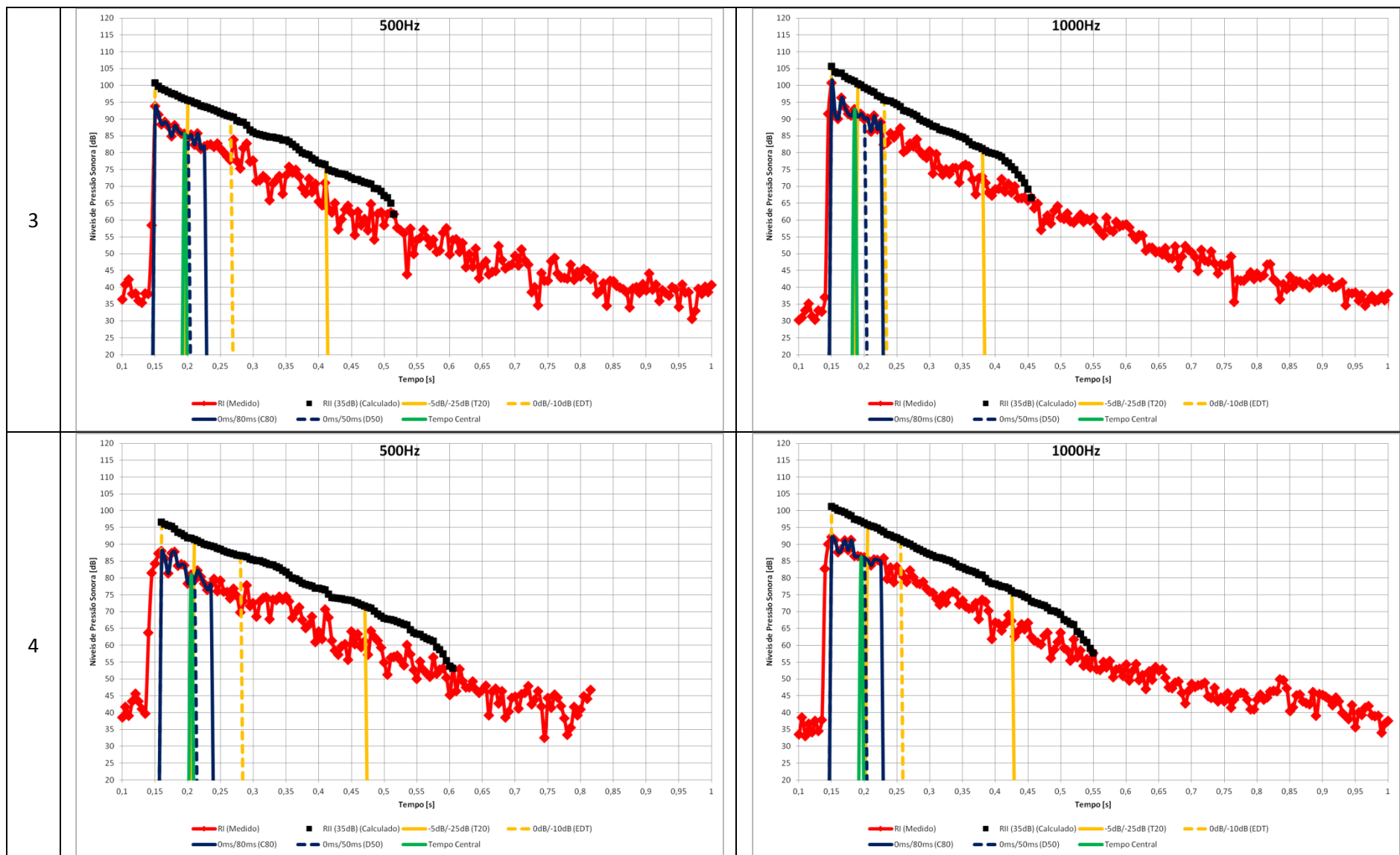


A.7 Medições *in situ* Casa K

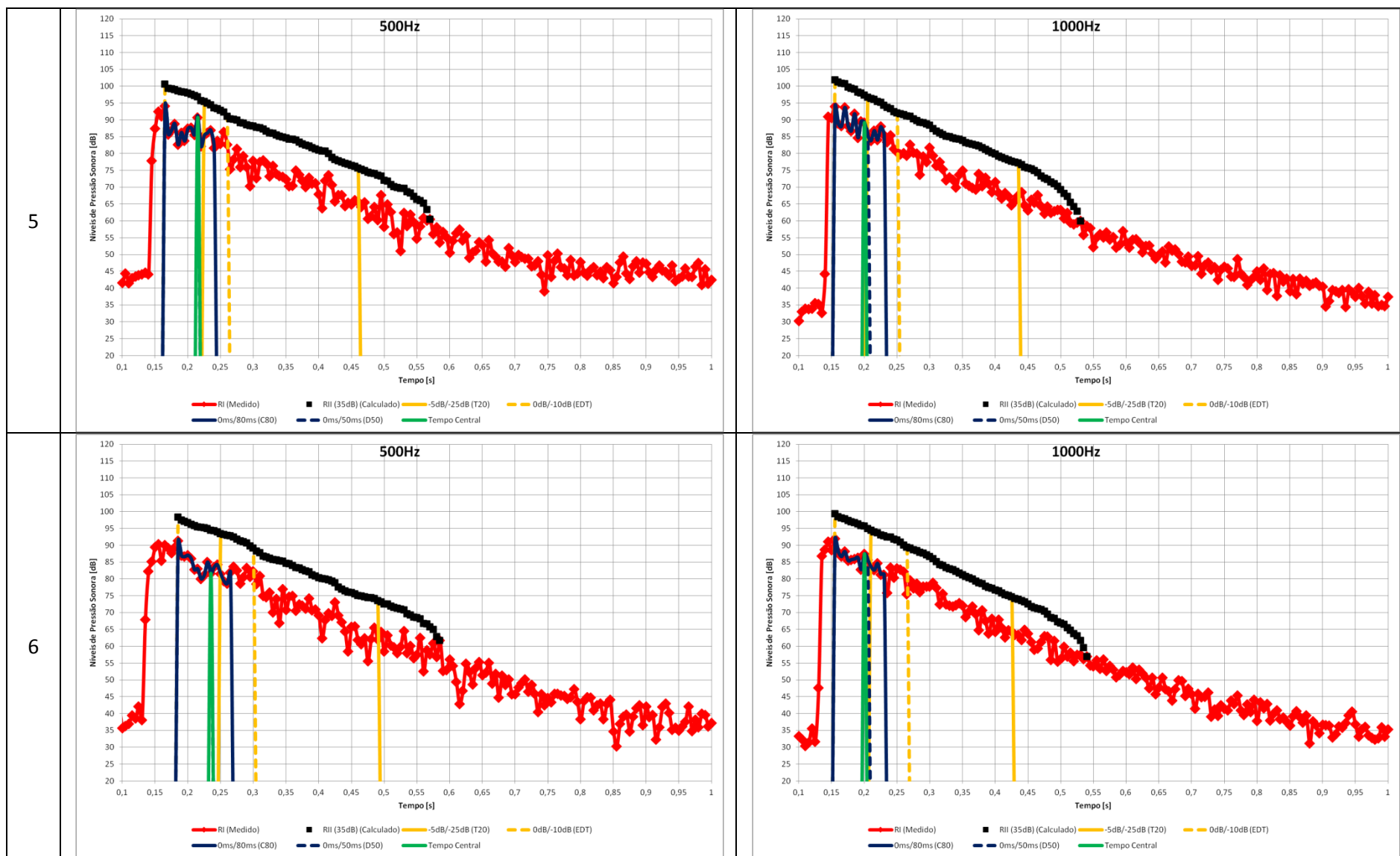
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



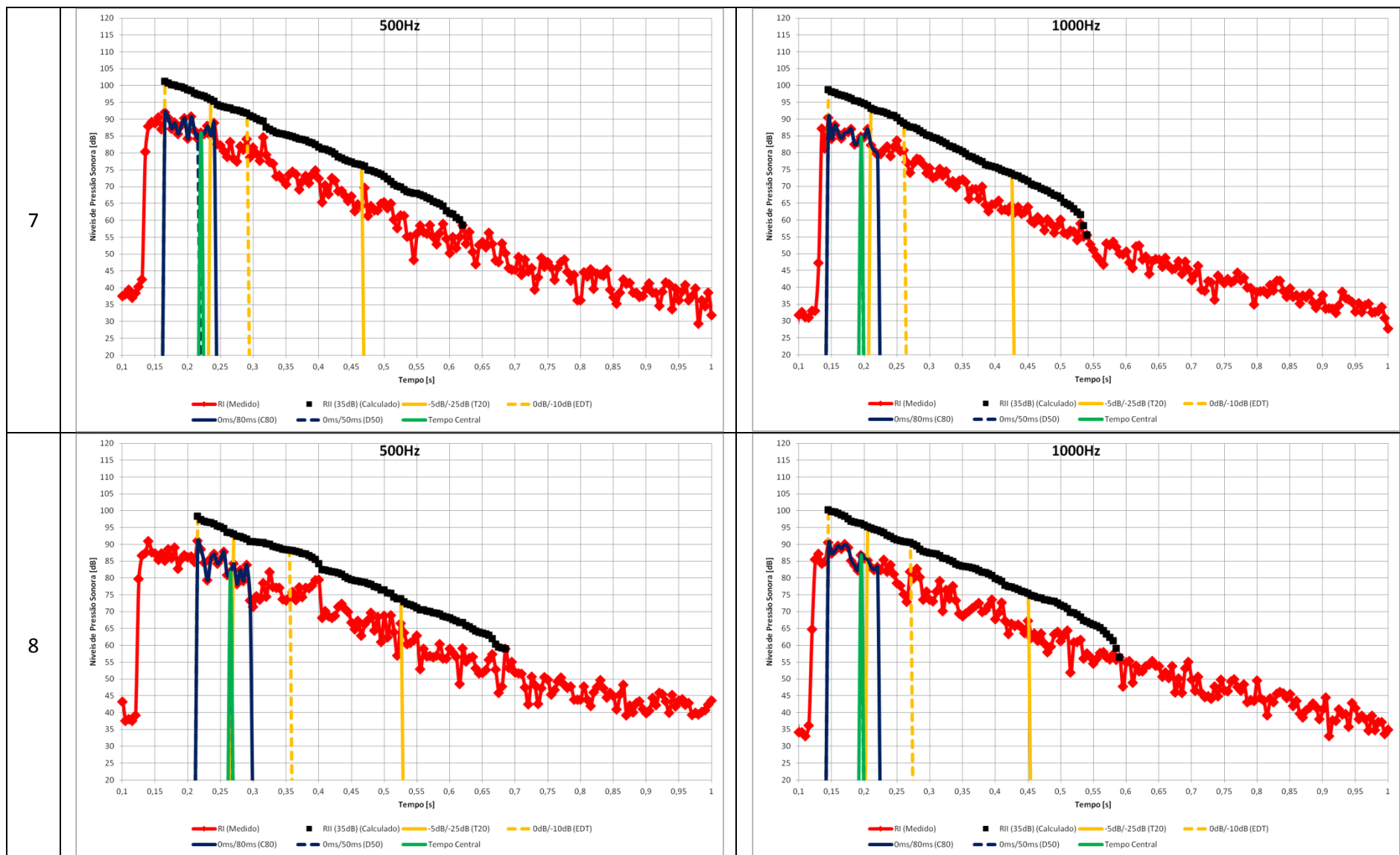
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



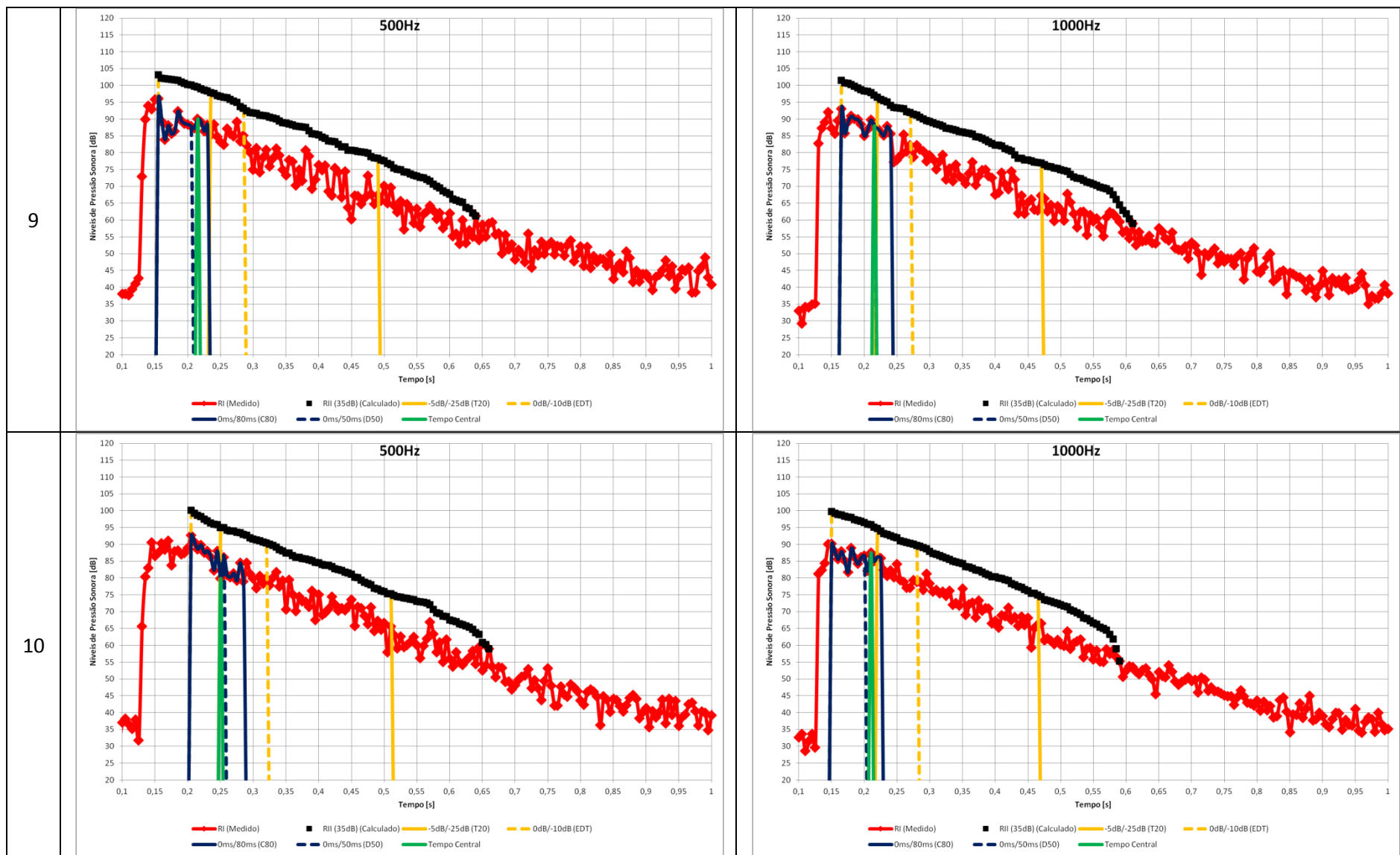
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



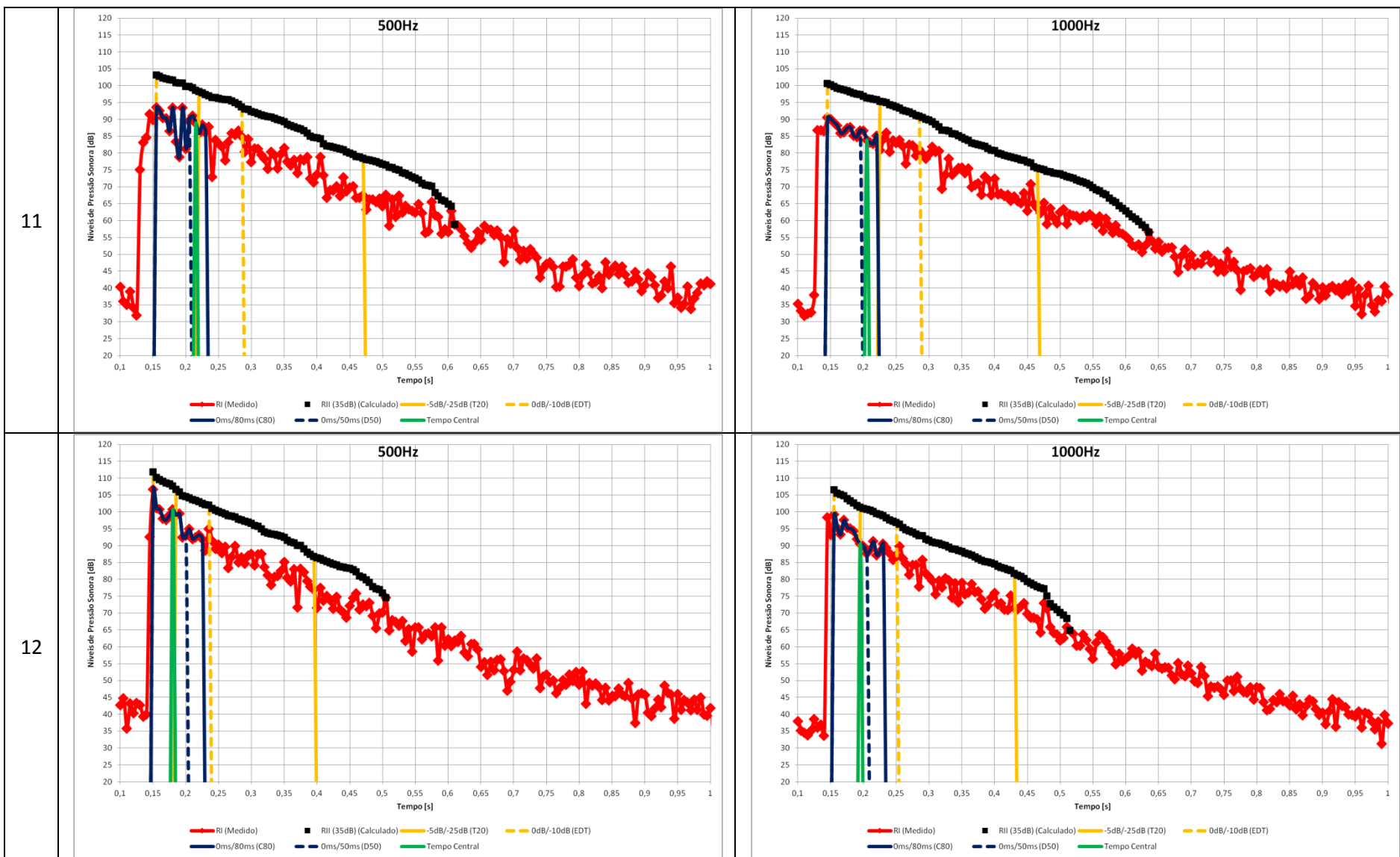
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



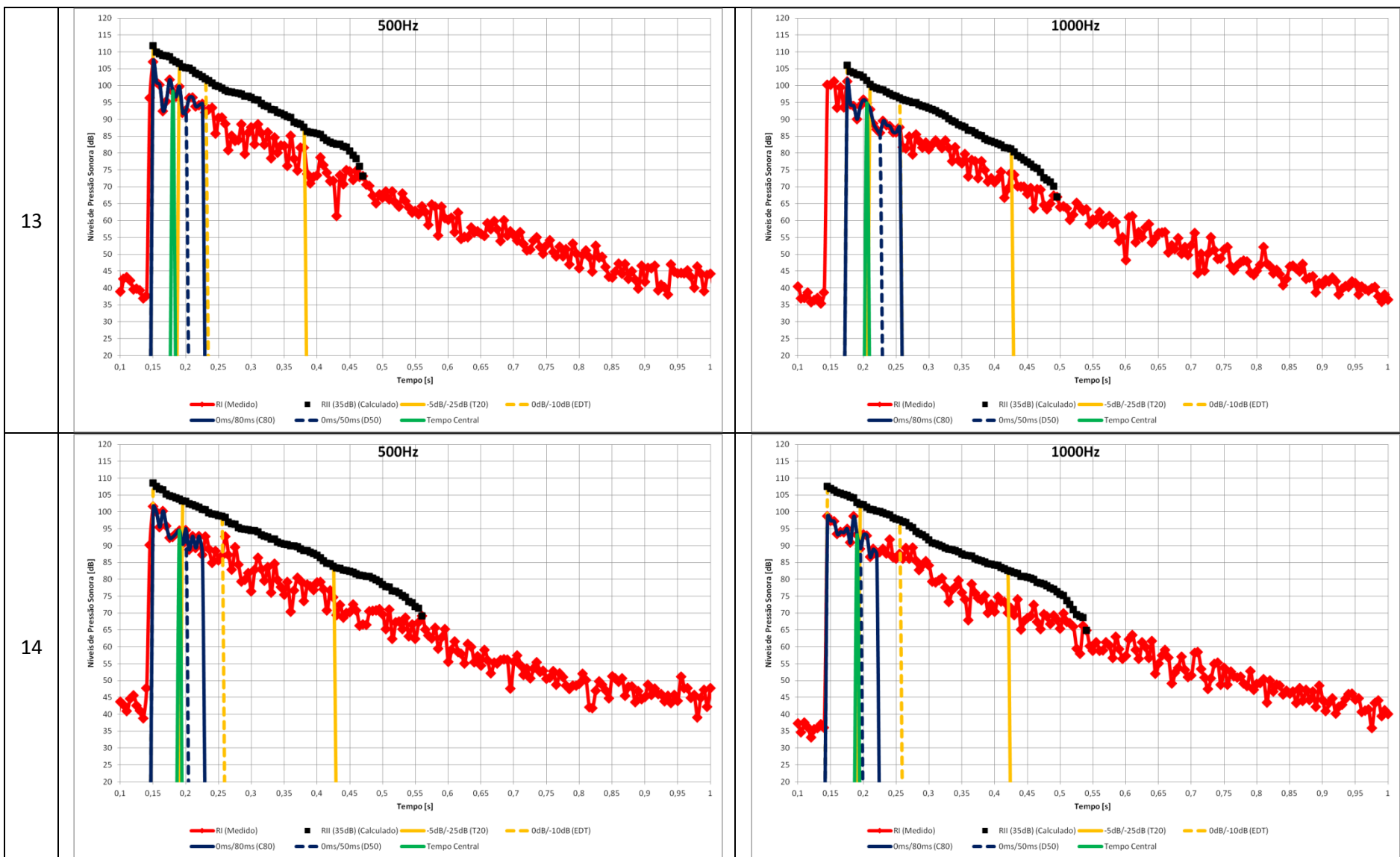
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



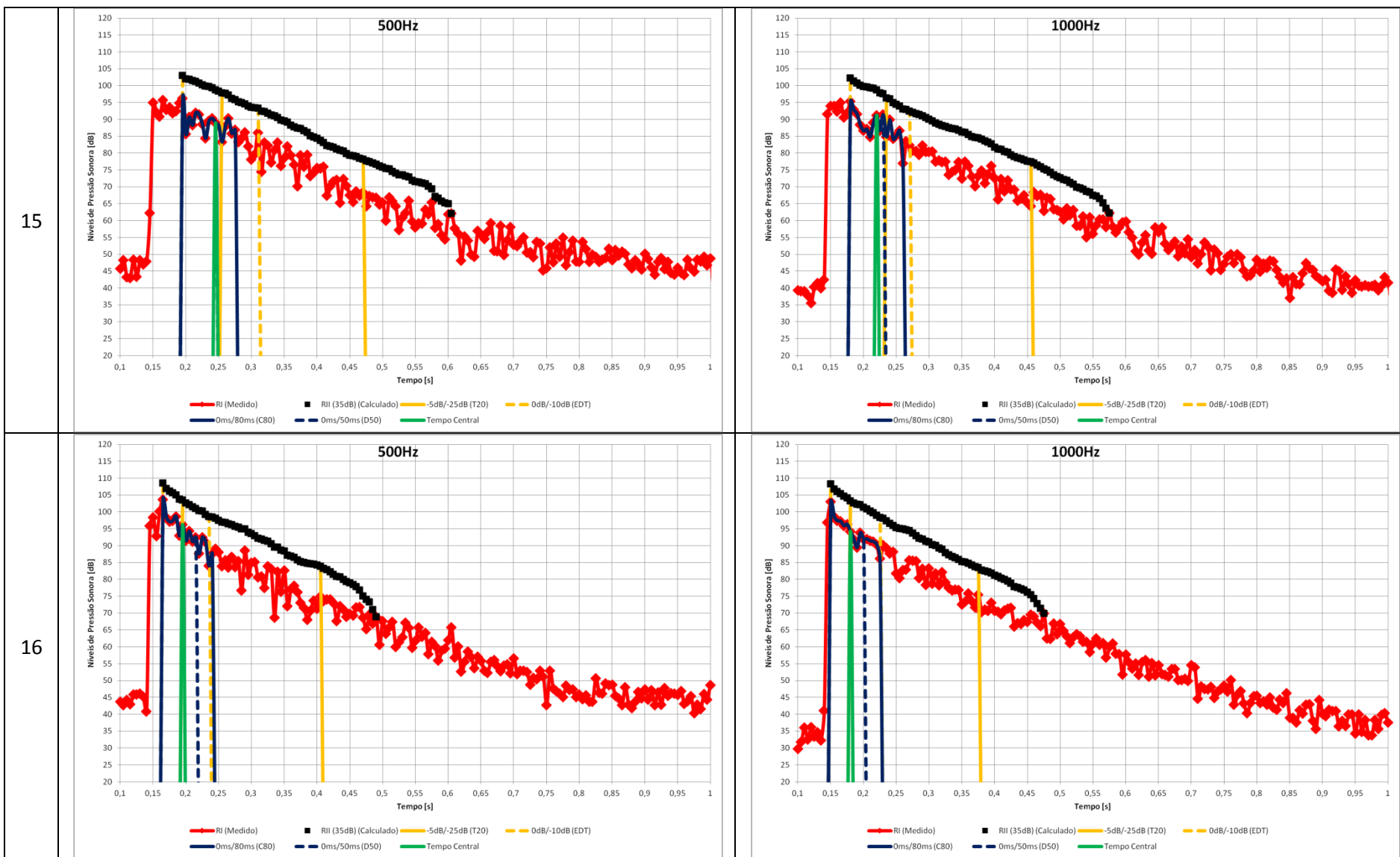
A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)

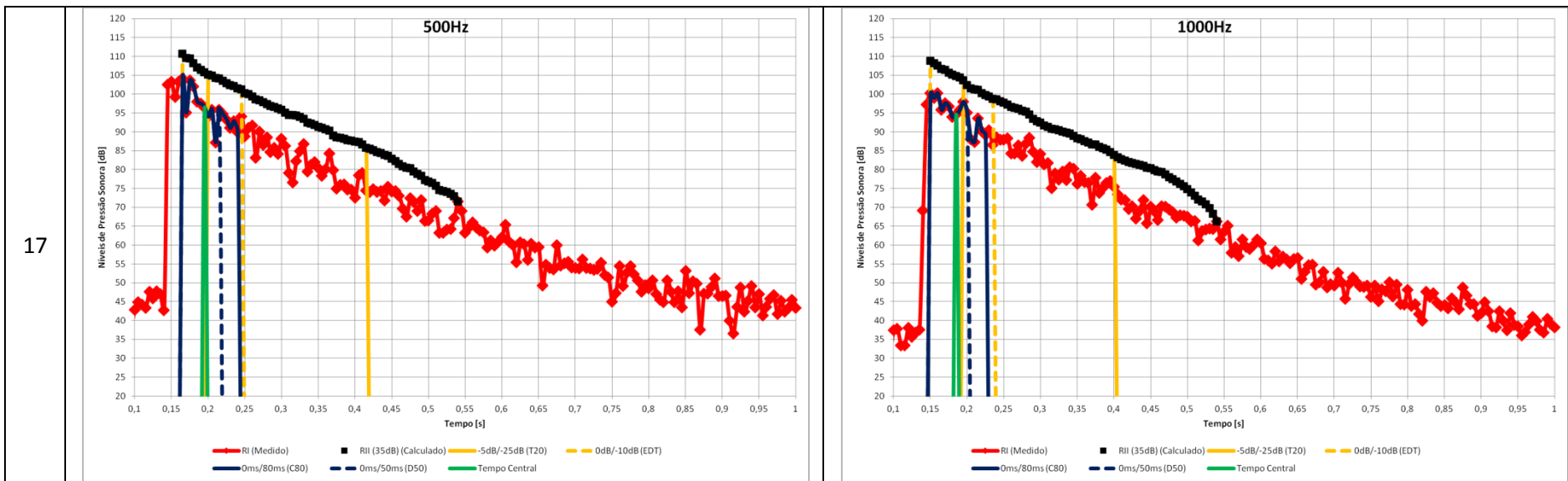


A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)



A.7 Medições *in situ* Casa K (Contributo para a Caracterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado)





A.8 Índice de Figuras

Figura 1: Representação de um movimento ondulatório complexo periódico.....	12
Figura 2: Espectro do movimento ondulatório complexo da Figura 1	13
Figura 3: Decaimentos sonoros teóricos em campo difuso e Tempo de Reverberação	24
Figura 4: Variação teórica da Amplificação Acústica com o Volume para Campo Difuso	28
Figura 5: Tempo de decaimento teórico de -10 dB, -25 dB, -35 dB e -60 dB, em função do Tempo de Reverberação.....	29
Figura 6: Variação teórica de C_{80} com o Tempo de Reverberação.....	31
Figura 7: Variação teórica de D_{50} com o Tempo de Reverberação.....	32
Figura 8: Variação teórica T_S com o Tempo de Reverberação	34
Figura 9: Valores recomendados na Bibliografia para o Tempo de Reverberação	39

A.9 Índice de Quadros

Quadro 1: Valores nominais das Banda de 1/3 de Oitava	18
Quadro 2: Valores da Malha A de ponderação em frequência em bandas de 1/3 de oitava..	18
Quadro 3: Parâmetros “Complementares” e caraterísticas subjetivas associadas	26
Quadro 4: Valores recomendados na Bibliografia para os parâmetros “Complementares” ...	40
Quadro 5: Valores máximos recomendados tipicamente para o Ruído de Fundo	43
Quadro 6: Ordenação das Casas de Fado constantes nas respostas ao questionário	49
Quadro 7: Resultados médios para a Casa G.....	52
Quadro 8: Resultados médios para a Casa H.....	52
Quadro 9: Resultados médios para a Casa I	53
Quadro 10: Resultados médios para a Casa J	53
Quadro 11: Resultados médios para a Casa K.....	54
Quadro 12: Resultados médios globais (ordem qualitativa decrescente).....	54
Quadro 13: Comparação dos valores medidos e previstos para a <i>Amplificação Acústica</i>	58
Quadro 14: Comparação dos valores medidos e previstos para a <i>Clareza</i>	58
Quadro 15: Comparação dos valores medidos e previstos para a <i>Definição</i>	58
Quadro 16: Comparação dos valores medidos e previstos para o <i>Tempo Central</i>	59