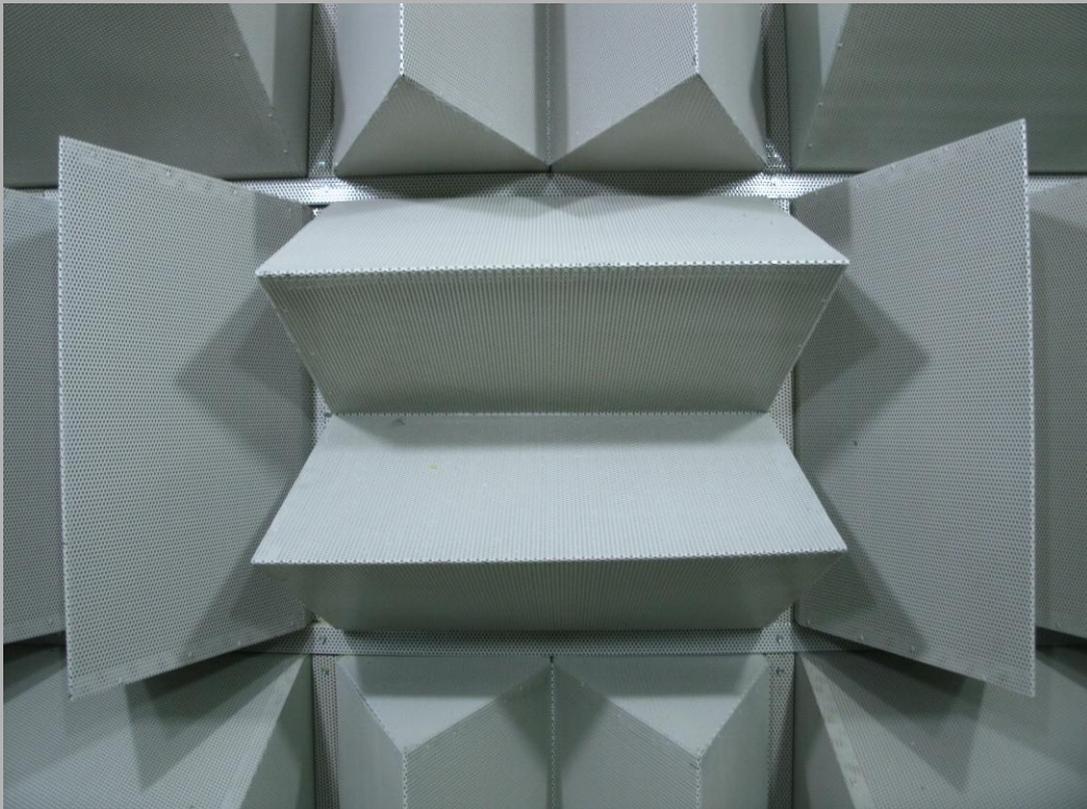


CÂMARAS ANECÓICAS



PRINCÍPIOS DE PROJETO

USP POLI-INTEGRA

Daniel Luiz de Barros Krempel – nº. 9526312 - Turma: 2015

Orientador: Profº. Doutor José Luis Bento Coelho

*São Paulo – S. P.
2015*

Sumário

1. Introdução:	04
1.1. Histórico	04
1.1.1. <i>Leo L. Beranek</i>	04
2. Objetivos:	05
2.1. Usos	06
2.2. Desenvolvimento	06
2.2.1. <i>Cunhas Acústicas</i>	07
2.3. Aplicações	08
3. Normatização:	08
3.1. Certificação das Cunhas	08
3.1.1. <i>Tubo de Impedância</i>	08
3.1.2. <i>Resultado de Desempenho</i>	09
3.2. Certificação de Câmaras	10
3.2.1. <i>Variações Máximas</i>	10
4. Projeto:	10
4.1. Cálculos	12
4.1.1. <i>Comprimento ou Largura da Câmara</i>	12
4.1.2. <i>Altura da Câmara</i>	12
4.1.3. <i>Altura das Cunhas</i>	13
4.2. Dimensionamento	13
4.2.1. <i>Frequência de Corte</i>	14
4.3. Considerações	16
4.3.1. <i>Isolamento Paredes e Teto</i>	16
4.3.2. <i>Portas</i>	16
4.3.3. <i>Piso Interno</i>	17
4.3.4. <i>Ventilação</i>	17
4.3.5. <i>Passa Cabos</i>	17

4.3.6. Sistema Elétrico	17
4.4. ISO's	18
5. Estudo de Caso:	18
5.1. Qualificação	20
5.2. Exemplos	21
6. Considerações Finais	23
7. Bibliografia:	24

1. Introdução:

O presente trabalho tem como objetivo apresentar, analisar, dimensionar e projetar, uma câmara anecóica, inserido no contexto de práticas de gestão de projeto e destacando algumas instalações, especificando o uso de materiais e a certificação de seus resultados.

A indagação desse trabalho começou a partir da constatação do déficit de laboratórios acústicos no Brasil e da qualidade dos que estão disponíveis para os empresários.

1.1. Histórico:

A primeira câmara anecóica foi baseada em uma geometria estabelecida pelos Srs. Beranek e Sleeper na Universidade de Harvard.

Durante a 2ª Guerra Mundial o Comitê Nacional de Defesa dos Estados Unidos da América, organizada pelo exército, por meio do Conselho Nacional de Pesquisa, criou dois projetos em Harvard para ver o que poderia ser feito sobre o ruído em veículos militares, particularmente na aeronave. Sleeper foi encarregado do grupo para investigar os efeitos fisiológicos e psicológicos do ruído no pessoal, e Beranek foi colocado no comando de um grupo para medir o ruído e ver como poderia ser controlado.

1.1.1. Leo L. Beranek:

Beranek identificou que o maior problema causado pelo ruído no ambiente militar, era sobre as comunicações, nesta época ainda se usava código Morse, devido aos precários equipamentos existentes. Isso foi importante porque os microfones e fones de ouvido militares não tinham sido melhorados desde a década de 1920. Assim, os dois grupos revisaram as especificações militares relativas a equipamentos de comunicação de voz.

O grupo de Beranek trabalhava então para criar novo critério de aceitabilidade para os ruídos de fundo quando a comunicação é importante e passou a estudar meios de arquitetar cabines de avião para satisfazer os esses critérios.

No decorrer destes estudos, Beranek concebeu e construiu a primeira câmara anecóica em que foram usadas cunhas de fibra de vidro. Apesar do ceticismo de vários especialistas famosos, o revestimento acabou de absorver consideravelmente mais do que 99% do som incidente, através de uma vasta gama de frequências, como Beranek tinha previsto.

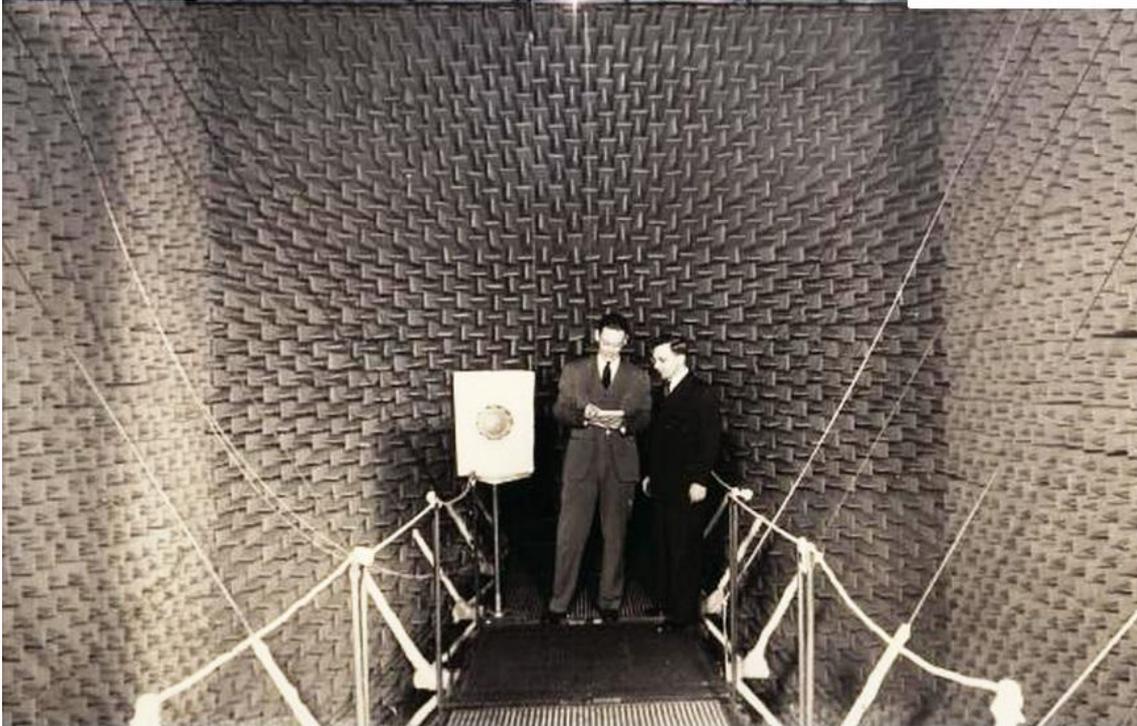


Figura 01: Primeira Câmara Anecóica anos 40, conhecida na época por Beranek's Box (Leo Beranek a direita).

Fonte: https://books.google.com.br/books?id=2S3ICAAAQBAJ&pg=PA48&lpg=PA48&dq=BBN+ANECHOIC&source=bl&ots=hWMGEY9_Qz&sig=Pnp1Bd7GI0kBdezLQIbsJoZvI&hl=ptBR&sa=X&ved=0CD8Q6AEwBWoVChMIn_uu1Jf5xwIVyqoeCh3UDgRH#v=onepage&q&f=true

2. Objetivos:

Câmaras anecóicas tem o objetivo de absorver energia do som em todas as direções e assim proporcionar um ambiente livre de reflexões para ensaios acústicos. Ela nos permite medir apenas o equipamento testado sem a interferência do som refletido em outras superfícies.

Elas também são isoladas de ruídos externos, para que estes não interfiram nos resultados.

A combinação de alto grau de isolamento e grande nível de absorção, simula um espaço aberto e de dimensões infinitas como em um "campo livre".

Em um ambiente de "campo livre" ideal, a lei do inverso do quadrado funciona perfeitamente. Isto significa que o nível de som a partir de uma fonte esféricamente irradiado diminui 6 dB a cada dobro da distância da fonte.

Para um "campo livre" existir com características na lei do inverso do quadrado, os limites da sala devem ter um coeficiente de absorção sonora em todos os ângulos de incidência.

O interior de uma câmara anecoica é muito silencioso, com níveis de ruído na faixa de 10–20 dB(A). Existem algumas câmaras anecoicas onde é possível medir um nível de ruído abaixo de 0 dB(A), que é o limite onde o ouvido humano pode detectar sons, portanto um ser humano em uma câmara como essa, poderia ter a sensação de total ausência de som.

2.1. Usos:

Câmaras anecoicas são utilizadas em desenvolvimento de produtos, para isso, toda a energia sonora estará viajando pra longe de sua fonte, com nenhuma reflexão de volta.

Câmaras semi-anecoicas tem um chão sólido que atua como uma superfície para suportar itens pesados, como carros, máquinas de lavar ou equipamentos industriais. Este chão é amortecido de modo a isolá-lo de vibrações externas.

Experimentos comuns nestes ambientes incluem medir a direção da radiação do ruído, de um equipamento, de alto-falantes, componentes de veículos, motores em geral, equipamentos eletrônicos, eletrodomésticos e brinquedos infantis.

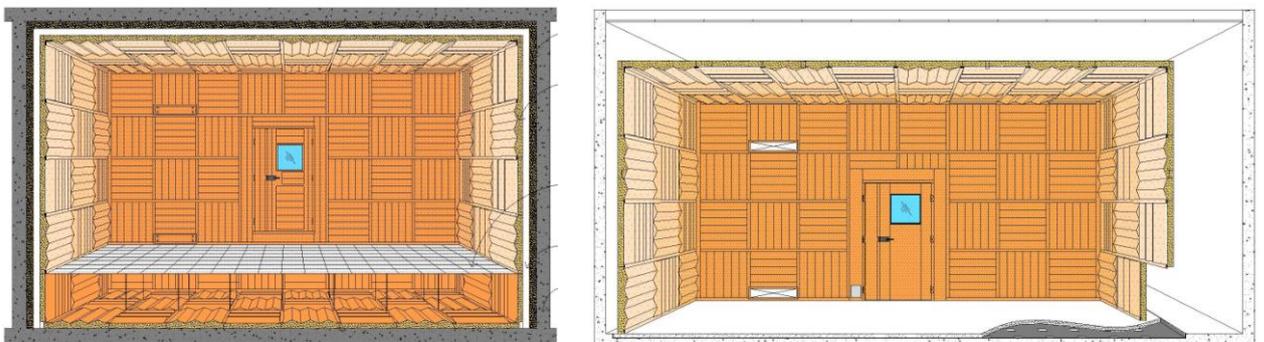


Figura 02: Câmara anecoica e semi-anecoica, uma com piso absorvente e outra refletivo.

2.2. Desenvolvimento:

As Câmaras Anecoicas são enclausuramentos livres de eco com um nível de absorção sonora da ordem de 99% até 100%.

A frequência, a partir da qual a absorção sonora é superior a 99%, é conhecida como a frequência corte ou *Cut-Off*.

A absorção sonora é obtida pelo revestimento das paredes, teto e piso, por cunhas ou outros elementos absorventes, tais como painéis acústicos, dependendo do nível de desempenho requisitado e do *Cut-Off* necessário.

O coração de qualquer câmara anecóica é a absorção, e deve ser a primeira especificação do seu projeto, uma vez que irá determinar a maior parte dos custos. Os revestimentos de câmaras anecóicas correspondem aos mais avançados conceitos tecnológicos quanto ao projeto, fabricação e instalação de materiais acústicos.

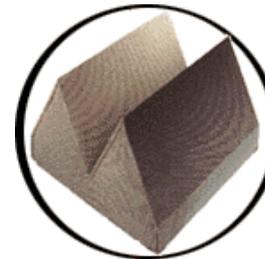
Atualmente, são oferecidas no mercado cunhas absorventes compostas ou por lã de vidro, por espuma, ou por metal perfurado, sistema que descreveremos no estudo de caso.

2.2.1. Cunhas Acústicas:

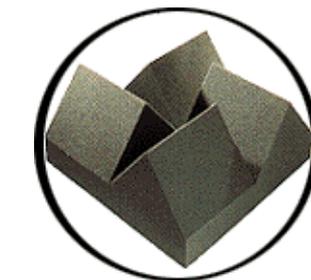
Cunha *standard* corresponde ao projeto original instalado na primeira câmara idealizada pelo Sr. Beranek na Universidade de Harvard, executada com lã de vidro de alta densidade e sem acabamento externo, deixando o material aparente.



Cunha metálica corresponde a execução do projeto original com revestimento de chapa metálica perfurada para proteção mecânica. Usando uma chapa #22 (de aço ou de alumínio) com perfuração adequada, o metal é a nível acústico virtualmente transparente.



Cunha de espuma (poliuretano e melamina) oferecem características acústicas aceitáveis em diversas aplicações e pode ser mais econômica que outros tratamentos. As câmaras usando cunhas de espumas devem incorporar um sistema contra incêndio eficiente porque as cunhas de espuma são perigosas no caso de entrarem em combustão.



Painel cunha foram desenvolvidos para oferecer uma alternativa às cunhas anecóicas, quando não se exige uma alta eficiência da câmara, mas sim uma sala quieta, com *Cut-Off* acima de 200Hz. Uma estrutura nova ou existente pode ser revestida com estes Painéis Cunha de alto desempenho, criando um ambiente satisfatório para testes acústicos de produtos e medições dos ruídos.



2.3. Aplicações:

Para um melhor entendimento da aplicação de uma câmara, o solicitante deve preencher um questionário, para não ocorrer nenhuma divergência ao longo do projeto ou no pior dos casos durante a instalação.

Por tanto a primeira definição na construção de uma câmara anecóica é saber o tipo de teste que será realizado, que pode ser de controle de qualidade, pesquisa e desenvolvimento ou conformidade.

Então verificar as normas específicas do fabricante, para atender as condições de campo livre acima do *Cut-Off* necessário para o seu uso, e a partir do volume máximo do objeto a ser analisado, definir as suas dimensões mínimas internas da câmara.

Outras questões deverão ser elucidadas, desde detalhes do ruído de fundo e vibração da área onde será instalado, verificar os acessos, seus tamanhos e quantidades de portas tanto para dentro da câmara como até o local de instalação, requisito de iluminação, ventilação, climatização, combate a incêndios e também a considerar de resistência a abalos sísmicos.

3. Normatização:

3.1. Certificação das Cunhas:

Os testes de eficiência das cunhas são realizados usando o método do tubo de impedância para atender os critérios de livre-campo da norma **ISO 3745**, o revestimento da parede é obrigado a ter um coeficiente de absorção α de incidência, não inferior a 0,99 quando testado em um tubo de impedância.

Uma a cada cem cunhas produzidas, deve ser testada de maneira a verificar o desempenho e a frequência de corte. O teste é realizado de acordo com a Metodologia do Tubo de Impedância – **Norma ASTM-C 384-90a**. As cunhas ou os elementos de absorção sonora devem possuir uma frequência de corte em *Hertz (Hz)*. Acima desta frequência, devem possuir um coeficiente de absorção sonora de 0,99 ou um percentual da pressão sonora refletida de 10% ou menos.

3.1.1. Tubo de Impedância:

O tubo de impedância é projetado usando a orientação estabelecida na norma **ISO 10534-1**, as paredes são construídas com 140 milímetros de espessura de concreto e uma abertura de ar 100 milímetros para garantir o

mínimo de perdas e aumentar a precisão das medições. O comprimento do tubo limita-se ao comprimento de onda da menor frequência de medição (40 Hz), e suas dimensões transversais do tubo é grande o suficiente para testar as cunhas de maior tamanho maior.

O equipamento é muito simples, as únicas medições exigidas são os níveis de pressão sonora em várias posições ao longo do tubo. Para cada frequência de interesse, um alto-falante emite um tom puro que cria uma onda estacionária dentro do tubo e um microfone atravessa automaticamente este campo de som e mede o nível de pressão sonora em cada ponto, registrando os valores máximo e mínimo. O coeficiente de absorção é determinado a partir da razão entre o valor máximo para o mínimo nível de pressão sonora no tubo.

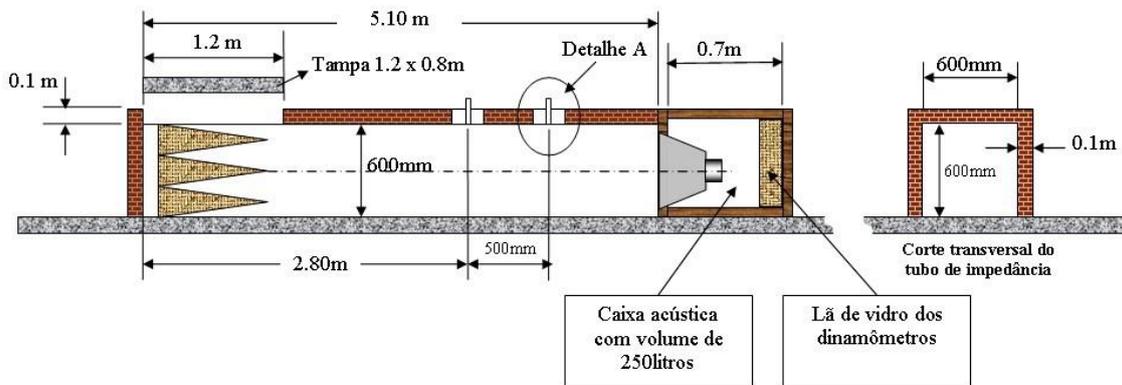


Figura 03: Detalhe dos cortes do projeto de um Tubo de Impedância da empresa Mahle.

3.1.2. Resultado de Desempenho:

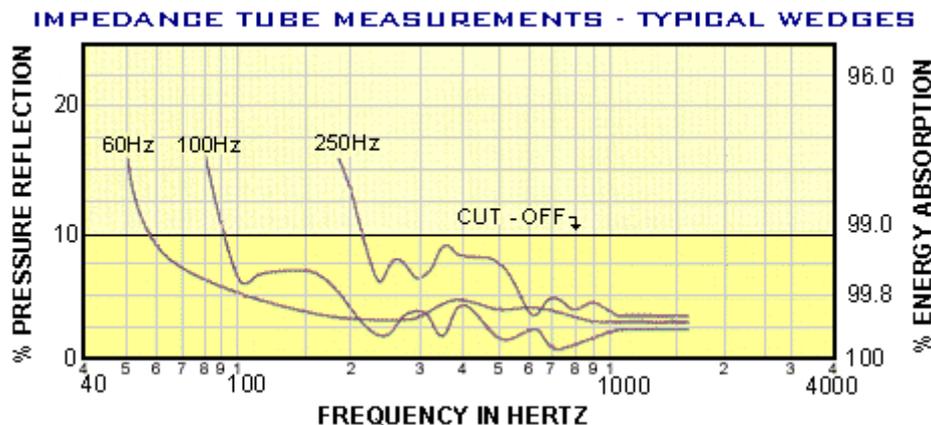


Figura 04: Tabela de desempenho de diferentes cunhas testadas.

Além do método do tubo de impedância, as cunhas anecóicas também são testadas conforme a **ISO 354**, "Medição de absorção acústica em um quarto de reverberação." Ao realizar esse teste adicional, pode-se assegurar que cada cunha apresenta características de absorção excelentes nas frequências acima do limite superior do tubo de impedância.

3.2. Certificação de Câmaras:

Uma vez que a câmara é devidamente concluída, um teste deverá ser realizado de maneira a confirmar o desempenho da mesma. O teste será realizado de acordo com as normas **ISO 3745** – Lei do Inverso Quadrado.

Assim como as cunhas, a câmara deve possuir uma absorção sonora acima da frequência de corte de 0,99 ou um percentual da pressão sonora refletida de 10% ou menos.

3.2.1. Variações Máximas:

As normas **ISO 3745** da Lei do Inverso Quadrado determina o máximo de variações autorizadas nos resultados da câmara, conforme tabela abaixo:

Tipo de Câmara	Terças de Bandas de Oitavas - Hz	Permitido ± dB
Anecóica	< 630	1,5
	800 a 5000	1,0
	> 6300	1,5
Semi Anecóica	< 630	2,5
	800 a 5000	2,0
	> 6300	3,0

4. Projeto:

O projeto do laboratório a ser apresentado, será destinado à realização de Pesquisas e Desenvolvimentos de computadores pessoais, além de realizar certificações de conformidade destes equipamentos.

Como a dimensão da câmara é proporcional ao objeto a ser testado, decidi investigar um produto pequeno e que esta no nosso cotidiano, e assim desenvolver um projeto que não tenha dimensões grandes demais.

Na norma **ECMA-74**, que originou a **ISO-7779**, são indicados os diferentes tipos de ambientes aonde podem ser realizados tais ensaios.

Em muitos casos, as medições são realizadas em salas semi anecóicas, que podem ser particularmente úteis durante o processo de desenvolvimento de produtos e também evidencia as contribuições das fontes sonoras individuais.

As salas reverberantes podem ser mais econômicas para controle de produção e para se medir Níveis de Potencias Sonoras, com a finalidade de emissão de declaração de conformidade, que a **ISO-9296** estabelece.

No *Standard ECMA-74*, algumas exigências em relação ao posicionamento dos microfones são feitas, sendo que um raio de 1m ao redor do objeto corresponde ao posicionamento ideal, e que posicionamentos abaixo de 0,5 m de distancia do objeto são recusados. Na altura, o posicionamento do microfone deverá ser de 1 m.

Para padronizar a posição dos microfones e ter exatidão nas comparações dos resultados dos testes, é utilizado um globo que fixa os microfones sempre na mesma posição, como no exemplo na imagem abaixo:



Figura 05: Sistema de posicionamento de microfones.

A imagem abaixo foi retirada da norma **ISO 3745** e demonstra a complexidade da medição e o porquê da utilização desse aparato.

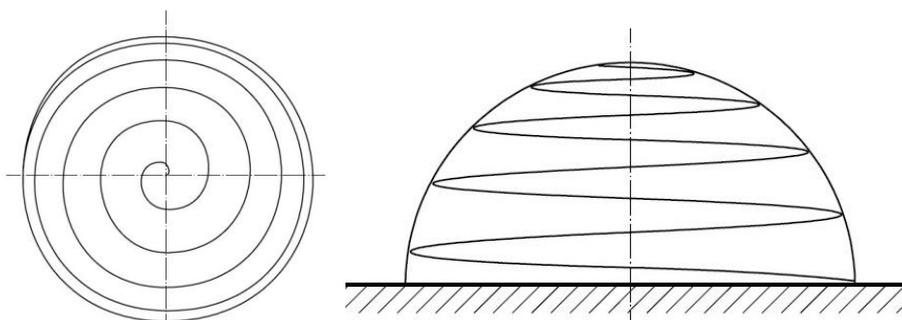


Figura 06: Movimento espiral do posicionamento dos microfones.

4.1. Cálculos:

De acordo com a norma **ISO STANDARD 3745**, o volume preferencial do objeto deve ser da ordem de 0,5% do volume útil da câmara.

Com isto, obteremos a seguinte relação:

$$L \geq 5,88 T$$

sendo: **L** = Comprimento, largura ou altura da câmara.

T = Comprimento, largura ou altura do objeto a ser testado.

É claro que de acordo com o tamanho do objeto a ser testado, as dimensões da câmara podem chegar a serem impraticáveis e/ou resultar num custo proibitivo.

Todavia, a norma **ISO** estabelece também que para a realização de medições, os pontos devem ser situados a uma distancia de no mínimo 1 m do objeto e ainda não estarem a uma distancia inferior ao equivalente de $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda da frequência mínima de análise (*Cut-Off*) em relação as cunhas anecóicas.

Portanto, de acordo com estes requisitos, podemos estabelecer as seguintes relações entre o tamanho do objeto e da sala:

4.1.1. Comprimento ou Largura da Câmara:

$$C_c \text{ (ou } L_c) = C_o \text{ (ou } L_o) + \lambda/4 + 2$$

sendo: **C_c ou L_c** = Comprimento ou largura mínima da câmara – m

C_o ou L_o = Comprimento ou largura máxima do objeto – m

λ = Comprimento da frequência mínima a ser medida – m

4.1.2. Altura Câmara:

$$H_c = A_o + \lambda/4 + 1$$

sendo: **H_c** = Altura mínima da câmara – m

A_o = Altura máxima do objeto – m

λ = Comprimento da frequência mínima a ser medida – m

Apresentamos a seguir, de acordo com as medidas dos objetos a serem testados, as dimensões da superfície hemisférica aonde serão realizadas as medições.

4.1.3. Altura das Cunhas:

Baseado nos estudos de cunha de Beranek. O fator que determina a absorção é a altura da cunha, e está diretamente relacionada à frequência de corte. Esta frequência pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$f_c = c / 4h$$

sendo: **f_c** = Frequência de Corte
c = Velocidade do Som
h = Altura das Cunhas

4.2. Dimensionamento:

Num processo de pesquisas e desenvolvimentos, é preciso possuir um ambiente onde as ondas possam se desenvolver.

Portanto, as dimensões estão diretamente relacionadas com a frequência de corte desejada, ou seja, a frequência acima da qual queremos que 100% das ondas sonoras sejam absorvidas.

De acordo com as normas **ISO-7779** e **ISO-9296**, as medições devem ser realizadas ao mínimo entre as oitavas de frequências de 125 Hz até 8.000 Hz, o que corresponde a realizar medições de 100 Hz até 10.000 Hz, considerando-se as terças de frequências.

	DESTOP mm	NOTEBOOK mm	Distancia Microfone	Medidas Superfície hemisférica
Largura	200	330	500	1200
Profundidade	420	250	500	1420
Altura	400	30	1000	1400

Com estas medidas como referencia, podemos nos ancorar na maior dimensão e colocaremos uma margem chegando a um cubo de 50 cm e acrescentamos um espaço da ordem de 1 m alem da posição dos microfones para deixar espaço de circulação e assim poder efetuar manutenções ou reposicionamentos de microfones sem problemas.

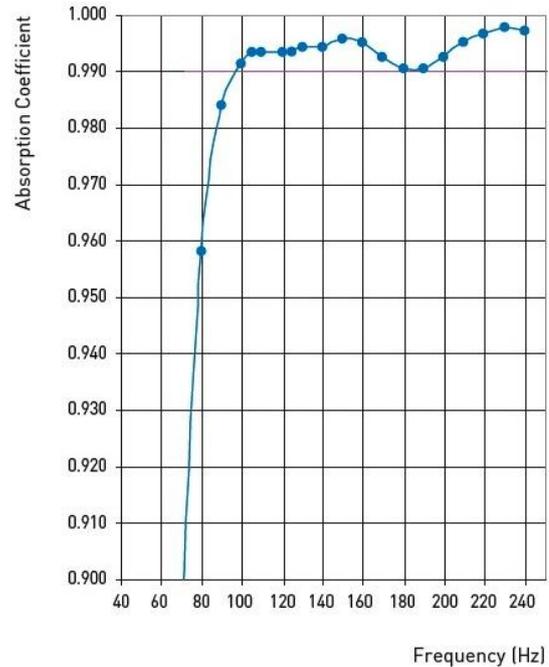
Neste caso, obteremos as seguintes medidas:

- Largura = 2.500 mm
- Profundidade = 2.500 mm
- Altura = 1.500 mm

4.2.1. Frequência de corte de 100 Hz:

A sala escolhida para esse estudo é uma câmara com *Cut-Off* de **100 Hz**, sendo necessário o uso de cunhas que absorvam no mínimo 99% das ondas sonoras incidentes acima desta frequência. Para se certificar do bom resultado e testes devem ser realizados em Tubos de Impedância, o qual deverá atingir os seguintes resultados:

Frequency, Hz	Sound Absorption Coefficient
80	0.958
100	0.992
125	0.994
160	0.995
200	0.993



Resultado de teste realizados de acordo com a norma **ISO 10534-1:1996** “Determinação do coeficiente de absorção sonora e da impedância em tubos - **ASTM C 384-98.**”

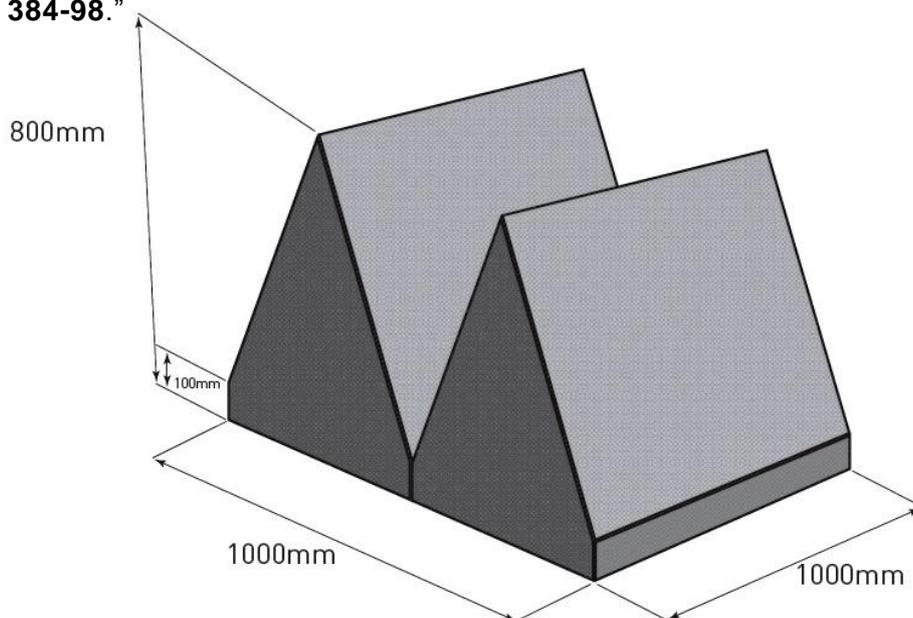


Figura 07: Detalhes das dimensões das cunhas testadas **100Hz Cut-Off.**

Com a definição das cunhas a serem usadas e suas dimensões, podemos então calcular as medidas internas da cabine, conforme tabela a seguir:

Dimensões Câmara Anecoica com <i>Cut-Off</i> de 100 Hz			
	Comprimento	Largura	Altura
Dimensões nominais internas Livres	4,2 m	4,2 m	3,20 m
Dimensões nominais internas da Alvenaria	5,82 m	5,82 m	4,82 m

Abaixo um corte das dimensões da câmara, lembramos que os microfones devem estar a $1/4\lambda$ de distancia das cunhas e a 1 m do objeto.

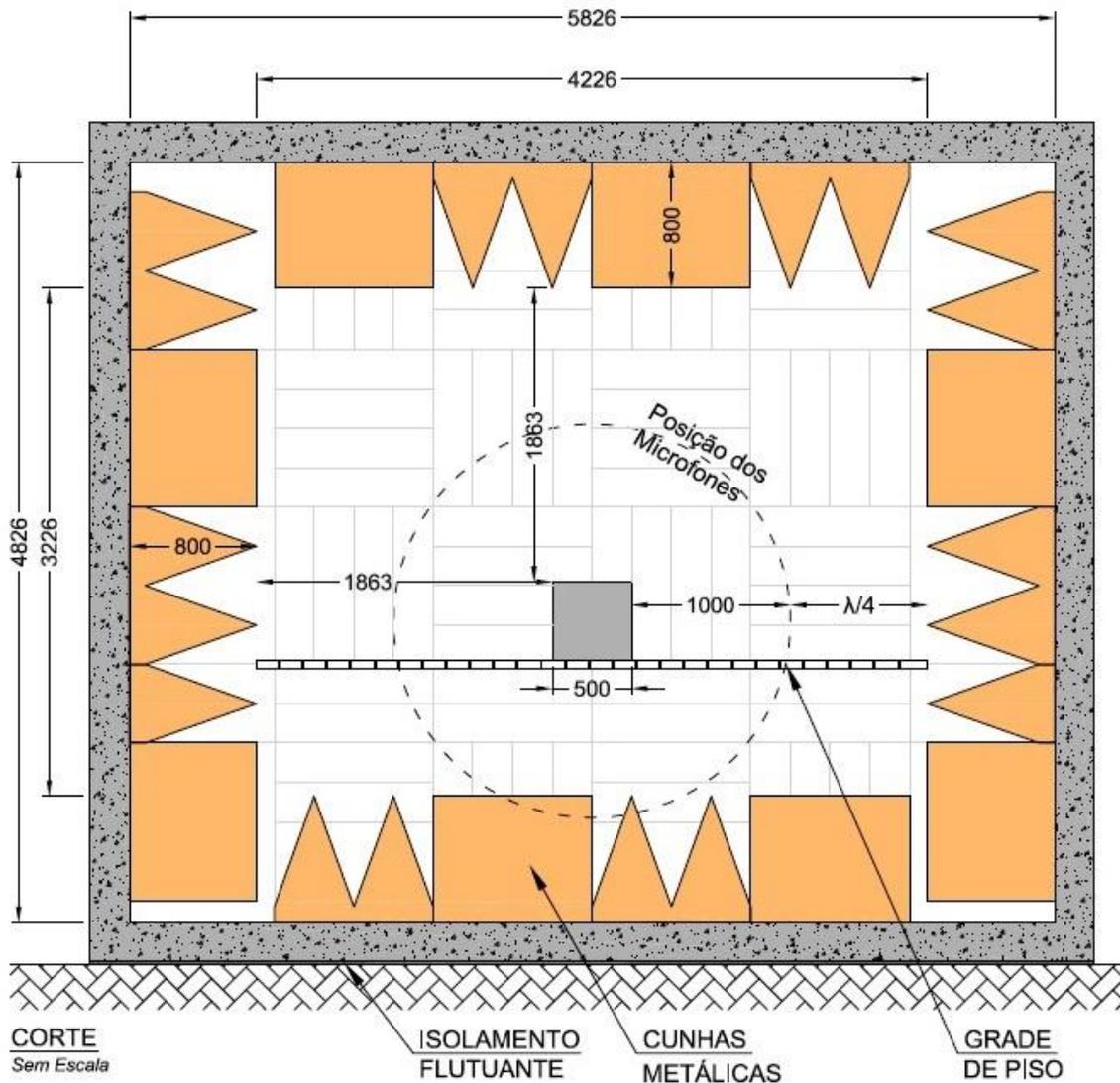


Figura 08: Corte com detalhes das dimensões obtidas.

4.3. Considerações:

4.3.1. Isolamento Paredes e Teto:

As paredes e teto da câmara acústica deverão ser realizados em alvenaria maciça. No caso do local não ter um ruído de fundo adequado na frequência de interesse, um sistema “*Box in the Box*” deverá ser realizado, para garantir o isolamento necessário.

Uma análise de vibrações também deverá ser considerada a assim prever um isolamento com elastômeros ou até molas dependendo da frequência encontrada, como nas imagens abaixo respectivamente:



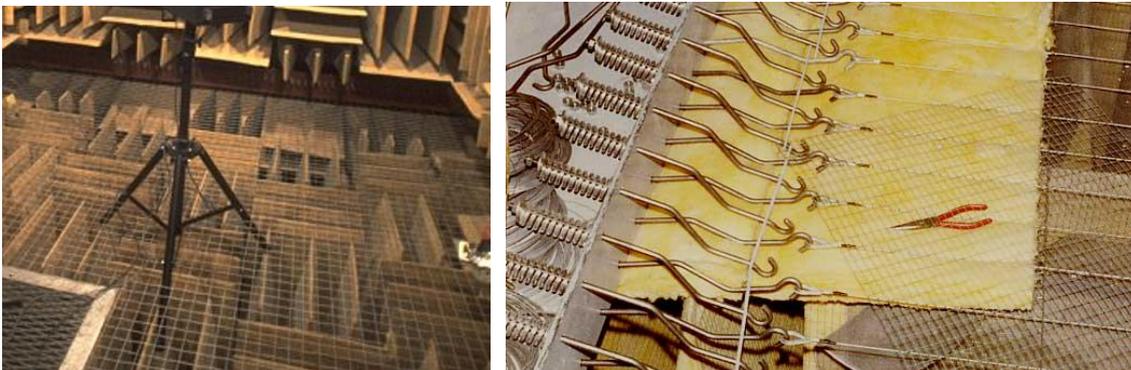
4.3.2. Portas:

As portas deverão possuir selos acústicos em todo o perímetro de maneira a eliminar qualquer vazamento de ruídos externos, sendo de fabricação robusta e assegurando um funcionamento perfeito e durável. Para evitar a reverberação interna, uma segunda porta interna deverá possuir um revestimento acústico na folha conforme imagens a seguir:



4.3.3. Piso Interno:

O sistema de piso para andar de cima das cunhas pode ser de cabos tensionados por molas ou uma grade de piso, que pode ser removida no momento dos testes.



4.3.4. Ventilação:

Deve ser considerando o fornecimento de atenuadores de ruído para o sistema de ventilação, item essencial ao perfeito funcionamento da câmara e a obtenção do nível de ruído de fundo desejado, a eficiência desse atenuador não deve ser menor que NC-15. Dependendo do sistema usado nesta ventilação será necessário prever um *plenum* para diminuir a velocidade do ar no interior da câmara.

4.3.5. Passa cabos:

Será previsto um sistema para possibilitar a passagem dos diversos tipos de cabos, assegurando tanto o isolamento acústico assim como a facilidade de acesso aos cabos que muitas vezes são de alto custo e tecnologia.



4.3.5. Sistema Elétrico:

Deverá ser considerando o fornecimento de um sistema de iluminação, por meio de lâmpadas embutidas, assim como de tomadas elétricas para alimentação elétrica básica (110/220 v).

4.4. ISO's:

Sendo nosso projeto um laboratório de desenvolvimento de produto, na linha de equipamentos eletrônicos, a norma **ISO-9296** estabelece o padrão de relatório a ser emitido por esses fabricantes destes equipamentos, enquanto a norma **ISO-7779** estabelece as condições e parâmetros para determinação dos Níveis de Potencia Sonora. Por tanto deve ser considerada uma lista de referencias de normas para essa câmara, como a seguir:

- **ECMA-74** Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment.
- **ECMA-109** Declared Noise Emission Values of Information Technology and Telecommunications Equipment.
- **ISO-3741** Acoustics – Determination of Sound Power Levels of Noise Sources using Sound Pressure – Precision Methods for Reverberation Rooms.
- **ISO-3744** Acoustics – Determination of Sound Power Levels of Noise Sources using Sound Pressure – Engineering Method in an Essentially Free Field over a Reflecting Plane.
- **ISO-3745** Acoustics – Determination of Sound Power Levels of Noise Sources using Sound Pressure – Precision Methods for Anechoic and Hemi-anechoic Rooms.
- **ISO-7779** Acoustics – Measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment.
- **ISO-9295** Acoustics – Measurement of High-frequency Noise Emitted by Computer and Business Equipment.
- **ISO-9296** Acoustics – Declared Noise Emission Values of Computer and Business Equipment.
- **ISO-11201** Acoustics – Noise Emitted by Machinery and Equipment – Measurement of Emission of Sound Pressure Levels at a Work Station and at other Specified Positions - Engineering Method in an Essentially Free Field over a Reflecting Plane.
- **ISO-11203** Acoustics – Noise Emitted by Machinery and Equipment – Determination of Emission of Sound Pressure Levels at a Work Station and at other Specified Positions from the Sound Power Level

5. Estudo de Caso:

A obra a ser analisada foi executada em Barueri-SP e foi solicitada pela *SGS Group* que é uma empresa certificadora, como é o *INMETRO*.

No processo de certificações, é preciso possuir um ambiente aonde as ondas possam se desenvolver. Portanto, as dimensões estão diretamente relacionadas com a frequência de corte desejada. Para uma câmara com *Cut-Off* de **175 Hz**, obteremos o necessário para seu uso.

Consideramos que o maior objeto a ser testado na câmara tem 1 m³, devido algumas limitações na altura do local escolhido para a instalação da câmara as dimensões finais são:

Dimensões Câmara Semi - Anecoica com <i>Cut-Off</i> de 175 Hz			
	Comprimento	Largura	Altura
Dimensões nominais internas Livres	4,5 m	4,5 m	2,4 m
Dimensões nominais internas da Alvenaria	5,3 m	5,3 m	2,8 m

Coforme definição do cliente as cunhas foram solicitadas com o acabamento em metal micro perfurado, o uso deste tipo de cunhas permite a limpeza das mesmas assim como assegura a resistência mecânica do conjunto, assegurando a longevidade destas em relação aos outros tipos de cunhas. Todas as partes metálicas receberam tratamento antioxidante e pintura eletrostática a pó. A seguir imagens de uma montagem realizada:



Fotos durante a colocação das cunhas.



Foto da finalização e do detalhe da cunha metálica.

5.1. Qualificação:

Uma vez a câmara pronta, foi realizada a verificação do desempenho acústico da mesma. As propriedades acústicas a verificar são:

- Ruído de fundo.
- Isolação acústica: Atenuação dos níveis de ruído na gama frequencial de 31,5Hz – 10 kHz.
- Campo livre: verificar a condição de campo livre segundo a norma **ISO 3745** – versão 2003 na gama frequencial de 63 Hz – 10 kHz.

Essa qualificação requer também a medição do tempo de reverberação da sala que foi usada para a realização de ensaio conforme **NBR 13910-1** – “Diretrizes de ensaios para a determinação de ruído acústico de aparelhos eletrodomésticos e similares”. São utilizados como parâmetros de comparação os critérios estabelecidos pelo Padrão Internacional **ISO 3744:2010**.

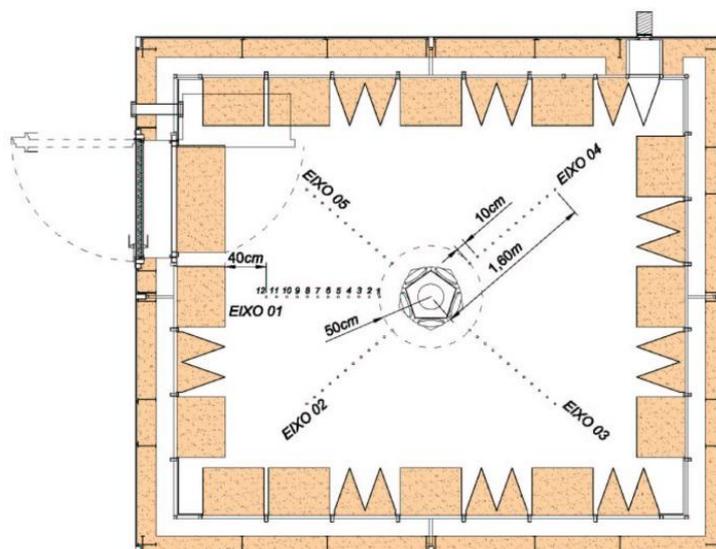


Figura 09: Croqui dos eixos a serem analisados no critério de campo livre.

Abaixo, fotografia do dispositivo usado para qualificação de câmaras acústicas quanto ao critério de “campo livre”.



5.2. Exemplos:

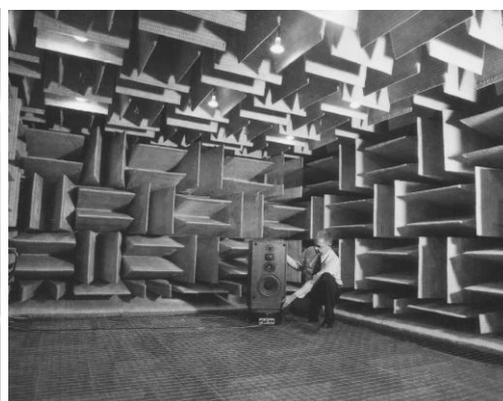
A seguir apresento alguns de exemplos de aplicações e obra executados pelo mundo, principalmente pela empresa canadense **ECKEL** e pela norte americana **IAC**. Os maiores consumidores de câmaras destas empresas são as indústrias automobilísticas, no qual o uso mais comum são as câmaras semi-anecóicas, segue alguns exemplos:



A câmara semi-anecóica acima foi instalada no campo de provas da GM em Indaiatuba-SP, após os testes ficou certificado o *Cut-Off* de 100 Hz.



A câmara acima é da montadora Lotus semi-anecóica com o Cut-Off de 70 Hz.



Para o teste de autofalantes é usada câmaras anecóicas.

6. Considerações Finais:

O tempo de reverberação da câmara anecóica, quando a fonte é desligada, decair muito rápido devido a grande absorção sonora do ambiente.

Deste modo, é definida a grandeza tempo de reverberação (T60), que consiste no intervalo de tempo necessário para que o nível sonoro da sala caia 60 dB após o desligamento da fonte sonora. Sua representação gráfica é mostrada abaixo **Figura 10**: Representação gráfica do tempo de reverberação de uma câmara (T60)

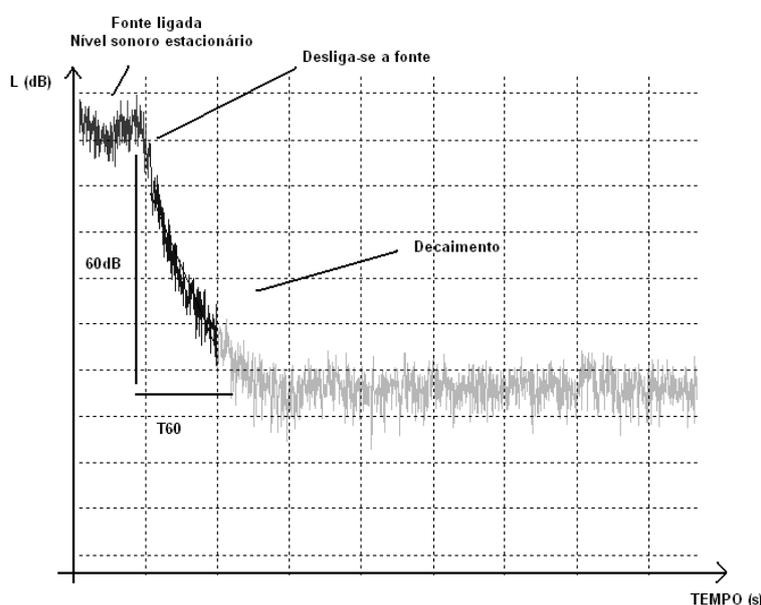


Figura 10: Representação gráfica do tempo de reverberação de uma câmara (T60)

A norma **ISO 3744:2010** descreve um procedimento para determinação de potência sonora de fontes a partir de medições de pressão sonora em pontos sobre uma superfície de medição hipotética (S), dentro da sala de testes. Para que um ambiente de testes seja adequado à realização de tal procedimento, devem ser respeitadas as condições de compatibilidade de um fator de correção K_2 , que é definido da seguinte forma:

$$K_2 = 10 \log_{10}(1+4(S/A)) \text{ dB} \quad (1)$$

sendo: **A** = área de absorção sonora da sala.
S = área da superfície de medição hipotética.

Os valores do fator de correção K_2 como função de A/S são ilustrados na Figura 11: Correção do ambiente de teste, K_2 , em decibéis (fonte **ISO 3744-2010**)

. Dentro da região acima da linha pontilhada, esse critério de qualificação do ambiente de testes não é satisfeito. Portanto, para que a sala seja adequada à realização de testes segundo a **ISO 3744:2010**, deve ser respeitada a seguinte relação:

$$K_2 \leq 2 \tag{2}$$

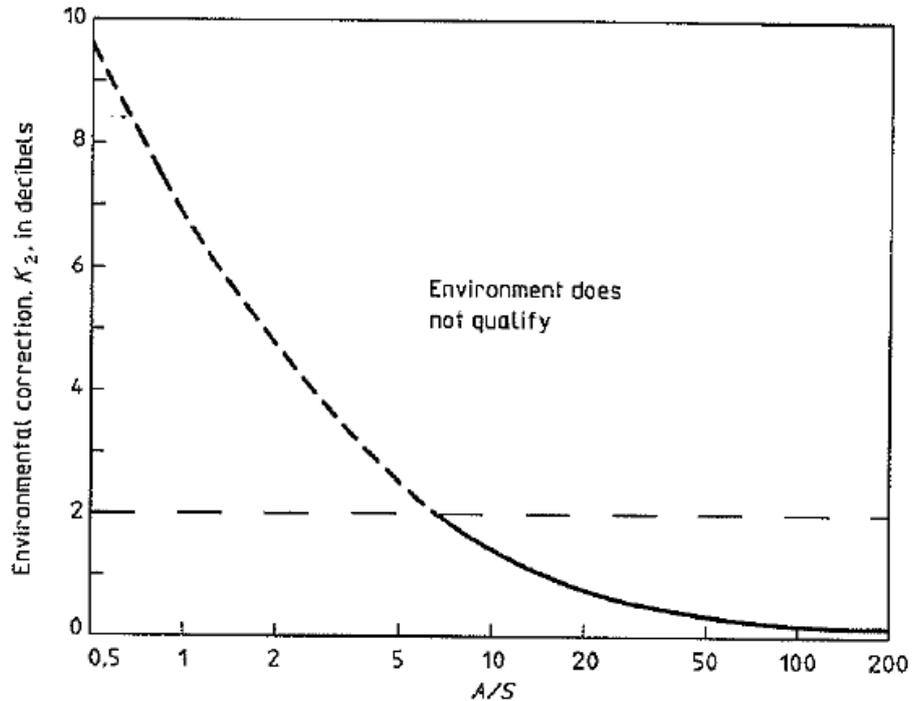


Figura 11: Correção do ambiente de teste, K_2 , em decibéis (fonte **ISO 3744-2010**)

Desta forma, utilizando a equação (1), a verificação da equação (3) abaixo garante a qualificação da câmara anecóica conforme a **ISO 3744-2010**:

$$A/S \geq \left(\frac{4}{10^{(K_2/10)} - 1} \right) \tag{3}$$

Injetando o valor mínimo de K_2 da equação (2), o critério da razão A/S a satisfazer se torna:

$$A/S \geq 6,839 \tag{4}$$

Concluindo, quanto maior for a razão entre as grandezas da equação (2), melhor será a sala para a realização de testes.

7. Bibliografia:

[1] ISO 3746: “Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Survey methods using an enveloping measurement surface over a reflecting plane” (1995).

- [2] ISO 10534: “Acoustics: Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes” (1996).
- [3] ISO 3741: “Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision method for reverberation rooms” (1999).
- [4] ISO 3745: “Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources. Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms” (1977).
- [5] ISO 3744: “Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for na essentially free field over a reflecting plane“ (2010).
- [5] ISO 10140-1: “Acoustics – Measurement of sound insulation of building elements – Part 1 : Laboratory test facilities” (2010)
- [6] Beranek L., Sleeper H., “The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers”, The Journal of the Acoustical Society of America vol. 18 nº 1 pp. 140-150 (Jul. 1946).
- [7] Beranek L., “Acoustic”, Bolt Beranek and Newman, Inc (1954).
- [8] Watters B. G.: “Design of Wedges for Anechoic Chambers”, Noise Control (Nov. 1958).
- [9] Ballagh, K.O., “Calibration of an anechoic room”, J.S.V.B. (1986).
- [10] Duda, J., “Inverse Square Law Measurements in Anechoic Rooms”, Sound and Vibration, p.20-25 (Dez. 1998).
- [11] Morse, P. M.: Vibration and Sound. Acoustical Society of America, 1936, Fifth printing 1995, 390 ff.
- [12] W. Koidan, G. R. Hruska, and M. A. Pickett, “Wedge Design for National Bureau of Standards Anechoic Chamber The Journal of the Acoustical Society of America 54, 1071-1076 (1972)
- [13] Gerges, Samir N. Y.: “Fundamentos e Controle” (1993).
- [14] Bistafa, Sylvio R.: “Acústica Aplicada ao Controle do Ruído” (1990).

Sites:

[https://www.iacacoustics.com/cms/documents/IAC%20Test%20Facilities%20Brochure%2019-12-13_small\(1\).pdf](https://www.iacacoustics.com/cms/documents/IAC%20Test%20Facilities%20Brochure%2019-12-13_small(1).pdf)

<http://www.bruel-ac.com/tr/pi9701/PI9701.html>

<https://www.uml.edu/Research/Centers/STL/Research/firam.aspx>

<http://www.sensorystudies.org/picture-gallery/untitled/>

<https://www.physics.harvard.edu/node/396>

<http://www.roger-russell.com/cham2pg.htm>

<http://www.hulvaacoustics.com/design-an-anechoic-chamber>

<https://vimeo.com/16235558>