



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PEDRO HENRIQUE DA MOTA
PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA ALVES

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA - NORMA DE DESEMPENHO
NBR 15.575

Brasília – DF
2019



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PEDRO HENRIQUE DA MOTA

PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA ALVES

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA - NORMA DE DESEMPENHO
NBR 15.575

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica referente a Norma de Desempenho das Edificações, para análise do conforto acústico.

Orientador: Sérgio Garavelli

Brasília – DF
2019

RESUMO

Desde 2013 está em vigor a norma técnica da ABNT, a NBR 155751, nesta, o desempenho acústico é um quesito importante a ser considerado nas edificações, estabelecendo valores mínimos, intermediários e superiores para os parâmetros acústicos relacionados à isolação acústica. Na avaliação do isolamento do ruído aéreo, diferentes métodos podem ser utilizados. Segundo a ISO 140-4, é necessário a realização de medidas *in situ* do tempo de reverberação, além de outros parâmetros. A medida do tempo de reverberação pode ser feita utilizando duas técnicas diferentes: o ruído interrompido e o impulsivo. Utilizando o ruído interrompido, além dos equipamentos de medição é necessário levar a campo equipamentos de geração do ruído rosa ou ruído branco, além da fonte sonora omnidirecional. Devido a estas dificuldades muitos profissionais optam por realizar o ensaio utilizando a técnica do ruído impulsivo, que pode ser efetivada através do estouro de balões. Este trabalho teve como objetivo avaliar e indicar balões de látex que podem ser utilizados para a determinação do tempo de reverberação em diferentes ambientes. Para tanto, os ensaios foram feitos com os balões de látex de 8, 10, 12 e 18 polegadas, os mais comuns encontrados em lojas de festas. Ao todo foram concretizados aproximadamente 200 testes, sendo que nem todos foram validados, foram realizados em dois ambientes com características distintas, um laboratório e um estúdio de rádio. No ambiente maior, no laboratório, foram validados 18 estouros de cada tipo de balão, no estúdio devido às dimensões reduzidas foram 12. O equipamento utilizado para a aferição do tempo de reverberação foi o SOLO da 01 dB, o som residual também foi medido em cada um dos ambientes. Os dados foram processados no software dBBati, e feita as estatísticas, calculando a média, o desvio padrão e o erro, dos tempos de reverberação em bandas de frequência de 1/3 de oitavas. Um teste complementar foi realizado num residencial no qual foi avaliado o isolamento de uma parede em relação ao som aéreo. Como resultados, tem-se que a avaliação do tempo de reverberação utilizando o método do ruído impulsivo com o estouro de balões de látex se mostrou eficiente e prática, indicando que pode ser utilizada na avaliação da isolação de ruídos aéreos e de impacto. Em relação ao tamanho do balão a ser utilizado o mais indicado seria o de número 18, pois apresentou o menor desvio padrão em todos os ambientes avaliados. Entretendo o balão 18 apresenta dificuldade para ser inflado, necessitando de um compressor, assim, para ambientes com volumes típicos encontrados nas residências e em locais e horários cujo som residual não seja elevado nas bandas de baixas frequências, o balão de 12 polegadas pode ser utilizado. Na avaliação realizada *in situ*, o método utilizado se mostrou eficiente além de reduzir o tempo necessário para a avaliação de tempo de reverberação de um ambiente.

Palavras-chave: desempenho acústico. NBR 15575. tempo de reverberação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posicionamento das estações em laboratório	8
Figura 2 - Laboratório UniCEUB.....	8
Figura 3 - Estúdio de rádio UniCEUB	9
Figura 4 - Planta baixa estúdio	9
Figura 5 - Quarto do empreendimento da Vega Engenharia	11
Figura 6 - Projeto arquitetônico do empreendimento.....	11
Figura 7 - Tempo de Reverberação do Laboratório balões 8, 10, 12 e 18	13
Figura 8 - Tempo de Reverberação do Estúdio, balões 8, 10, 12 e 18	15
Figura 9 - Cálculo do TR, balão 8	16
Figura 10 - Cálculo do TR, balão 18	17
Figura 11 - Noise Criteria.....	19
Figura 12 - Diferença Padronizada de Nível Ponderada.....	19
Figura 13 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão n° 8).....	24
Figura 10 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão n° 10).....	24
Figura 15 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão n° 12).....	24
Figura 16 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão n° 18).....	25
Figura 17 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 8).....	25
Figura 18 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 10).....	25
Figura 19 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 12).....	26
Figura 20 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 18).....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos ambientes estudados.....	10
Tabela 2 - Tempo de Reverberação Laboratório.....	12
Tabela 3 - Tempo de Reverberação estúdio de rádio	14
Tabela 4 - Tempo de Reverberação Vega Engenharia	18
Tabela 5 - Som Residual Vega Engenharia	18
Tabela 6 - Índice de redução sonora Vega Engenharia	19
Tabela 7 - Som residual no Laboratório – NPS (dB(A)).....	23
Tabela 8 - Som residual no estúdio – NPS (dB(A))	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO E ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2.1. Objetivo Geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
4. METODOLOGIA.....	7
4.1. Laboratório e Estúdio de Rádio	7
4.2. In Situ (Vega Engenharia).....	10
5. RESULTADOS/DISCUSSÃO	12
5.1. Tempo de Reverberação no Laboratório	12
5.2. Tempo de Reverberação no Estúdio de Rádio.....	13
5.3. Isolamento entre paredes de unidades habitacionais autônomas.....	18
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIAS.....	20
APÊNDICE.....	23

1. INTRODUÇÃO

O ruído que atinge os habitantes urbanos aumentou nas últimas décadas. As cidades estão mais ruidosas, devido principalmente ao aumento do número de veículos nas vias, assim como as residências, pela maior utilização de equipamentos eletrônicos. Fachadas de edifícios sem o isolamento adequado, a isolação ineficiente de interfaces de diferentes unidades aumenta a exposição. Estes fatores, combinado a conscientização da população em relação a necessidade de condições adequadas de conforto acústico acarretou num aumento das reclamações em relação à contaminação ambiental relacionada à poluição sonora.

No sentido de mitigar este problema, a NBR 15575 (ABNT, 2013), que trata do desempenho de edificações habitacionais, considera o desempenho acústico como um importante quesito a ser considerado nas edificações, estabelecendo valores mínimos, intermediários e superiores para os parâmetros acústicos relacionados à isolação.

Desde sua publicação, a demanda por medições acústicas in situ aumentou consideravelmente, a capacitação de profissionais pelas instituições de ensino superior ainda não é suficiente para atender a demanda, assim como as pesquisas no Brasil ainda são incipientes.

Na avaliação do isolamento do ruído aéreo, diferentes métodos podem ser utilizados. Segundo normas internacionais (ISO 140-4), para a realização destes estudos é necessário a realização de medidas em campo do tempo de reverberação e dos níveis de pressão sonora.

A medida do tempo de reverberação pode ser realizada utilizando duas técnicas diferentes: o ruído interrompido e o impulsivo. Para a avaliação utilizando o ruído interrompido, além dos equipamentos de medição é necessário levar a campo os equipamentos de geração do ruído rosa ou ruído branco, além da fonte omnidirecional, devido a estas dificuldades muitos profissionais optam por realizar o ensaio utilizando a técnica do ruído impulsivo, que pode ser realizada através do estouro de balões.

O presente trabalho avaliou diferentes tipos e tamanhos de balões encontrados no mercado brasileiro, indicando quais são os mais adequados para determinação do tempo de reverberação, fornecendo assim ferramentas e conhecimentos a serem usados por profissionais na avaliação do desempenho acústico em edificações.

2. OBJETIVO E ESTRUTURA DO TRABALHO

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar e selecionar balões de látex que podem ser utilizados para a determinação do tempo de reverberação em diferentes ambientes.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar o tamanho do balão que é o indicado para cada local;
- Comparar os resultados obtidos com as referências difundidas na bibliografia sobre o assunto;
- Realizar ensaios em campo, gerar relatórios e verificar se o mesmo atende os requisitos presentes na NBR 15.575, de 2013.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O som é uma onda mecânica, ou seja, necessita de um meio para se propagar, como o ar, contudo, ele atravessa as paredes através de uma via de transmissão direta (a própria parede) e de vias de transmissão indireta (elementos laterais da parede como: piso, laje ou fachada).

A norma brasileira de desempenho de edificações, NBR-15.575, é uma legislação recente, de 2013. Nela estão contidos os parâmetros que engenheiros e arquitetos devem seguir, como o isolamento térmico e sonoro. As técnicas de medições são estabelecidas por meio de normas internacionais, sendo que os procedimentos de ensaio ainda são poucos conhecidos pelos profissionais da área.

O ruído de impacto é produzido por excitação mecânica de um elemento sólido que se converte em emissor acústico e transmite em forma de vibração pelos elementos sólidos até chegar ao receptor por via aérea. Segundo Tutikian (2017), o ruído de impacto é uma consequência das vibrações geradas a partir do impacto mecânico entre materiais, sendo que nos edifícios, o choque entre elementos sólidos constitui a principal fonte da irradiação em sistemas construtivos como pisos, coberturas, paredes e outros, tem grande propagação nas

edificações. São exemplos de ruído de impacto a vibração provocada pelo caminhar de pessoas e da queda de objetos sobre o piso.

O ruído aéreo é a perturbação do ar que faz vibrar aos elementos construtivos convertendo-os em emissores acústicos. É recebido pelo ar e transmite-se por via aérea ou estrutural.

A NBR 15575, traz como novidade a norma de desempenho, que prevê o atendimento aos requisitos em edifício concluído, ao contrário das normas que trazem abordagens prescritivas normas que ditam como devem ser construídos, cuja verificação é difícil. O que vale na nova norma é o resultado final, a verificação do desempenho mediante avaliação, assim os critérios são mensuráveis, não há a indicação específica de como a construção deve ser feita.

Como resultado, estimula a inovação e é de fácil verificação. Segundo Eric Gibson coordenador da Comissão CIB/W60 (W60 Commission, Report n.64, 1982) CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) “primeiramente e acima de tudo, a abordagem de desempenho é [...] a prática de pensar e trabalhar em termos de fins, mais do que meios. [...] Isso tem a ver com o que o edifício ou produto para a construção deve atender, e não com a prescrição de como este deve ser construído”.

A Câmara Brasileira da Indústria e Construção (CBIC) publicou em 2013, um manual referente a NBR 15575 explicando os parâmetros que devem ser seguidos para melhorar o desempenho das habitações, como o isolamento acústico.

A Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (Pro-Acústica), no ano de 2013, publicou um guia prático referente ao isolamento acústico em habitações. Nele estão todos os parâmetros, contidos na Norma de Desempenho de Edificações, de vedação: de pisos, paredes, fachadas, instalações hidrossanitárias, entre outros.

O SINDUSCON-DF - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal (SINDUSCON-DF) e a Associação de Empresas do Mercado Imobiliário do Distrito Federal (ADEMI-DF), publicaram um trabalho com os resultados de avaliações *in situ* dos parâmetros acústicos de edificações realizado em edifícios residenciais em Brasília, seguindo a NBR 15.575.

Kern *et al.* (2013) realizou um estudo comparativo entre as normas brasileiras e espanhola, além de constatar que a norma brasileira é menos exigente em relação ao isolamento acústico, ressalta que a implantação de uma legislação no Brasil irá provocar mudanças significativas no mercado imobiliário.

Daga (2017) realizou um estudo, com avaliações *in situ*, do isolamento acústico de blocos de concreto preenchidos com argamassa. Segundo os resultados fatores como: a execução, o volume dos ambientes, características dos materiais, espessuras e densidade dos mesmos, influenciam diretamente no coeficiente de absorção sonora.

Os requisitos de desempenho expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir (estrutura, cobertura, sistema hidrosanitário etc.), de modo a atender aos requisitos do usuário, sendo que os critérios de desempenho especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados.

Em vigor desde julho de 2013, a norma ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho estabelece importantes critérios para a construção civil, a norma tem como objetivo principal traduzir tecnicamente as necessidades dos usuários brasileiros de imóveis, além da definição de requisitos mínimos (qualitativo), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação. Em suma visa incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico e, de outro, orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas.

A norma se aplica a edificações habitacionais com qualquer número de pavimentos, geminadas ou isoladas, construídas com qualquer tipo de tecnologia. Sendo que não se aplica a: obras já concluídas e construções preexistentes; obras em andamento na data da entrada em vigor da norma (19 de julho de 2013); projetos protocolados nos órgãos competentes até a data da entrada em vigor da norma; obras de reformas ou retrofit; edificações provisórias.

Estrutura da norma ABNT/NBR-15575 – 312 páginas

Parte 1: Requisitos gerais – 71 p.

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais - 31 p.

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos - 42 p.

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - 63 p.

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas - 73 p.

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários - 32 p.

Segundo Tutikianet *al*, (2017) o desempenho acústico e conforto acústico são diferentes: nível de tolerância subjetivo e o nível obrigatório da NBR 15575 é baixo comparado com outros países.

A NBR 15575-1 (E.5.2) e NBR 15575-6 (B.1.2) estabelecem os limites de ruído em dormitórios para instalações e equipamentos prediais, assim como para sistemas hidrosanitários. Existem requisitos tanto para os ruídos integrados durante um período de tempo correspondente ao ciclo de operação do equipamento ($L_{aeq,nt}$) como para os níveis sonoros máximos produzidos instantâneos ($L_{max,nt}$). Recomenda-se que sejam observados simultaneamente para atender a um nível de desempenho.

De acordo com a norma ISO 140-4, o nível sonoro residual e o tempo de reverberação do recinto receptor devem ser aferidos. O método utilizado para a medição de tempo de reverberação com a fonte impulsiva é descrito pela ISO 3382-2.

3.1. Ruído aéreo – Valores de referência

Os valores de Diferença Padronizada de Nível Ponderado entre Ambientes ($D'_{nT,w}$) aferidos são comparados com os critérios estabelecidos na parte 3 da Norma de Desempenho de Edificações, ABNT NBR 15.575-3. São estabelecidos três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior, a Tabela 1 apresenta os valores de $D'_{nT,w}$ para cada nível de desempenho.

A Diferença Padronizada de Nível Ponderado entre Ambientes ($D'_{nT,w}$) é determinada a partir do Nível de Pressão Sonora nos recintos emissor e receptor e equivale à diferença de nível entre ambiente emissor e ambiente receptor em relação ao tempo de reverberação do ambiente receptor. O processo de medição é estabelecido pela norma ISO 140-4 e representa a redução dos níveis de pressão sonora entre dois ambientes.

As medições devem ser realizadas de acordo com o especificado na norma ISO 140-4 da seguinte maneira: é gerado um campo sonoro no ambiente emissor; os níveis de pressão sonora são medidos nos ambientes emissor e receptor; e calcula-se a diferença entre eles. A ISO 140-4 (ISO 140-4:1998. Acoustics Measurement of sound insulation in buildings and of building elements), trata dos métodos para a medição para isolamento acústico em edificações, para a realização destas medidas é necessário a avaliação do tempo de reverberação, cujo método é tratado pela ISO 3382-2 (ISO 3382-2:2008 specifies methods for the measurement of reverberation time in ordinary rooms). Esta norma descreve os procedimentos, equipamentos necessários, números de medidas, posição da fonte e do microfone para a realização do ensaio.

A ISO 717-1:2013, Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation, define através de um número uma grandeza que representa o isolamento acústico aéreo em edifícios e de elementos de construção, como paredes, pisos, portas e janelas. Este parâmetro leva em consideração os diferentes espectros de nível de som de várias fontes de ruído, como fontes de ruído dentro de um edifício e tráfego fora de um edifício, fornece regras para determinar essas quantidades a partir dos resultados de medições realizadas em bandas de um terço de oitava ou oitava de acordo com as normas ISO 10140-2, ISO 140-4 e ISO 140-5.

As grandezas de número único, de acordo com a norma ISO 717-1: 2013, destinam-se a classificar o isolamento acústico aéreo e a simplificar a formulação de requisitos acústicos nos códigos de construção. O método utilizado para a avaliação do tempo de reverberação é tratado na ISO 3382-2.

3.2. Som Residual

O Ruído de Fundo é o som residual presente em qualquer ambiente, pois não há espaços com completo isolamento acústico, com exceção da Câmara Anecoica. Ele tem influência direta nos ensaios *in situ*, sendo necessário à sua aferição e análise.

Segundo Garavelli (2005) o som residual influencia diretamente a qualidade do ensino em ambientes escolares. Para essa conclusão o referido pesquisador estudou o impacto do ruído gerado pelo tráfego urbano em dez escolas localizadas em diferentes regiões

do Distrito Federal. Com isso, foi possível demonstrar a situação crítica de algumas escolas e propor soluções para a correção e criação de normas mais rigorosas.

3.3. Tempo de Reverberação

O Tempo de Reverberação é o tempo necessário para que o som decaia 60 dB. Ele pode ser aferido por meio de duas técnicas diferentes: o ruído interrompido e o ruído impulsivo. Para a avaliação utilizando o ruído interrompido, além dos equipamentos de medição é necessário levar a campo os equipamentos de geração do ruído rosa. O ruído interrompido pode ser realizado através do estouro de balões ou disparos com arma de festim.

No trabalho de Zannin, (2009) foi realizado uma comparação da influência do tempo de reverberação em diferentes salas de aula da Universidade Federal do Paraná, bloco das Ciências Sociais Aplicadas. Além disso, foram feitas simulações através das equações de Sabine e Eyring para a “Predição do Tempo de Reverberação de Recintos Fechados” e pelo programa Odeon versão 9.0 (ODEON A/S, 2007) para gerar simulações virtuais.

Segundo Zannin (2005) a Equação de Sabine modificada (Método Indireto) é a que mais representa os valores encontrados por meios experimentais. Nessa equação são levados em consideração no cálculo da área de absorção sonora equivalente às contribuições do ar e dos elementos necessários ao uso do ambiente, como o mobiliário.

Rocha (2014) estudou a influência do tempo de reverberação no isolamento sonoro entre ambientes, concluiu que em ambientes heterogêneos são afetados pela variação das características de absorção sonora desses espaços.

4. METODOLOGIA

4.1. Laboratório e Estúdio de Rádio

Os ensaios foram realizados para avaliar o desempenho dos diferentes tipos de balões disponíveis no mercado. Testes preliminares indicaram que balões de tamanhos diferentes emitem espectro com intensidades desiguais nas diversas bandas de frequências.

Os balões utilizados foram de tamanhos 8, 10, 12 e 18 polegadas, de diferentes fabricantes. No estudo foram calculados a média e o desvio padrão dos tempos de reverberação nas diferentes bandas frequências. Para cada ambiente estudado e cada tipo de balão, foram realizados 18 disparos para as avaliações no Laboratório e 12 para as realizadas no estúdio, isto em função das dimensões reduzidas do estúdio.

No laboratório o equipamento foi posicionado em três posições, como representado na Figura 1. Sempre respeitando o afastamento mínimo de 1m de qualquer parede e altura de, no máximo, 1,5m. O registro fotográfico do Laboratório está na Figura 2.

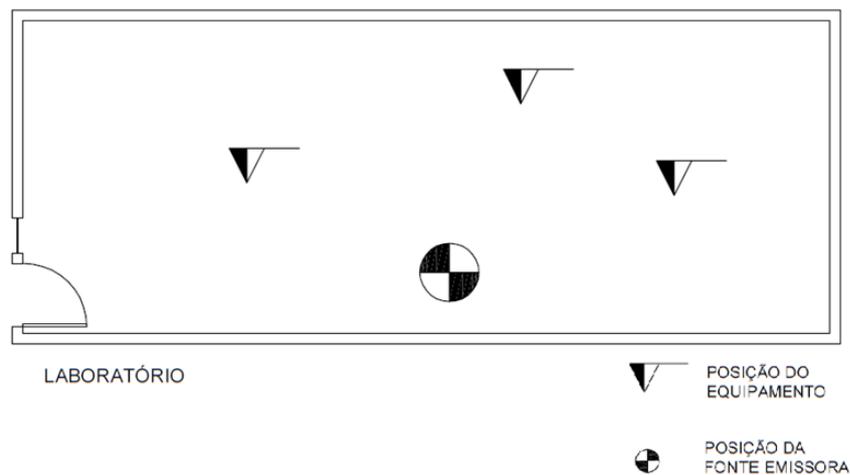


Figura 1 - Croqui com a localização das medições, laboratório
(Fonte: Autor)



Figura 2 - Laboratório UniCEUB
(Fonte: Autor)

O espaço possui as seguintes dimensões 4,6 m de largura, 11,5 m de comprimento, com um pé-direito de 3,6 m. As suas paredes são de drywall, forro de gesso, pilares de perfil

metálico, porta de madeira e uma placa de vidro de 50x200 cm². Possui três bancadas de madeira, bancos, mesa, cadeira estofada, armários, quadro branco entre outros equipamentos

O outro ambiente selecionado foi o estúdio de rádio, por possuir um tempo de reverberação menor. O registro fotográfico do estudo está apresentado na Figura 3.



Figura 3 - Estúdio de rádio UniCEUB
(Fonte: Autor)

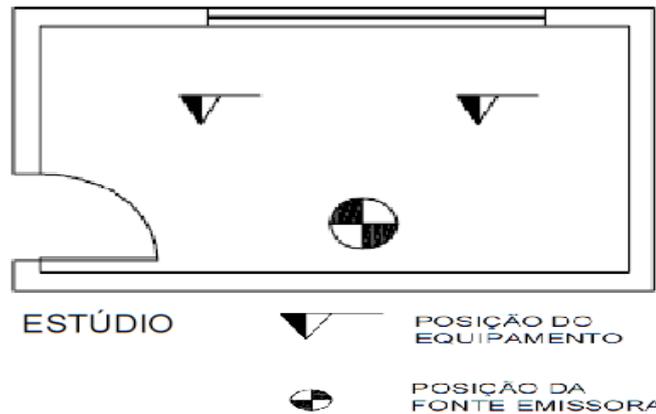


Figura 4 – Croqui com a localização das medições, estúdio
(Fonte: Autor)

Neste ambiente o equipamento foi estalado em duas posições, sempre respeitando as dimensões citadas anteriormente, como representado pela Figura 4. O estúdio possui tratamento acústico para diminuir o impacto do som residual. Possui bancada de madeira, duas cadeiras com estofado e aparelhos de gravação.

Os dois ambientes foram selecionados tendo em vista suas dimensões e tempo de reverberação. As dimensões dos dois ambientes estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões dos ambientes estudados

	Estúdio	Laboratório
Comprimento (m)	2,0	4,5
Largura (m)	3,4	11,5
Altura (m)	3,5	3,6
Volume (m³)	23,8	186,3

4.2. In Situ (Vega Engenharia)

Completando o trabalho, foi realizado um estudo avaliando o isolamento do som aéreo num bloco de apartamentos. A coleta dos dados realizada de acordo com a NBR-15.575, foram aferidos: dimensões dos locais, som residual, NPS emitido e recebido e o tempo de reverberação.

As medidas foram realizadas de acordo com os seguintes passos:

- i) Aferição do som residual, também conhecido como ruído de fundo.
- ii) Aferição o tempo de reverberação na sala receptora pelo método do ruído impulsivo, utilizando balões, com pelo menos três estouros em cada estação.

O ambiente escolhido é o empreendimento da Vega Engenharia, localizado no Setor Noroeste, que é um bairro pertencente a região administrativa de Brasília, Distrito Federal. O ensaio foi realizado em um sábado no período vespertino, quando não estava ocorrendo obras no local.

Para o ensaio foram selecionados dois apartamentos vizinhos que possuíam parede em comum e semelhantes. Os locais possuem as seguintes dimensões: 3,40 m de largura por 7,35m de comprimento e pé-direito de 2,50m. As suítes estudadas estavam totalmente vazias e em fase de acabamento, eram compostas por paredes de blocos de concreto preenchidos com argamassa, esquadria e piso de porcelanato, como apresentado na Figura 5.

Além dos componentes já citados eles possuem uma laje maciça com 20 cm de espessura, com forro de gesso de 56 cm e manta de desconexão de 5mm, com o contra-piso executado em conformidade com as instruções do fabricante da manta. Além disso, a parede em comum é composta por dupla camada de blocos de concretos, com 11,5 cm de espessura,

preenchidos com argamassa, com espaçamento de 2 cm de lã de pet e reboco em argamassa de 2 cm. A Figura 6 apresenta a planta baixa do local avaliado.



Figura 5 - Quarto do empreendimento da Vega Engenharia
(Fonte: Autor)

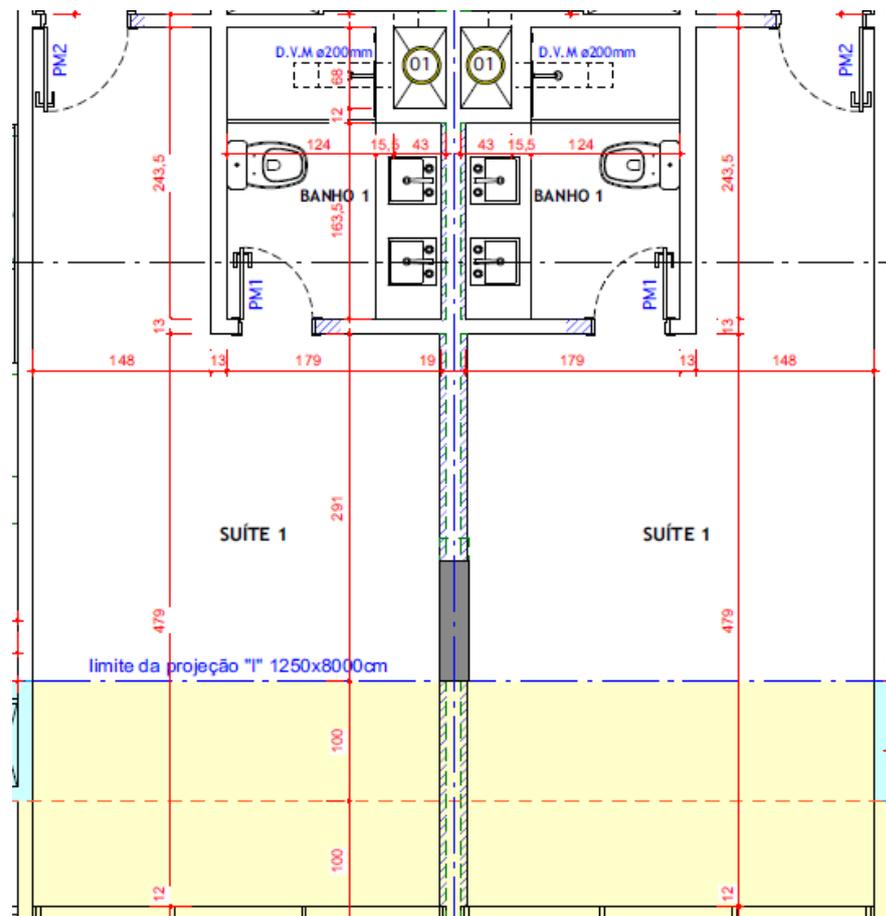


Figura 6 - Projeto arquitetônico do empreendimento
(Fonte: VEGA Engenharia)

5. RESULTADOS/DISCUSSÃO

5.1. Tempo de Reverberação no Laboratório

Os resultados avaliados no laboratório estão apresentados na Tabela 2, representam a média e o desvio padrão do tempo de reverberação para cada tipo de balão nas diferentes bandas de frequência.

O tempo de reverberação, para as faixas de frequências de 125 a 8.000 Hz, aferido com o balão de 18 polegadas foi o que apresentou o menor desvio padrão. No regime de baixas frequências os balões menores apresentam menor intensidade dos níveis de pressão sonora, o que em muitos casos pode se aproximar do som residual, prejudicando os resultados para estas faixas de frequências.

A última coluna da tabela apresenta o desvio padrão da média entre os TR dos diversos balões, conforme pode ser observado, são mais elevados para frequências mais baixas. Estes resultados também podem ser observados na Figura 7.

Tabela 2 - Tempo de Reverberação Laboratório

f(HZ)	BALÃO 8		BALÃO 10		BALÃO 12		BALÃO 18		DPM*
	TR _m	DPM							
125	0,73	0,26	0,67	0,15	0,64	0,12	0,85	0,20	0,09
160	1,09	0,09	0,83	0,14	0,83	0,16	0,92	0,07	0,12
200	0,90	0,09	0,82	0,17	0,95	0,16	1,04	0,10	0,09
250	0,90	0,14	1,03	0,13	0,94	0,18	0,89	0,07	0,06
315	0,92	0,06	0,91	0,10	0,90	0,10	0,79	0,13	0,06
400	0,84	0,08	0,90	0,08	0,86	0,09	0,73	0,08	0,07
500	0,75	0,08	0,76	0,10	0,72	0,04	0,69	0,08	0,03
630	0,69	0,05	0,68	0,05	0,71	0,06	0,63	0,04	0,03
800	0,65	0,04	0,65	0,07	0,63	0,05	0,63	0,06	0,01
1.000	0,62	0,04	0,61	0,06	0,61	0,06	0,66	0,05	0,02
1.250	0,63	0,04	0,64	0,05	0,62	0,06	0,69	0,06	0,03
1.600	0,62	0,06	0,68	0,05	0,64	0,05	0,72	0,05	0,04
2.000	0,65	0,09	0,72	0,06	0,71	0,06	0,76	0,05	0,05
2.500	0,68	0,09	0,74	0,07	0,71	0,06	0,77	0,06	0,04
3.150	0,68	0,11	0,76	0,08	0,72	0,07	0,75	0,04	0,04
4.000	0,75	0,11	0,82	0,10	0,77	0,07	0,82	0,06	0,04
5.000	0,77	0,11	0,80	0,08	0,79	0,10	0,78	0,05	0,01
6.300	0,70	0,08	0,67	0,08	0,70	0,07	0,68	0,07	0,02
8.000	0,60	0,05	0,60	0,05	0,61	0,04	0,59	0,04	0,01
Média do DPM	0,09		0,09		0,08		0,07		

TR_m – tempo de reverberação médio; DPM – desvio padrão da média; DPM* – diferentes balões

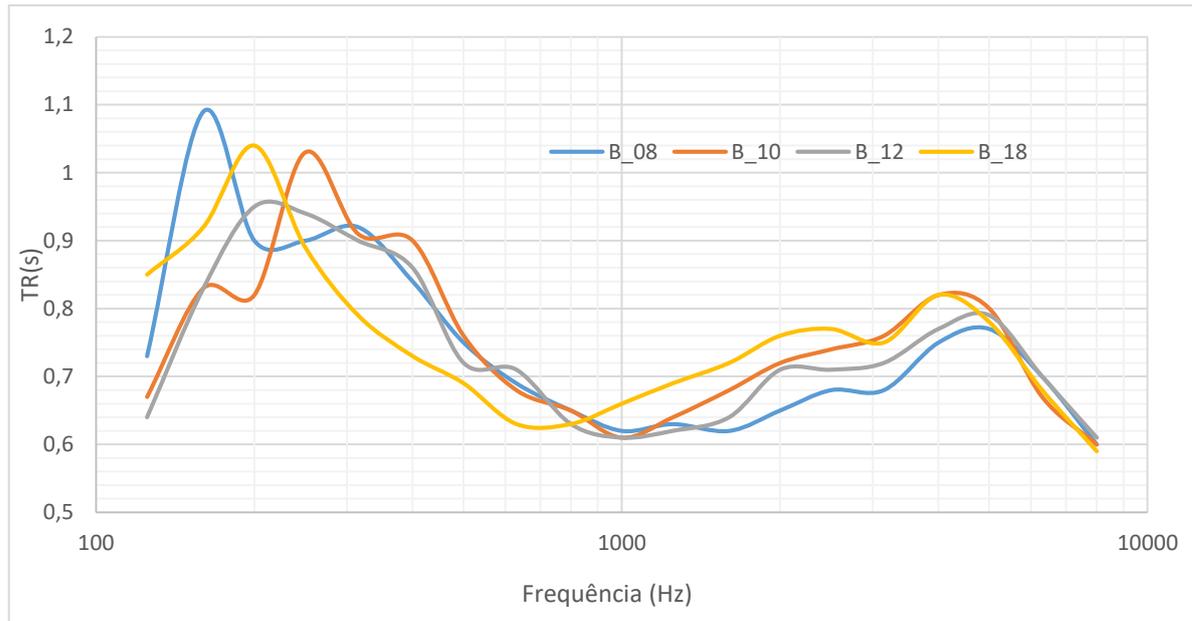


Figura 7 - Tempo de Reverberação do Laboratório balões 8, 10, 12 e 18

5.2. Tempo de Reverberação no Estúdio de Rádio

Os resultados apresentados na Tabela 3 representa a média e o desvio padrão do tempo de reverberação nas diferentes frequências, realizado no estúdio de rádio do UniCEUB.

Os resultados em relação ao desempenho dos balões foram semelhantes, 18 apresentando o melhor desempenho, isto é, o menor desvio padrão. Porém o desvio padrão entre os resultados obtidos entre os diferentes balões, apresentado na última coluna, para a mesma frequência são muito próximos, apresentando pequeno desvio padrão. Este resultado indica que para ambientes com pequenos tempos de reverberação a diferença entre o desempenho dos diferentes balões não é acentuada.

A Figura 8 apresenta os resultados do TR de todos os balões. Conforme pode ser observado os valores para os diferentes balões são mais próximos quando comparados com os obtidos no Laboratório, indicando que para ambientes com TR menores os desvios obtidos entre os diferentes tipos de balões são menores.

Os resultados indicam o balão de 18 polegadas como a melhor escolha visando obter o menor desvio entre as medidas, entestando vale ressaltar que este balão apresenta certa dificuldade para ser inflado, o que requer um compressor.

Os balões de tamanhos menores 8 e 10, apresentaram baixos NPS para excitações nas bandas de menores frequências, o que pode acarretar erros na medida do TR, principalmente para locais em que o som residual é significativo nestas bandas.

O balão de 12 polegadas pode ser inflado com bombas manuais, até mesmo utilizando o ar dos pulmões, não necessita de compressor. Os resultados para este tipo de balão são satisfatórios para a avaliação do TR em ambientes nos quais o volume e o tempo de reverberação não é elevado, volume menor que 300 m³. Em outros trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa (COSTA, 2018; GOMES 2019) foi constatado que o balão n^o. 12 é eficiente para a avaliação do TR em ambientes com grandes volumes. Na avaliação para atender a norma de desempenho 15.575, os ambientes avaliados são residenciais, normalmente quartos e salas, que apresentam volumes inferiores a 300 m³.

Tabela 3 - Tempo de Reverberação estúdio de rádio

f (HZ)	BALÃO 8		BALÃO 10		BALÃO 12		BALÃO 18		DPM*
	TR _m	DPM							
125	0,39	0,06	0,35	0,08	0,34	0,06	0,31	0,09	0,03
160	0,40	0,06	0,38	0,04	0,38	0,04	0,37	0,05	0,01
200	0,29	0,04	0,34	0,03	0,28	0,04	0,31	0,03	0,03
250	0,26	0,05	0,33	0,06	0,21	0,04	0,28	0,04	0,05
315	0,17	0,01	0,18	0,03	0,19	0,04	0,24	0,04	0,03
400	0,15	0,02	0,17	0,02	0,17	0,03	0,14	0,02	0,02
500	0,14	0,02	0,13	0,01	0,12	0,03	0,13	0,02	0,01
630	0,13	0,03	0,14	0,02	0,14	0,03	0,13	0,01	0,01
800	0,14	0,01	0,15	0,03	0,15	0,03	0,15	0,02	0,00
1.000	0,14	0,02	0,15	0,01	0,15	0,01	0,16	0,03	0,01
1.250	0,14	0,02	0,15	0,02	0,15	0,02	0,15	0,02	0,00
1.600	0,15	0,02	0,15	0,01	0,16	0,02	0,16	0,01	0,01
2.000	0,15	0,01	0,16	0,02	0,17	0,02	0,16	0,02	0,01
2.500	0,15	0,02	0,16	0,01	0,17	0,02	0,16	0,02	0,01
3.150	0,15	0,01	0,16	0,01	0,16	0,02	0,15	0,01	0,01
4.000	0,13	0,02	0,14	0,01	0,15	0,02	0,14	0,01	0,01
5.000	0,13	0,01	0,13	0,01	0,14	0,01	0,13	0,01	0,01
6.300	0,13	0,01	0,13	0,01	0,14	0,01	0,13	0,01	0,01
8.000	0,13	0,01	0,14	0,01	0,14	0,01	0,13	0,01	0,01
Média do DPM	0,09		0,09		0,08		0,07		

TR_m – tempo de reverberação médio; DPM – desvio padrão da média; DPM* – diferentes balões

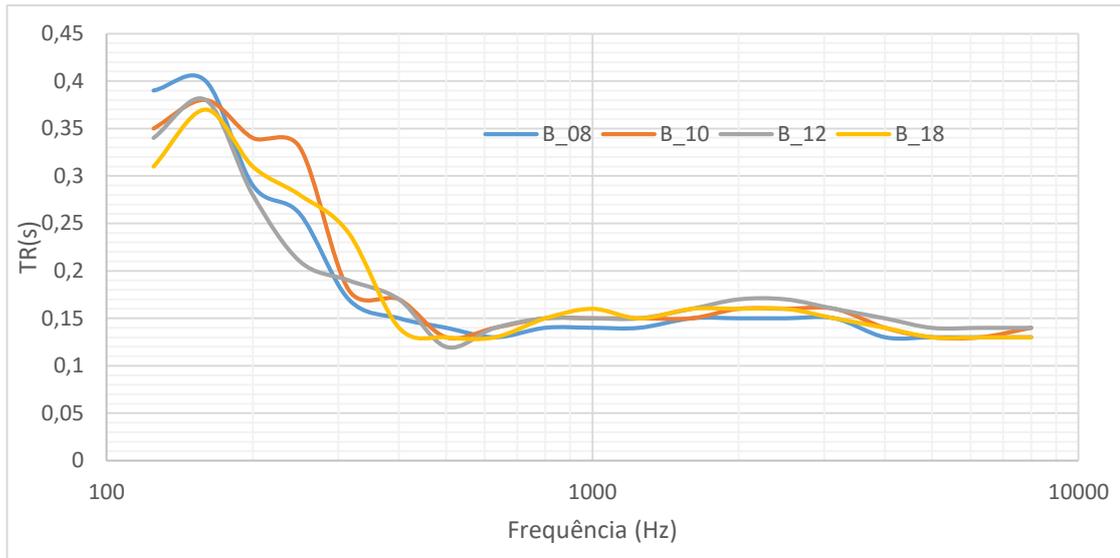


Figura 8 - Tempo de Reverberação do Estúdio, balões 8, 10, 12 e 18

As Figuras 9 e 10 apresentam o cálculo do TR utilizando os balões 8 e 18 respectivamente, conforme pode ser observado, os NPS que o balão 8 atinge para baixas frequências são bem menores quando comparado o 18 e também quando comparados com frequências mais elevadas. Estes resultados indicam que para locais no qual o som residual em baixas frequências apresente valores mais elevados, os resultados do TR podem ser comprometidos.

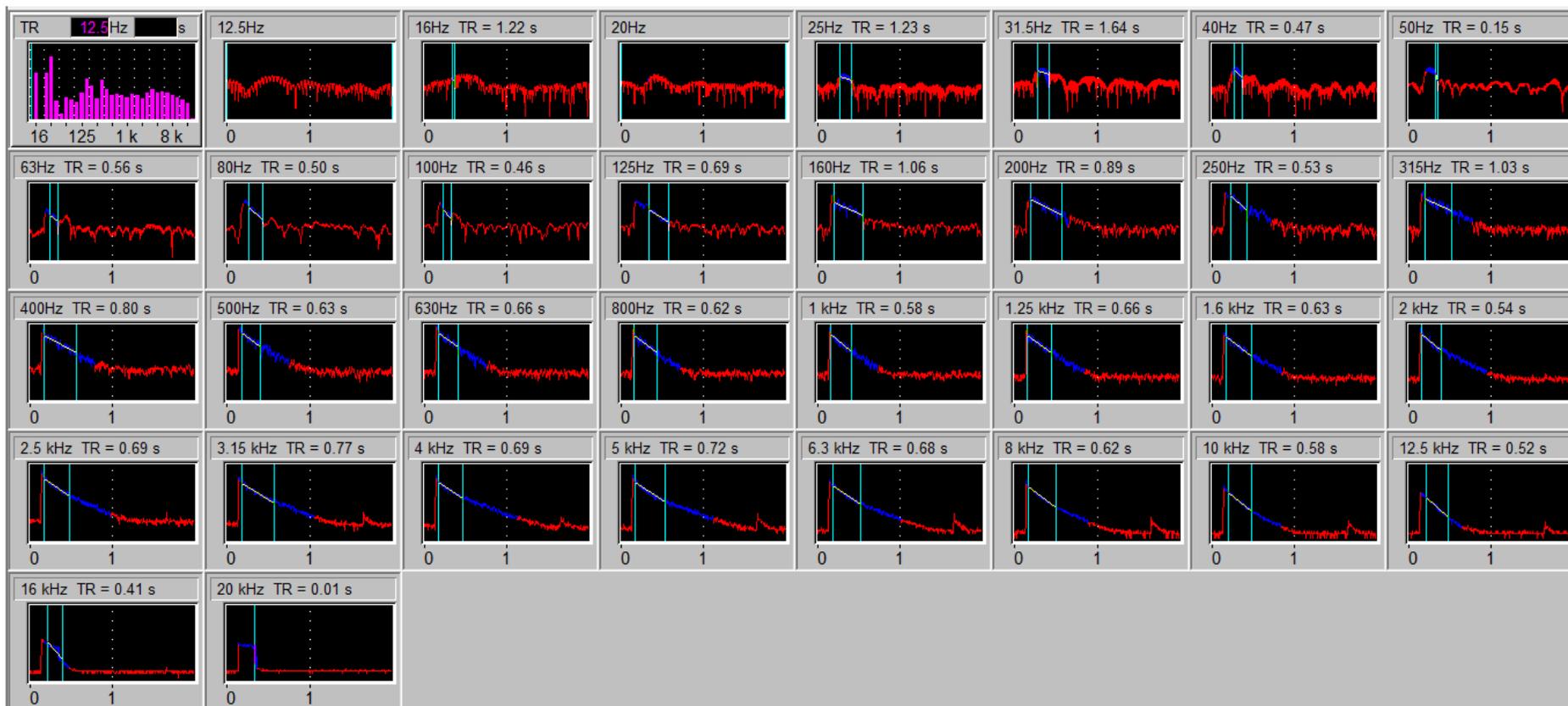


Figura 9 - Cálculo do TR, bañõ 8

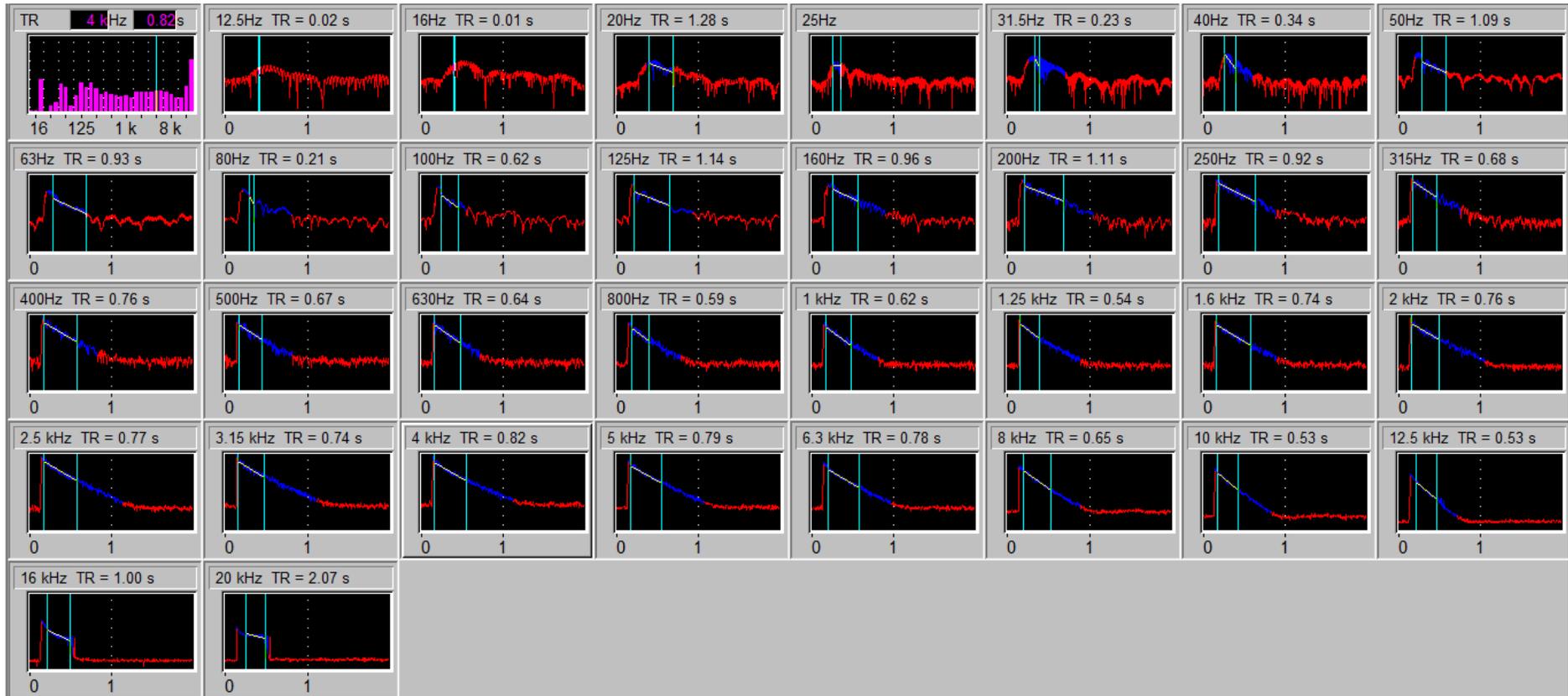


Figura 10 - Cálculo do TR, balão 18

5.3. Isolamento entre paredes de unidades habitacionais autônomas

O tempo de reverberação foi aferido utilizando o método de ruído impulsivo, utilizando balões de tamanho 12. Todos os estouros foram feitos na sala receptora, sendo feito mesma posição adotada. A Tabela 4 apresenta a média dos valores encontrados.

Tabela 4 - Tempo de Reverberação Vega Engenharia

f(Hz)	RT(s)
125	2,86
250	3,11
500	2,99
1000	2,44
2000	1,98
4000	1,64

O Som Residual na câmara receptora foi medido com o medidor de pressão sonora em duas posições distintas, os resultados da diferença entre o sinal e o ruído de fundo na câmara de recepção estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Som Residual Vega Engenharia

f(Hz)	R(dB)
125	36,0
250	37,0
500	38,6
1000	35,9
2000	33,1
4000	25,7

Como pode ser observado o ruído de fundo está muito abaixo do nível de pressão sonora medido na câmara de recepção durante o ensaio, Noise Criteria NC = 35 dB. O resultado da avaliação do NC está apresentado na Figura 11.

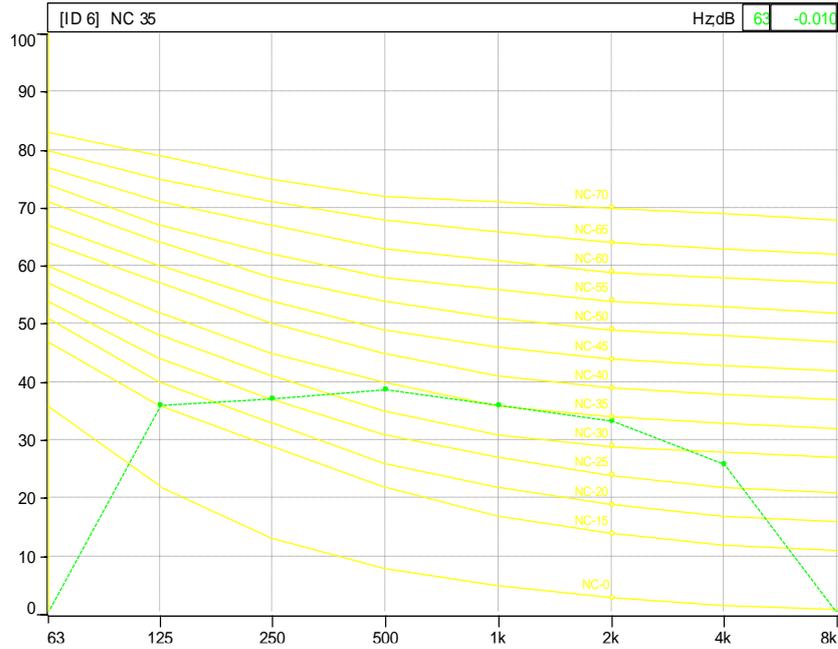


Figura 11 - Noise Criteria

A seguir estão apresentados os resultados do índice de redução sonora, na Tabela 6, estão os valores numéricos, calculados de acordo com a norma ISO 140-4.

Tabela 6 - Índice de redução sonora Vega Engenharia

f(Hz)	DnT,w(dB)
125	49,1
250	54,8
500	62,8
1000	63,0
2000	61,9
4000	67,9

A Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w (C; Ctr)), seguindo as recomendações da ISO 140-4, foi de 62 dB. Os resultados da isolação estão apresentados na Figura 12.

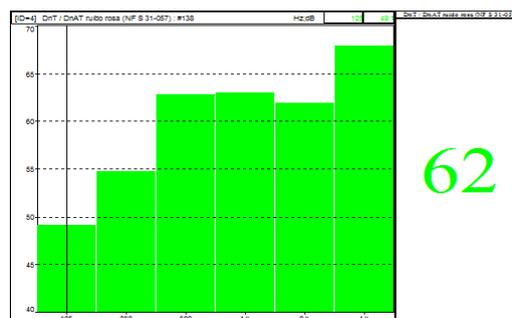


Figura 12 - Diferença Padronizada de Nível Ponderada

De acordo com a NBR 15.575 a isolação do ruído aéreo foi classificada como superior, pois o parâmetro DnT,w aferido foi acima de 55 dB.

6. CONCLUSÃO

A avaliação do tempo de reverberação utilizando o método do ruído impulsivo com o estouro de balões de látex se mostrou eficiente e prática, indicando que pode ser utilizada na avaliação da isolação de ruídos aéreos e de impacto.

Foi constatado que os balões com maiores volumes apresentaram excitações mais elevadas em baixas frequências.

Em relação ao tamanho de balão a ser utilizado o mais indicado seria o de 18 polegadas, pois apresentou o menor desvio padrão em todos os ambientes avaliados. Entretendo o balão 18 apresenta certa dificuldade para ser inflado.

Assim, para ambientes com volumes típicos encontrados nas residenciais e em locais e horários cujo som residual não seja elevado nas bandas de baixas frequências, o balão de 12 polegadas pode ser utilizado para avaliar o tempo de reverberação.

Na avaliação realizada *in situ*, o método utilizado se mostrou eficiente além de reduzir o tempo necessário para a avaliação de tempo de reverberação de um ambiente. O valor encontrado para a isolação do ruído aéreo de 62 dB, considerado pela norma como superior.

7. REFERÊNCIAS

ABNT (2019) *NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o Conforto da Comunidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

Avaliação de desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a Norma de Desempenho NBR 15.575.
<http://www.sinduscondf.org.br/portal/userfiles/file/Avaliacao%20do%20desempenho%20acustico%20de%20edificacoes.pdf>. Acesso em 05/09/2017.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção, CBIC, 2013. Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.

COSTA, Daniel Temóteo Pereira da. Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo. 2018. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília – UniCEEUB, Brasília, 2018.

DAGA, Clarice Cavalcante, Brasília 2017. Performance acústica do sistema de vedação em bloco de concreto preenchido com argamassa: estudo de caso em edificação habitacional. Trabalho de pós-graduação, UniCEUB.

FERREIRA NETO, Maria de Fatima, & BERTOLI, Stelamaris Rolla. (2010). Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. *Ambiente Construído*, 10(4), 169-180.

FRIAS Pierrard e AKKERMAN, D., Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (Pro Acústica), 2013. Manual Pro Acústica sobre a Norma de Desempenho Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013. Edificações habitacionais – Desempenho.

GOMES, Felipe Fajoli. Avaliação das condições de conforto acústico de um auditório de múltiplo uso. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. ISO, 1998.

_____. **ISO 10052**, Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of equipment sound - Survey method. ISO, 2004.

_____. **ISO 15186-2**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity – Part 2: Field measurements. ISO, 2003.

_____. **ISO 16283-1**, Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. ISO, 2014.

_____. **ISO 18233**, Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics. ISO, 2006.

_____. **ISO 3382-2**, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. ISO, 2008.

_____. **ISO 354**, Acoustics – Measurements of sound absorption in a reverberation room. ISO, 2003.

_____. **ISO 717**, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. ISO, 2013.

KERN, Andrea Parisi, SILVA, Adriana, KAZMIERCZAK, Claudio de Souza, 2014. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) E Brasil (NBR 15575/ 2013). Disponível em

<http://www.journals.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/89989/92778>. Acesso em 05 de março de 2018.

LOPES Cordovil, Rio de Janeiro 2013. Estudo da ABNT NBR 15575–“Edificações habitacionais–Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro.

PAIXÃO, D. X. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando Análise Estatística de Energia (SEA). 2002. 182 f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2002.

SINDUSCON e ADEMI-DF, 2014. Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca, ZUCHETTO, Letícia Kauer, SOUZA, Rodrigo Périco de, & OLIVEIRA, Maria Fernanda Nunes de. (2017). Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. *Ambiente Construído*, 17(3), 295-306.

APÊNDICE

Tabela 7 - Som residual no Laboratório – NPS (dB(A))

F (Hz)	N° 08	N° 10	N° 12	N° 18
125	46,30	45,10	45,90	45,60
160	44,10	46,50	46,10	45,40
200	44,70	46,40	44,00	44,90
250	45,50	45,50	44,80	48,00
315	43,90	45,40	42,80	45,80
400	41,90	45,60	42,10	46,10
500	41,70	41,80	42,60	43,70
630	38,70	39,00	39,00	40,60
800	37,70	38,00	37,90	39,00
1.000	35,70	34,90	34,90	37,90
1.250	33,50	33,40	32,70	36,00
1.600	31,10	29,90	30,00	34,50
2.000	30,00	28,70	27,90	31,60
2.500	27,20	26,80	25,10	28,80
3.150	22,40	23,00	20,60	31,00
4.000	19,20	20,90	18,00	33,10
5.000	15,50	18,20	14,80	28,70
6.300	13,50	16,00	12,20	27,90
8.000	9,20	12,10	9,20	21,60

Tabela 8 - Som residual no estúdio – NPS (dB(A))

F (Hz)	N° 08	N° 10	N° 12	N° 18
125	45,50	45,50	45,50	45,50
160	37,20	37,20	37,20	37,20
200	36,40	36,40	36,40	36,40
250	36,20	36,20	36,20	36,20
315	33,60	33,60	33,60	33,60
400	33,00	33,00	33,00	33,00
500	32,50	32,50	32,50	32,50
630	33,40	33,40	33,40	33,40
800	34,80	34,80	34,80	34,80
1.000	33,00	33,00	33,00	33,00
1.250	34,50	34,50	34,50	34,50
1.600	38,50	38,50	38,50	38,50
2.000	37,10	37,10	37,10	37,10
2.500	35,60	35,60	35,60	35,60
3.150	33,50	33,50	33,50	33,50
4.000	31,80	31,80	31,80	31,80
5.000	31,50	31,50	31,50	31,50
6.300	25,10	25,10	25,10	25,10
8.000	14,80	14,80	14,80	14,80

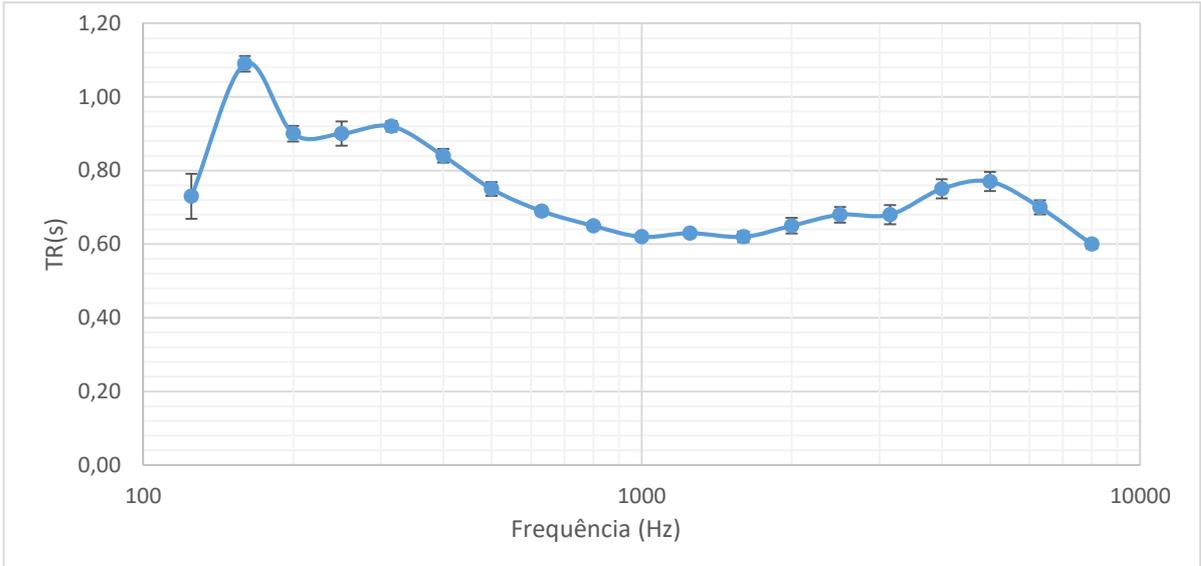


Figura 13 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão nº 8)

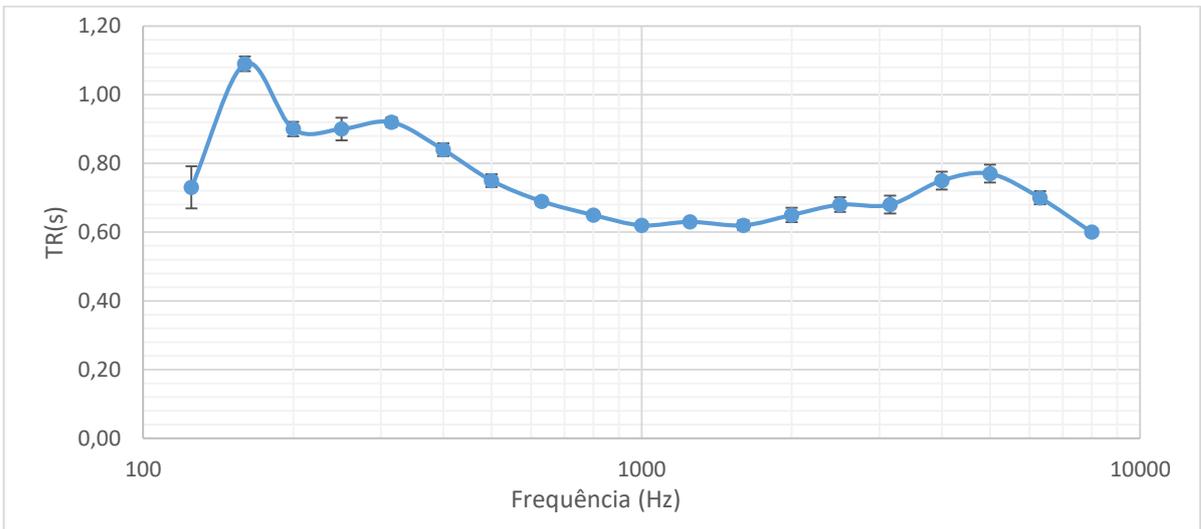


Figura 14 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão nº 10)

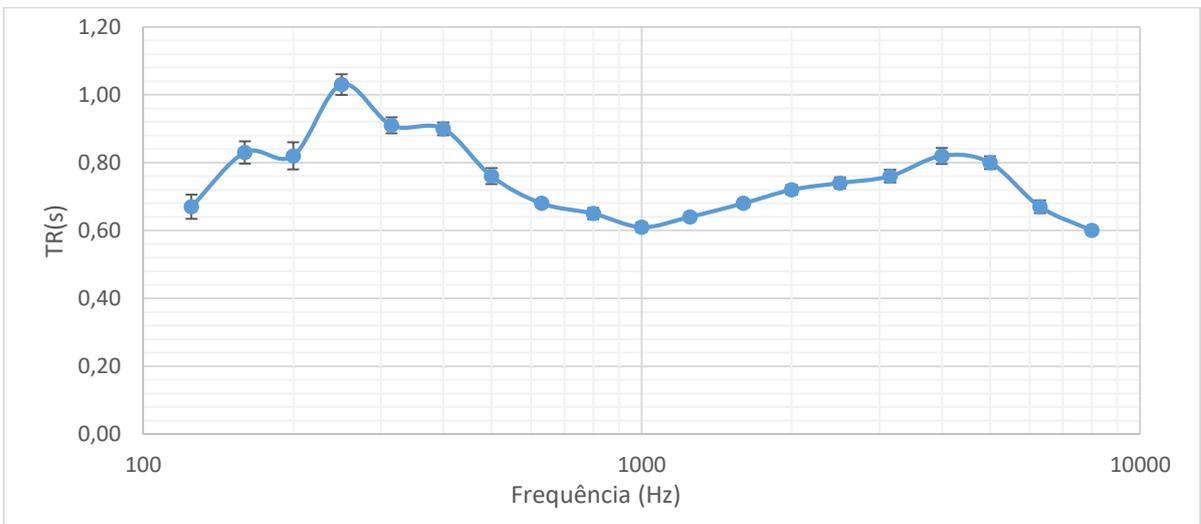


Figura 15 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão nº 12)

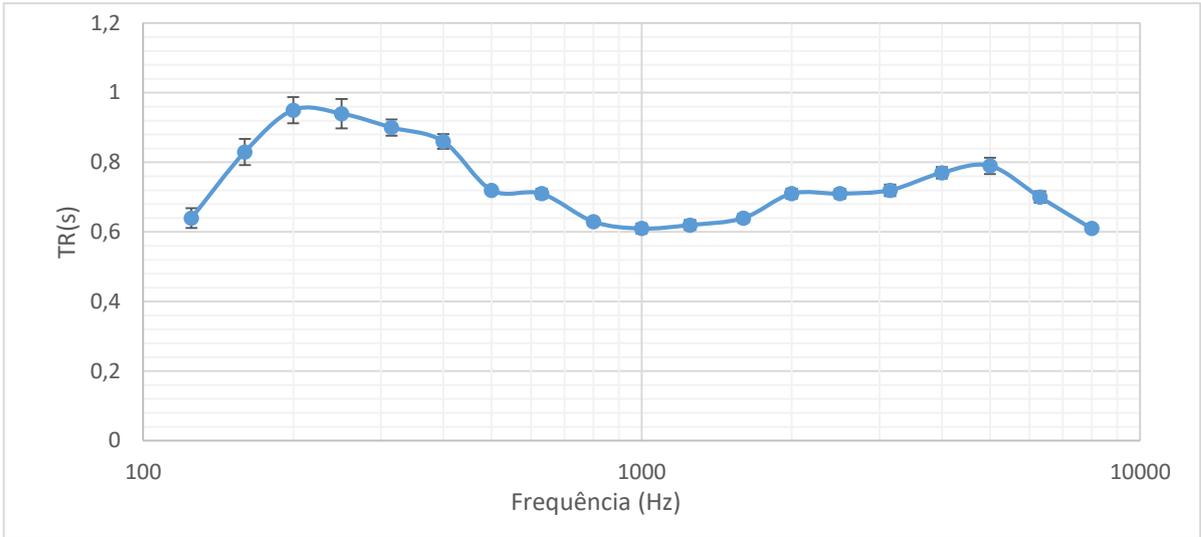


Figura 16 - Tempo de Reverberação do Laboratório (balão nº 18)

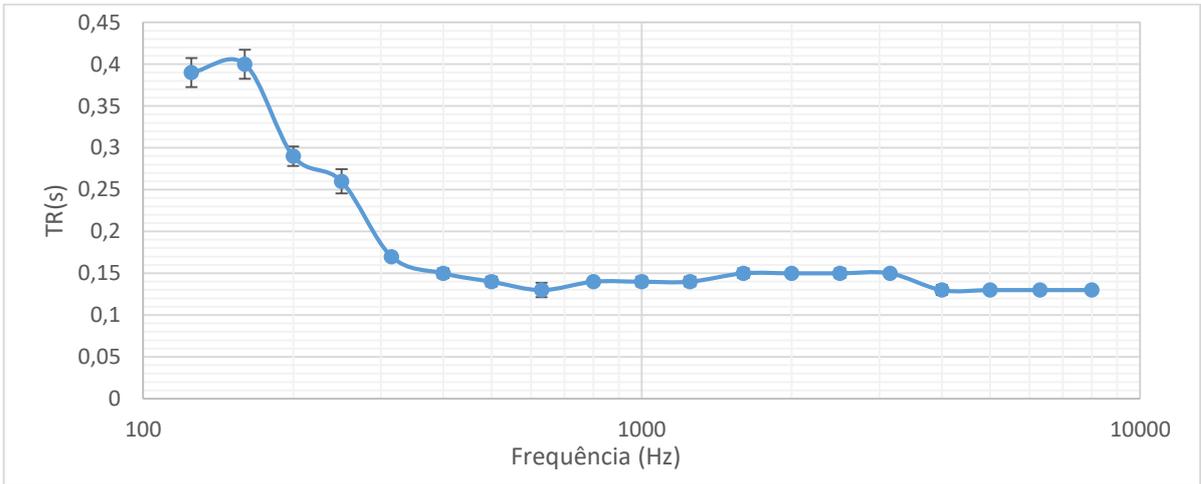


Figura 17 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão nº 8)

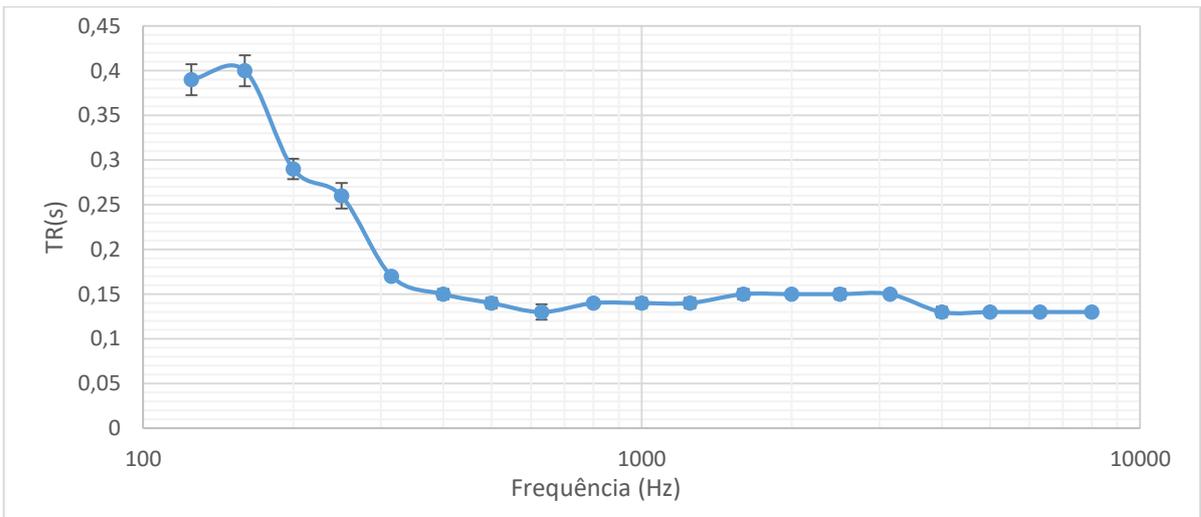


Figura 18 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão nº 10)

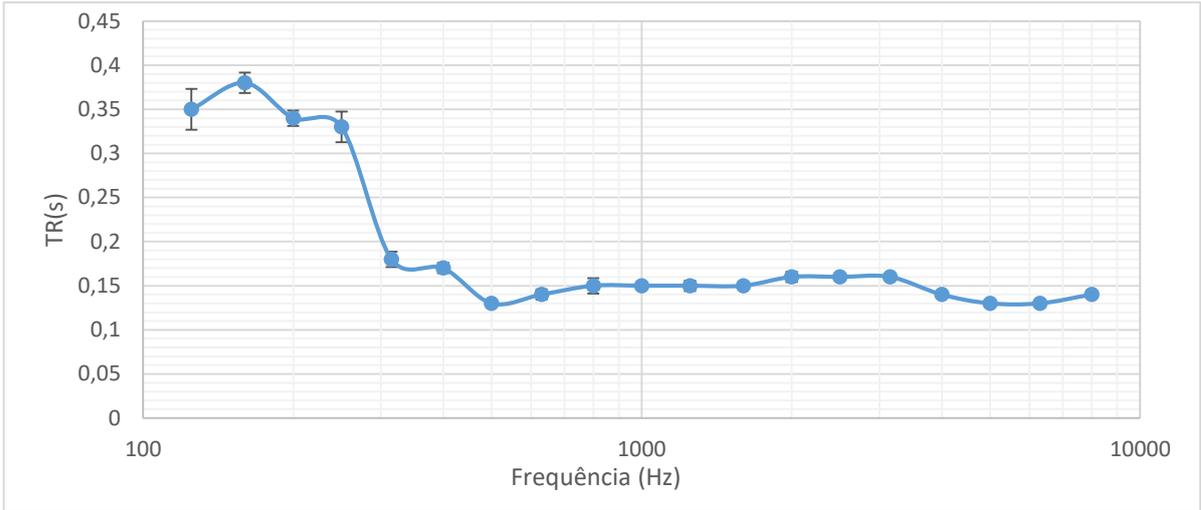


Figura 19 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 12)

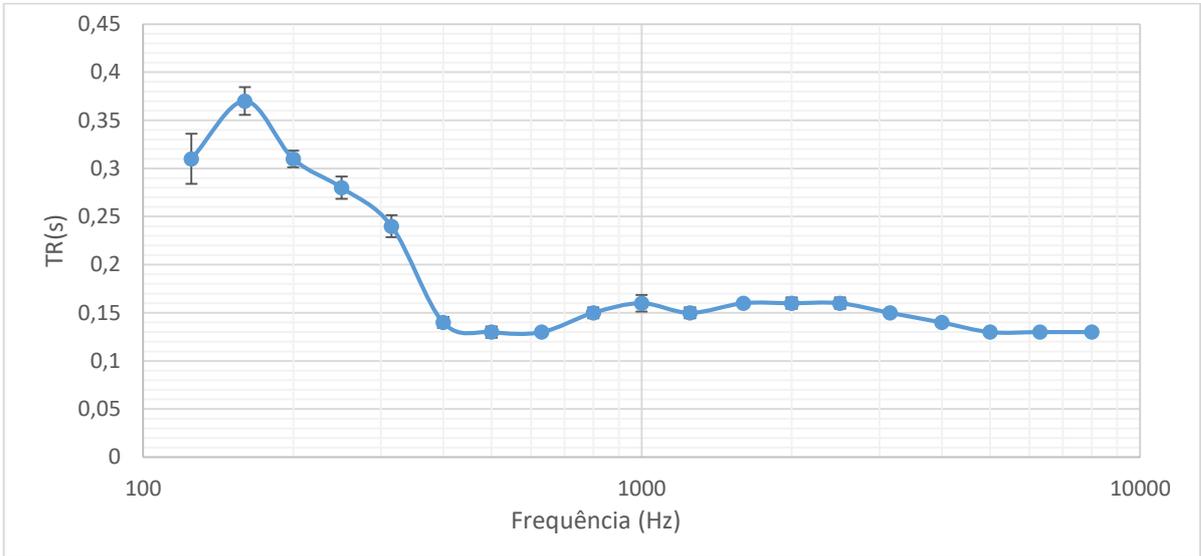


Figura 20 - Tempo de Reverberação do Estúdio (balão n° 18)