



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Orlei Jose Tamanho Junior

ESTUDO DE CÂMARA REVERBERANTE EM ESCALA REDUZIDA
PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Palmas – TO

2015



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Orlei Jose Tamanho Junior

ESTUDO DE CÂMARA REVERBERANTE EM ESCALA REDUZIDA PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Monografia elaborada e apresentada como requisito final para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M. Sc. Fabrício Bassani

Palmas - TO

2015

Orlei Jose Tamanho Junior

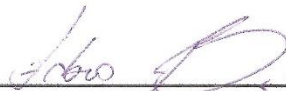
ESTUDO DE CÂMARA REVERBERANTE EM ESCALA REDUZIDA PARA
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Monografia elaborada e apresentada como requisito final para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

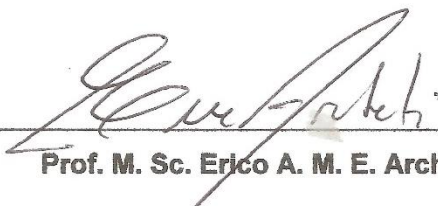
Orientador: Prof. M. Sc. Fabricio Bassani

Aprovado em: 13 / 11 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof. M. Sc. Fabricio Bassani



Prof. M. Sc. Erico A. M. E. Archeti



Prof. Esp. Miguel Angelo De Negri

Palmas - TO

2015

AGRADECIMENTOS

À Deus por me manter seguindo firme durante toda esta jornada.

Aos meus familiares, em especial meus pais **Orlei Jose** e **Janaina Mendes**, pela compreensão, força e apoio durante toda a trajetória estudantil e profissional.

À minha irmã Isabelle Silva pela paciência durante a elaboração do trabalho.

À empresa Inovatec Construtora e em especial à Laila Neto e Raimundo Lima por ceder o local e materiais para a construção da câmara.

Aos meus amigos Denys Silva, Cleuton Vieira e Lucas Vinicius pela contribuição durante a fase de construção e execução dos testes.

À engenheira Janaina e todo corpo técnico que colaboraram durante os ensaios permitindo a execução dos mesmos.

Ao meu orientador Fabricio Bassani pela contribuição técnica, apoio e paciência.

Aos avaliadores Erico e Miguel pelos elogios e críticas construtivas que enriqueceram o trabalho.

A equipe do laboratório do CEULP/ULBRA por disponibilizar o local para realização dos testes na câmara reverberante.

E por fim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

JUNIOR, Orlei Jose Tamanho. **Estudo de câmara reverberante em escala reduzida para avaliação da capacidade de isolamento acústico**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

RESUMO

Projetar e construir câmara reverberante em escala reduzida de modo a se estudar o comportamento em termos de redução sonora da lã de vidro e lã de rocha como materiais de isolamento acústico constituintes do sistema de fechamento vertical interno e externo, drywall, é o foco do trabalho. A não existência de uma câmara reverberante real na região, dificulta a elaboração de trabalhos em cima da área de acústica e encareça testes que poderiam ser realizados por outros acadêmicos. Neste raciocínio, de modo a se ter baixo custo de construção e facilidade de encontrar materiais, foi desenvolvido o projeto para a construção de uma câmara reverberante em escala reduzida de 1:6. As medições foram realizadas em frequências de bandas de oitava entre 63 Hz e 8kHz, baseando-se em normas nacionais e internacionais, já que esta área de acústica é pouco estudada. E por fim, através da metodologia aplicada para a construção e para os ensaios na câmara de reverberação em escala reduzida, foi possível analisar e comparar a eficiência em relação a índice de redução sonora dos materiais testados e compara-los aos valores mínimos estabelecidos pela NBR em vigor no país.

Palavras Chave: Câmara de reverberação; escala reduzida; drywall.

JUNIOR, Orlei Jose Tamanho. **Study of reverberating chamber scaled to evaluate the acoustic insulation capacity.** 2015. Monograph of conclusion in Civil Engineering course, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

ABSTRACT

Project and build one reverberation chamber on a small scale in order to study the behavior in terms of noise reduction using glass wool and rock wool as material for acoustic insulation components of the inner and outer vertical closing system, drywall is the focus of the paper. The lack of a real reverberation chamber in this region, makes hamper the drafting work on the acoustic area and gets expensive tests that could be performed by other academics. In this reasoning, in order to have a low cost of construction and easy to find materials, it was developed design for the construction of a reverberation chamber in a reduced scale of 1: 6. The measurements were performed in frequency octave bands between 63 Hz and 8 kHz, based on national and international standards, as this acoustic area is poorly studied. Finally, through the methodology applied for the construction and testing in reverberation chamber on a small scale, it was possible to analyze and compare the efficiency over the sound reduction index of the tested materials and compares them to the minimum amounts set by the NBR applied in the country.

Key-words: Reverberation chamber; reduced scale; drywall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Propagação de ondas em torno de uma posição de equilíbrio.....	17
Figura 2 – Formas de transmissão de ruído	19
Figura 3 – Comportamento do Som.....	23
Figura 4 – Modelo esquemático das câmaras e do corpo de prova	30
Figura 5 – Calibrador 3M QC-10 - QUEST.....	37
Figura 6 - Detalhe da câmara com dimensões.....	41
Figura 7 – Corte do madeirite.....	44
Figura 8 - Tiras de madeira em volta da janela.....	44
Figura 9 - Montagem das paredes	45
Figura 10 - Estrutura de Drywall	46
Figura 11 - Parede de frente e fundo	46
Figura 12 - Vedação Interna.....	47
Figura 13 - Vedação para encaixe do teto.....	48
Figura 14 - Vedação Externa do teto	48
Figura 15 - Vedação da divisória.....	49
Figura 16 - Selo de calibração anual	53
Figura 17 - Marcação dos pontos medidos.....	56
Figura 18 – Nível de pressão sonora com a lâ de vidro em forma de gráfico....	61
Figura 19 - Nível de pressão sonora com a lâ de vidro em forma de gráfico.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade do som para meios diferentes	18
Tabela 2 – Esquema de classificação das ondas sonoras quanto à frequência	20
Tabela 3 – Pressão sonora, intensidade e nível sonoro	22
Tabela 4 – Índice de redução sonora ponderado R_w, de componentes construtivos nas vedações entre ambientes	32
Tabela 5- Isolamento sonoro fornecido pelo vidro	43
Tabela 6 - Índice de absorção para chapas de gesso acartonado	58
Tabela 7- Índice de absorção para o madeirite	58
Tabela 8 - Tempo de reverberação da câmara	59
Tabela 9 - Resultado do NPS com lã de vidro	60
Tabela 10 – Resultados do NPS com lã de rocha	62
Tabela 11- Comparação dos resultados	63
Tabela 12 – Índice de redução sonora (RW) com lã de vidro	64
Tabela 13 - Índice de redução sonora (RW) com lã de rocha	64
Tabela 14 - Índice de redução sonora ponderado, R_w, de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**Abreviaturas:**

Eq. Equação

Fig. Figura

Siglas:

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ANSI American National Standards Institute

CEULP Centro Universitário Luterano de Palmas

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia

ISO International Organization for Standardization – Organização
Internacional para Padronização

ISO TR International Organization for Standardization – Technical Report

IDF Índice de discriminação de fala

MSHA Mine Safety and Health Administration

NPS Nível de pressão sonora

NWS Nível de potência sonora

OSHA Occupational Safety & Health Administration

RBC Rede Brasileira de Calibração

SPL Sound power Level

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área de absorção
a	Coefficiente de absorção
am	Coefficiente de absorção média
B	Bel
c	Velocidade do som no ar
cm	Centímetro
dB	Decibel
Hz	Hertz
I	Intensidade
KHz	Quilo Hert
L	Nível de sinal ajustado
LSb	Nível do sinal e o ruído de fundo combinado
Lb	Nível do ruído de fundo
Lx	Comprimento no eixo x
Ly	Comprimento no eixo y
Lz	Comprimento no eixo y
m	Metro
mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo ao quadrado
m/s ³	Metro por segundo ao cubo
Pa	Pascal
p	Pressão
PT	Perda de transmissão
Rw	Índice de redução sonora
S	Área da superfície interior
T	Temperatura
TR	Tempo de reverberação
V	Volume
%	Porcentagem
μPa	Micro Pascal

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 – APRESENTAÇÃO DO TEMA	14
1.2 – OBJETIVOS	15
1.2.1 – Objetivo Geral	15
1.2.2 – Objetivos Específicos	15
1.3 – JUSTIFICATIVA.....	16
2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 – CONCEITOS BÁSICOS DE ACÚSTICA	17
2.1.1 – Som	17
2.1.2 – Velocidade do som	17
2.1.3 – Ruído e desconforto	18
2.1.4 – Frequência	19
2.1.5 – Bandas de oitavas	20
2.1.6 – Medição de ondas sonoras	20
2.1.6.1 – Pressão	20
2.1.6.2 – Potência	21
2.1.6.3 – Intensidade.....	21
2.1.7 – Decibel	22
2.1.7 – Fenômenos Acústicos	23
2.1.7.1 – Reflexão Sonora.....	23
2.1.7.2 – Absorção Acústica.....	24
2.1.7.3 – Isolamento Acústico	24
2.1.8 – Inteligibilidade.....	25
2.1.9 – Ruído de fundo.....	26
2.1.9.1 – Correção do ruído de fundo.....	27
2.1.10 – Tempo de reverberação	27
2.1.11 – Método de verificação	30

2.1.12 – Câmara reverberante	30
2.1.12.1 – Câmara Reverberante em escala reduzida	31
2.2 – NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES	31
2.2.1 – NBR 10151 e NBR 10152	32
2.3 – MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA OS TESTES DE ISOLAMENTO SONORO	33
2.3.1 – Lã de rocha	33
2.3.2 – Lã de vidro.....	33
2.3.3 – Espumas acústicas.....	34
2.3.4 – Drywall.....	34
2.3.4.1 – Processo de produção das placas de drywall	35
2.3.4.2 – Montagem das paredes.....	35
2.3.4.3 – Cuidados na execução	36
2.3.4.4 – Reparos e manutenção	36
2.3.5 – Dosímetro e normas de medição	36
2.3.5.1 – Calibração do Dosímetro.....	37
3 – METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DA CÂMARA	38
3.1 – ETAPAS PARA ELABORAÇÃO E CONCEPÇÃO DA CÂMARA REVERBERANTE	38
1º Etapa: Escolha da escala reduzida.....	38
2º Etapa: Dimensões da câmara.....	38
3º Etapa: Escolha do material da câmara	39
4º Etapa: Materiais utilizados para construção da mini-câmara.....	40
5º Etapa: Dimensionamento dos cortes do compensado	40
6º Etapa: Montagem da mini-câmara	41
7º Etapa: Instalação da fonte sonora	41
8º Etapa: Instalação de isolador de vibração	42
3.2 – CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DA CÂMARA	42
3.2.1 – Compensado	42

3.2.2 – Vidro	42
3.3 – CONSTRUÇÃO DA MINI-CÂMARA DE REVERBERAÇÃO	43
3.3.1 – Dimensionamento das placas de madeirite	43
3.3.2 – Estrutura de vedação das janelas	44
3.3.3 – Montagem das paredes laterais	45
3.3.4 – Montagem da divisória Drywall.....	45
3.3.5 – Montagem das paredes de frente e fundo.....	46
3.3.6 – Vedação interna da câmara	46
3.3.7 – Montagem do teto	47
3.3.8 – Fechamento da divisória a ser estudada.....	48
3.3.9 – Neoprene como apoios de sustentação	49
4 – METODOLOGIA PARA ENSAIOS	50
4.1 – LOCAL DOS ENSAIOS.....	50
4.2 – EQUIPAMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS.....	50
4.2.1 – Lã de vidro.....	50
4.2.2 – Lã de rocha	50
4.2.3 – Fonte emissora de som	51
4.2.4 – Equipamento de medição.....	51
4.2.4.1 – Características do Dosímetro utilizado	51
4.2.4.2 – Calibração com garantia INMETRO	52
4.2.4.3 – Calibração pré-teste	53
4.3 – PRIMEIROS ENSAIOS E CONSIDERAÇÕES.....	54
4.3.1 – Procedimentos pré-medição.....	54
4.3.2 – Ruído de fundo.....	56
4.3.3 – Cálculo do tempo de reverberação	57
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1 – RESULTADOS DOS TESTES COM LÃ DE VIDRO	60
5.2 – RESULTADOS DOS TESTES COM LÃ DE ROCHA	62

5.3 – TABELA COMPARATIVA	63
5.4 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA RW	64
5.4.1 – Lã de vidro.....	64
5.4.2 – Lã de rocha	64
5.5 – COMPARAÇÃO COM A NBR 15575-4/2013.....	65
6 – CONCLUSÕES	67
6.1 – CONCLUSÕES FINAIS	67
6.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS.....	70
ANEXOS	73

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação do Tema

Atualmente surgem vários tipos de materiais com novas tecnologias e desempenho acústico variado, logo existe a preocupação em estudar como funciona a capacidade/desempenho de isolamento acústico e absorção acústica dos materiais. Para isso é preciso realizar testes em câmaras reverberantes, sendo que segundo Guedes (2007), até esse mesmo ano, não existia nenhuma câmara reverberante na região, devido ao alto investimento financeiro para se construir.

A princípio a ideia é de se construir uma câmara reverberante com escala reduzida para que materiais específicos tratados neste trabalho sejam testados. A vantagem de se construir câmaras em escala reduzida é que podemos trabalhar com diversos materiais com mais economia, se comparado ao valor de uma câmara reverberante real.

A câmara reverberante em escala reduzida será construída baseado em normas de regulamentação como a ISO, logo é importante lembrar da não existência de uma norma específica para construção de câmaras em escala reduzida, portanto a câmara será construída seguindo parâmetros de medições descritos na ISO 140/1997, ISO 354/1999 e ISO 3741/1999, buscando a maior similaridade das câmaras reais e materiais utilizados.

O ruído pode prejudicar o equilíbrio natural e ecológico. As pessoas que são expostas a determinados índices de ruído podem ter problemas no sistema auditivo e tornam-se cada vez mais estressadas. As consequências provocadas pelo ruído já são estudadas e comprovadas por várias literaturas há muito tempo. Quando se faz o tratamento acústico de um ambiente deve-se isolar todos os pontos possíveis de vazamento do som, inclusive na estrutura, pois as vibrações sonoras também percorrem por ela.

Atualmente engenheiros e arquitetos estão sendo cada vez mais desafiados a projetar construções de modo que consigam bons resultados de isolamento e absorção do som e devido à dificuldade em conseguir estabelecer o isolamento acústico dos materiais é comum ocorrer enganos na escolha dos mesmos.

1.2 – Objetivos

1.2.1 – Objetivo Geral

Realizar testes determinando a capacidade de isolamento acústico do sistema de fechamento vertical drywall, testando-o com diferentes isoladores sonoros em uma câmara reverberante em escala reduzida.

1.2.2 – Objetivos Específicos

- Determinar o índice de redução sonora do drywall utilizando lã de vidro e lã de rocha, através de ensaios em uma minicâmara de reverberação.
- Dimensionar a câmara reverberante em escala reduzida seguindo parâmetros nacionais e internacionais.
- Construir a câmara reverberante em escala reduzida para a realização dos testes da capacidade de desempenho ao isolamento sonoro.
- Determinar se o sistema de fechamento vertical drywall, utilizando a lã de vidro ou lã de rocha, atendem as exigências mínimas de isolamento acústico da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 - Parte 4:2013.

1.3 – Justificativa

A construção civil tem cada vez mais se intensificado nas elaborações de projeto e execução, transformando o mercado consumidor e exigindo cada vez mais melhorias nas técnicas de se construir.

Segundo Eniz e Garavelli (2006), o ruído urbano, cada vez mais presente nas residências, nos locais de trabalho, ambientes de lazer, hospitais e escolas, interfere nas relações sociais, na comunicação, no comportamento e principalmente na saúde das pessoas. De fato, a poluição sonora hoje, depois da poluição da água e do ar, é um dos problemas ambientais que afetam o maior número de pessoas. (ZANNIN, 2002).

Conforto acústico pode ser definido como a ausência de sons indesejáveis ou ruídos, onde sua finalidade é proporcionar as pessoas ambientes de qualidade acústica, lazer, bem-estar, boa inteligibilidade da fala e descanso. (GERGES, 2000)

A norma NBR 15575/4 – 2013 Edificações habitacionais – Sistemas de vedações verticais internas e externas vigora hoje no país e exige valores mínimos de desempenho e conforto acústico independente dos materiais utilizados na vedação.

Os estudos de desempenho acústico dos materiais precisam ser feitos em câmaras reverberantes reais, porém considerando que se desconhece a existência de alguma na cidade onde serão realizados o trabalho e os testes e pelo alto investimento para a construção de uma, faz-se necessário estudos para a construção de uma mini-câmara respeitando os parâmetros exigidos pelas normas para construção da mesma e pelo fato de ser tecnicamente e financeiramente mais viável de se construir.

Uma câmara reverberante em escala reduzida tem-se suas vantagens, caso ocorra algum problema na estrutura e precise ser substituído por outro material, realização dos testes de forma mais didática, facilidade na locomoção da câmara e segundo pesquisas já realizadas com câmaras reverberantes em escala reduzida, os resultados ficam bem próximos dos valores reais, mesmo não sendo utilizado os mesmos materiais para construção de uma câmara real para a reduzida.

O estudo que será realizado juntamente com a construção da câmara servirá também de suporte para futuras pesquisas com outros materiais, podendo trazer benefícios para população através dos resultados encontrados.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 – Conceitos Básicos de Acústica

A acústica é a ciência que estuda as manifestações do som. Quando se analisam as propriedades acústicas dos materiais, levam-se em consideração reflexão, absorção e transmissão do som pelos materiais. (FLACH, 2012)

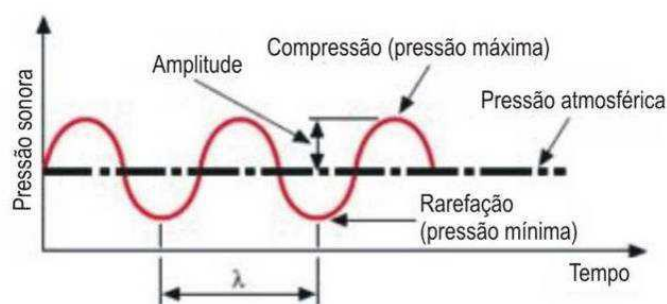
2.1.1 – Som

O som é uma manifestação ondulatória e caracteriza-se por flutuações de pressão em um determinado meio, podendo também ser considerado como toda vibração ou onda mecânica que se propaga num meio determinado, capaz de produzir no homem uma sensação auditiva (ABNT, 1992).

Segundo Gerges (2000), a propagação do som pode ser feita através de meio sólido ou elástico. Sólido quando as ondas sonoras se propagam através de paredes e lajes de um edifício e elástica quando através do ar.

As ondas sonoras propagam-se através da vibração das partículas, em função da diferença de pressão entre a fonte emissora e a fonte receptora do meio, em torno de uma posição de equilíbrio, conforme representado na Figura 1 (SILVA, 2005).

Figura 1 – Propagação de ondas em torno de uma posição de equilíbrio



Fonte: Silva (2005)

2.1.2 – Velocidade do som

Aproximadamente o som se propaga a uma velocidade de 344m/s, há uma temperatura de 20°C.

Conforme Carvalho (1967), ao relacionar a velocidade do som com o meio sólido e elástico, o som se propaga mais rápido através do meio sólido, pelo fato de que as moléculas estão mais próximas, difundindo melhor a energia de uma para as outras.

Em dias quentes o som atinge velocidades mais rápidas do que em dias frios, por que o ar quente é menos denso do que o ar frio. A velocidade no ar pode ser calculada através da Equação (1) (FRIEDRICH, 2010):

$$c = 331 + 0,6 T \quad (1)$$

Onde:

c é a velocidade do som no ar (m/s)

T é a temperatura do ar em (°C)

Conforme Tabela 1, temos velocidade do som em diferentes meios:

Tabela 1 – Velocidade do som para meios diferentes

Material	Velocidade do som (m/s)
Aço	6100
Alumínio	4877
Tijolo	4176
Madeira	3962
Vidro	3962
Concreto	3231
Água	1433
Cortiça	366
Ar	343
Borracha	150

Fonte: adaptado site www.squareone.com

2.1.3 – Ruído e desconforto

De forma geral o ruído pode ser considerado desagradável. Porém desagradável para um indivíduo e para outro não. Para Lida (2005) “o ruído é o estímulo auditivo que não contém informações úteis”.

Quando o nível de ruído ao redor passa a atrapalhar a execução das atividades que necessitam de certos níveis de silêncio, surge então o desconforto acústico.

Segundo Guedes (2005), o que tem comprometido o ambiente e a qualidade de vida das pessoas são os elevados níveis de ruído urbano, provando que os

sistemas construtivos que compõem fachadas, paredes internas e lajes devem ter desempenho acústico para minimizar esse impacto.

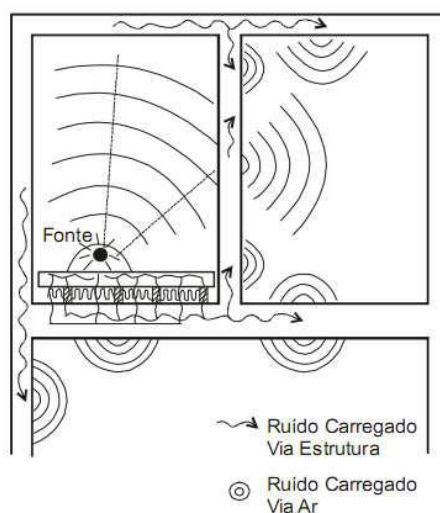
Níveis de ruído desconfortantes causam efeitos físicos, como danos auditivos temporários ou permanentes e distúrbio de sono. Efeito social caso haja a presença de ruído de fundo dificultando a comunicação, aprendizado e concentração.

Mesmo encarecendo a obra final entre 1 e 7% (KOSTER, 2007), o conforto acústico não deve ser visto como luxo ou algo supérfluo e sim, como necessidade ligada à saúde, ao bem-estar e a qualidade de vida.

Podemos ter duas categorias de classificação de ruídos: aéreos e estruturais. Os ruídos estruturais são transmitidos pela comunicação direta da energia que produz vibrações nas paredes, pisos e coberturas onde a onda de energia se propaga através de elementos duros e contínuos. Ex: ao caminhar, martelar na parede ou fechar portas. (FERRAZ, 2006).

Já os ruídos aéreos são transmitidos pela emissão sonora e derivam da excitação direta do ar, como tráfego de veículos, conversas e instrumentos musicais. Veja o exemplo da Figura 2:

Figura 2 – Formas de transmissão de ruído



Fonte: Gerges (2000)

2.1.4 – Frequência

O som consiste em variação de pressão sentida pelo ouvido humano, que é o resultado de uma vibração imposta num determinado meio através de uma fonte,

segundo Bistafa, (2006). Onde a variação de pressão é caracterizada pela intensidade e frequência.

Entende-se que frequência sonora é a resultante de qualquer movimento vibratório e corresponde a velocidade com que suas moléculas em um meio (ar, água, sólidos e gasosos) vibram, ou então a que distância se encontra uma onda sonora em relação à outra.

O número de ciclos, ocorridos durante um segundo, por uma partícula em movimento, é expresso em Hertz (Hz) (GERGES, 2000).

As vibrações emitidas determinam o timbre de um som. Porém nem todas as vibrações podem produzir sensação de som no ouvido humano. Esta sensação acontece apenas quando a frequência com que as ondas se propagam esteja dentro de uma faixa de valores que o ouvido humano é capaz de detectar.

O ouvido humano é capaz de entender como som frequências que ficam entre valores de 20 Hz à 20.000 Hz (Gerges, 2000). A classificação de sons médios, graves e agudos dentro destes limites são apresentados no Tabela 2:

Tabela 2 – Esquema de classificação das ondas sonoras quanto à frequência

Vibrações	Frequência	Audição
Infrassons	Abaixo de 20 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas frequências	De 20 a 200 Hz	Sons graves
Médias frequências	De 200 a 2.000 Hz	Sons médios
Altas frequências	De 2.000 a 20.000 Hz	Sons agudos
Ultrassons	Acima de 20.000 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Fonte: Carvalho (2006)

2.1.5 – Bandas de oitavas

É a capacidade que o ouvido humano possui de absorver a intensidade do som. Essa intensidade pode estar entre frequências de 20 Hz à 20000 Hz.

Entre este intervalo foram divididas as bandas de oitava, são elas: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, e 8000 Hz (B & K, 1983).

2.1.6 – Medição de ondas sonoras

2.1.6.1 – Pressão

Para medição de pressão do som é considerado (p , medida em Pa). De acordo com Maia (2003), a pressão sonora é conhecida como nível de amplitude e

se refere a pressão exercida pelo ar, em outras palavras pode ser expressado como “volume” ou “altura” das ondas sonoras.

A pressão acústica mede a variação provocada pelo som na pressão do meio em relação à pressão de equilíbrio e é descrita em força por unidade de área que representa a pressão (tensão) (em N/m² ou micropascals μPa).

2.1.6.2 – Potência

Nível de potência sonora (NWS) ou em inglês, SPL- Sound Power Level), é medido em decibel tomando-se como referência $W_0 = 10^{-12}$ W (1 picowatt).

Baseado em Maia (2003) conforme o conceito de pressão, a medida de potência sonora possibilita avaliar a energia sonora que a fonte produz, sendo independente do meio (Energia = Potência x Tempo).

2.1.6.3 – Intensidade

Percebemos a intensidade sonora facilmente como o “volume” do som e identifica a quantidade de energia que atravessa em uma determinada superfície numa determinada direção, permitindo localizar e identificar as fontes sonoras (GERGES, 2000).

A intensidade sonora pode ser calculada pela Equação (2):

$$I=P/A \text{ (watt/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Onde:

- I é a intensidade sonora (watt/m²)
- P é a potência sonora (watt)
- A é a área (m²)

As medidas de pressão, potência e intensidade, segundo Maia (2003), devido à extensão que cada uma abrange, não são viáveis de se representar conforme Tabela 3.

Para isto representa-se então a medida em uma escala, cuja unidade é dB (decibel), onde representa com mais facilidade a intensidade do som. Assim, o nível sonoro é dado pela Equação (3):

$$N_p = 10 \log_{10} (P / P_0)^2 \quad (3)$$

Onde:

- N_p é o nível de pressão sonora (dB),
- P é o valor medido (a amplitude das flutuações de pressão sonora – μPa),
- P_0 é o valor de referência da pressão sonora ($20 \mu\text{Pa}$ ou $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$).

Tabela 3 – Pressão sonora, intensidade e nível sonoro

Pressão sonora (μPa)	Potência sonora (10^{-12} watt) ou nível de intensidade sonora (10^{-12} watt/m ²)	Nível sonoro (dB)	Exemplo
200.000.000	100.000.000.000.000	140	Limiar da dor
	10.000.000.000.000	130	Rebite em uma chapa metálica
20.000.000	1.000.000.000.000	120	Martelo pneumático
	100.000.000.000	110	Buzina de carro a 1m
2.000.000	10.000.000.000	100	Alarme de relógio a 1m
	1.000.000.000	90	Interior de um metrô
200.000	100.000.000	80	Interior de um ônibus
	10.000.000	70	Ruído de tráfego em cruzamentos
20.000	1.000.000	60	Conversa normal
	100.000	50	Interior de um escritório
2.000	10.000	40	Sala de estar normal
	1.000	30	Quarto de dormir à noite
200	100	20	Estúdio de gravação
	10	10	Respiração normal
20	1	0	Limiar da audição

Fonte: adaptado de Therivel e Morris (1995)

2.1.7 – Decibel

Segundo Gerges (2000), o ouvido humano atende a uma larga intensidade sonora que pode variar desde o limiar a audição até o limiar da dor. Por ser difícil de expressar graficamente números e ordens de grandezas tão diferentes, numa mesma escala linear, adota-se uma escala logarítmica.

O valor de divisão adequado a esta escala é o bel representado por \log_{10} . Entretanto, o Bel representa um valor de divisão de escala muito alto e para facilitar, adota-se o decibel (dB) que é um décimo do Bel, logo:

$$1 \text{ Bel} = 10 \text{ decibéis}$$

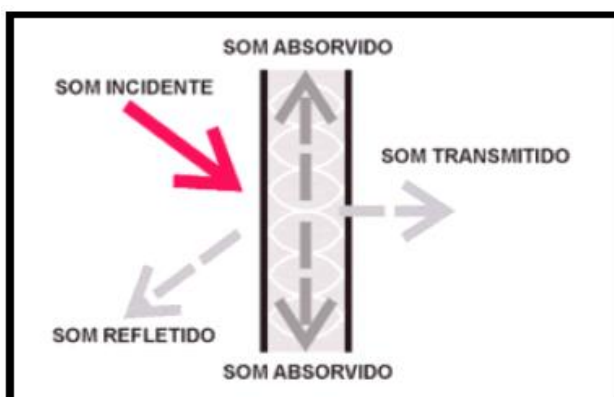
Logo, quando a intensidade sonora é duplicada, temos um acréscimo de 3 dB.

2.1.7 – Fenômenos Acústicos

O som, ao incidir em uma superfície pode ser, dependendo das características do material, refletido, absorvido e/ou refratado (CARVALHO, 2006).

Assim, durante a emissão de som sobre uma determinada superfície, uma parte do som é absorvida, outra refletida e outra transferida pela parede, conforme Figura 3:

Figura 3 – Comportamento do Som



Fonte: - site: www.arch-tech.com.br – acessado em 18-11-2009

2.1.7.1 – Reflexão Sonora

Para ocorrer a reflexão é necessário que a superfície da parede seja maior que o comprimento da onda do som. Geralmente as altas frequências são mais refletidas do que as frequências mais baixas. As superfícies lisas e rígidas podem refletir o som com menor alteração da sua intensidade (perda), assim podem ser considerados isolantes.

Na prática, segundo Losso (2003), raramente encontraremos apenas um tipo ou outro de reflexão e sim uma mistura entre eles fazendo com que ocorra a chamada reflexão mista. Muito depende do material utilizado, frequência e forma geométrica da superfície. Sons com diferentes frequências possuem comportamentos diferentes diante da reflexão.

Em casos onde há a necessidade de se construir salas grandes para comportar pessoas como em cinema, teatro e auditórios, podemos simplesmente utilizar placas refletoras perto da fonte emissora para que o som possa atingir com mais facilidade as pessoas que estão no fundo das salas em questão.

2.1.7.2 – Absorção Acústica

Absorção sonora é capacidade de transformação do som (energia acústica) em energia térmica. Quando o som se encontra com algum material poroso, parte da energia sonora é absorvida por este material e outra parte é convertida em calor, segundo Beranek (1960).

Conforme Losso (2003), os materiais de absorção servem para dois propósitos: reduzem o tempo de reverberação (absorção) e reduzem o nível de ruído de fundo.

Os materiais com capacidade de absorção fazem a atenuação do som refletido, diminuindo assim o nível de reverberação. Conseqüentemente consegue-se então, melhorar a inteligibilidade da fala.

Para melhorar a absorção precisamos de materiais leves, de estrutura porosa ou de fibra. Assim o som ao passar pelo material, perde a energia por atrito. Um bom exemplo de material absorvente são as espumas que podem ser de células abertas e intercomunicantes.

Segundo Bistafa (2006), um bom material absorvente de som é aquele que permite às moléculas do ar penetrar e se movimentar no seu interior.

Um bom absorvente de som é o material que “respira”, ou seja, o material que permite as moléculas do ar penetrar e se movimentar em seu interior. Tecidos com trama muito estreita, que não permitem ao ar atravessá-los (por exemplo, encerados de algodão), são ineficazes, assim como aqueles que apresentam trama muito esparsa, que permitem enxergar através deles (gaze, por exemplo). Assim, percebe-se que a propriedade fundamental dos materiais absorventes é a “resistência ao fluxo de ar” – a maximização da absorção sonora requer uma resistência ótima do material. (BISTAFA,2006).

É preciso tomar cuidado com a quantidade de material e a densidade da espuma, se for utilizadas densidades acima do necessário, temos então a conhecida “sala surda”, níveis de absorção elevados provocam em casos como gravadoras de vídeo e áudio, este fenômeno que consiste em perda de áudio durante as falas e fontes emissoras, ou seja, em uma gravação não se escutará fielmente o som.

2.1.7.3 – Isolamento Acústico

O isolamento acústico é a capacidade de um determinado tipo de material tem de impedir que o som passe para outro ambiente pelas paredes ou estruturas.

Heckl (1980), para se obter bom isolamento ao ruído, é preciso utilizar de materiais de alta densidade superficial (pesados), como concreto, vidro e chumbo.

Quanto maior a massa, mais dificuldade o som tem de atravessar para outros ambientes.

Na construção civil encontram-se diversos tipos de materiais que podem ter função acústica tais como, paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, paredes de bloco estrutural, paredes de alvenaria seca (drywall), gesso, lajes maciças e pré-moldadas. Cada tipo de material possui pré-determinada sua atenuação acústica, segundo (CARVALHO, 2006).

- 40 dB, parede de concreto de 8 cm de espessura,
- 35 dB, parede de tijolo vazado de 6 cm de espessura e rebocado,
- 45 dB, porta de madeira maciça dupla com 5 cm cada folha,
- 45 dB, janela de vidro duplos de 3 mm cada separados 20 cm,
- 30 dB, janela com placas de vidro de 6 mm de espessura,
- 30 dB, porta de madeira maciça de 5 cm de espessura,
- 15 dB, porta comum sem vedação no batente,
- 50 dB, laje de concreto rebocada com 18 cm de espessura.

Ao contrário dos materiais absorventes, para fazer o isolamento acústico precisamos de materiais densos, onde segundo Carvalho (2006), geralmente os materiais que fazem isolamento acústico não possuem grande capacidade de fazer a absorção, e vice e versa.

Marco (1990), explica que a quantidade de isolamento que o material produz depende da frequência do som e das características da parede. Afirma que a lei da massa nos indica que para cada duplicação da massa, há um acréscimo de aproximadamente 6 dB e ainda afirma que a lei da massa não se aplica para todas as frequências.

2.1.8 – Inteligibilidade

Conforme Carvalho (2010), inteligibilidade é uma grande característica no meio, pois reflete o grau de entendimento das palavras. Comumente é definido como a qualidade com que se ouve e ainda como se entende, bem.

Entende-se que inteligibilidade tem como conceito bastante genérico, onde pode ser definido pelo simples fato de se escutar um som, segundo Fernandes (2003).

Dentre diversas aplicações de inteligibilidade podemos citar os testes de equipamentos de áudio, avaliações de próteses auditivas, sistemas de comunicação,

linguagem, notas musicais, canto e etc. Baseado nas aplicações de inteligibilidade e como a voz é o som ouvido por mais de 90% do dia-a-dia, entende-se que a inteligibilidade da fala é a mais usual. Fernandes (2003).

Para que se tenha 100% de entendimento da fala, é preciso que se tenha 10 dB acima do ruído de fundo onde nas cidades brasileiras esse ruído fica aproximadamente em torno de 70 dB. (PIMENTEL; SOUZA, 1992).

Makrinenko (1994), afirma que existem algumas características para se determinar uma boa inteligibilidade da fala, tais como: menor tempo de reverberação, alto nível do sinal de fala, baixo nível de ruído de fundo e padrão das reflexões do som breve e sem atraso.

A qualidade da comunicação verbal pode ser quantificada sob o que rege as normas técnicas ANSI S3.2, 1990 e ISO TR 4870, 1991 que mostra detalhes de como aplicar testes para medição da inteligibilidade da fala. Segundo Fernandes (2003), a inteligibilidade pode ser calculada, medida e predita. Podem ser mensuradas de várias maneiras, agrupando-as em métodos analíticos e subjetivos.

Para aplicação do método subjetivo utilizam-se pessoas nas avaliações, onde possuem audição normal e através de um orador que pronuncia palavras que são normatizadas, tem-se a porcentagem de acerto que se chama de Índice de discriminação de fala (IDF). Já os métodos analíticos utilizam-se parâmetros acústicos obtendo um índice que avalie a inteligibilidade. (Santos 2012).

2.1.9 – Ruído de fundo

O ruído de fundo é todo som que chega ao ponto do receptor exceto aquele que está sendo avaliado. Se o ruído de fundo for mais alto que a fala pode prejudicar a inteligibilidade.

Em uma edificação se o nível de ruído de fundo for baixo, é preciso de mais rigorosidade no isolamento acústico por que qualquer fala dentro do ambiente poderá incomodar os ambientes ao lado. Se a edificação apresenta níveis de ruído alto, um ruído qualquer será percebido se for maior do que o ruído de fundo. Assim não há a necessidade de ter um isolamento acústico tão rigoroso. (Neto 2009)

A NBR 10152 (1987) estabelece níveis de ruído de fundo adequados para o conforto de cada ambiente. Os critérios devem ser adotados quando os níveis de ruído forem altos a ponto de interferir e incomodar na execução das atividades nas

residências, onde existem ambientes onde necessitam de certo nível de silêncio como, por exemplo, locais de descanso, lazer, diálogo, salas de televisão e etc.

2.1.9.1 – Correção do ruído de fundo

Em todas as medições realizadas em campo ou em laboratório (isolamento de ruído aéreo, ruído de impacto, etc.), deve ser medido o ruído de fundo, que é todo o ruído de fontes secundárias que chega ao microfone, na posição do receptor, que não seja o ruído em análise (GERGES, 2000).

Essa correção está apresentada nas normas de procedimento de medição. Em todas as medições o nível de sinal em relação ao nível de ruído de fundo deve ser o mínimo de 6 dB superior (de preferência, maior que 10 dB). Para ajustar o nível do sinal em relação do nível do ruído de fundo, L_b , e obter o nível do sinal combinado com o ruído de fundo, LS_b , segue a seguinte regra:

Se a diferença nos níveis (do sinal e ruído de fundo) for menor do que 6 dB em qualquer faixa de frequência, utiliza-se a correção de 1,3 dB correspondendo à diferença de 6 dB.

Se estiver entre 6 e 10 dB, utiliza a seguinte equação: Equação (4):

$$L = 10 \log (10 LS_b/10 - 10 L_b/10) \quad (4)$$

Onde:

- L – é o nível do sinal ajustado, em dB;
- LS_b – é o nível do sinal e o ruído de fundo combinados, em dB;
- L_b – é o nível de ruído de fundo, em dB.

Se for superior a 10 dB, as condições de medição são ideais e não há a necessidade de fazer ajuste com o ruído de fundo.

2.1.10 – Tempo de reverberação

Tempo de Reverberação (TR) é o tempo necessário para que uma intensidade de 60 dB caia para seu valor inicial logo depois que a fonte sonora seja desligada. (GUEDES, 2007).

Segundo Kowaltowski (2011), o tempo de reverberação pode ser controlado por meio de materiais absorventes e depende da frequência emitida, do volume da

sala, de materiais que compõem a superfície interna (teto, parede e piso), no índice de ocupação da sala (objetos e pessoas). Se o material utilizado tenha alto índice de absorção, o tempo de reverberação será pequeno.

Para determinar o tempo de reverberação ótimo, temos a Norma NBR 12179 – Tratamento Acústico em Recintos Fechados, onde indica os valores ideais para cada volume dos respectivos ambientes e as atividades que ali serão desenvolvidas.

O valor aproximado mais adequado do tempo de reverberação ótimo, em geral, vai depender do ambiente e da atividade desenvolvida por exemplo, quando temos salas destinadas para inteligibilidade da fala e palavra, necessita-se que o tempo de reverberação seja baixo. Logo para salas de concertos é recomendado tempo de reverberação moderadamente mais elevado.

Abaixo temos tempos de reverberação para determinados ambientes segundo Gerges (2000).

- Palavra Falada (aproximadamente 0,6 a 0,8 segundos),
- Cinema (aproximadamente 0,7 a 1,0 segundos),
- Auditórios (aproximadamente 1,0 a 1,2 segundos),
- Música de igreja (aproximadamente 1,2 a 1,4 segundos).

Caso haja a necessidade de medir o tempo de reverberação, a curva de decaimento deve começar depois de 0,1 segundos após a fonte emissora ser desligada.

Conforme a NBR 12179, existem duas fórmulas para se calcular o tempo de reverberação no ambiente fechado. A fórmula de Sabine é referência internacional pela facilidade de cálculo. Outrora existe a fórmula de Eyring que por sua vez foi desenvolvida posteriormente a partir da fórmula de Sabine, depois de ter descoberto uma falha em sua fórmula.

- **Fórmula de Sabine**

O método de cálculo recomendando pela ISO-354 é a fórmula de Sabine criada em 1895, que pode ser medido com ou sem a presença da amostra teste. A fórmula proposta por Sabine relaciona o tempo de reverberação com volume. Equação (5):

$$TR = 0.161V / S1a1 + S2a2 \quad (5)$$

Onde:

- TR = tempo de reverberação em segundos,
- V = volume do recinto em metros cúbicos,
- S1, S2 = áreas das superfícies interiores do recinto em m², afetadas pelos coeficientes de absorção a1, a2,
- a1, a2 = coeficiente de absorção sonora das várias superfícies interiores e demais elementos absorventes do recinto.

O TR calculado pela fórmula de Sabine a cada frequência, não leva em consideração a localização do receptor, pelo fato de que houve o surgimento da mesma, pela acústica estática.

Segundo Uria (2005), existem fatores que delimitam a utilização desta fórmula como nos seguintes casos:

- Os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- O coeficiente médio de absorção for alto (acima de 0,25);
- Os coeficientes de absorção não são precisos;
- Não se exige grande precisão nos cálculos.

- **Formula de Eyring**

Conforme Bistafa e Bradley (2000), Eyring verificou uma falha na fórmula de Sabine, quando o coeficiente de absorção sonora for igual a 1, o TR não é nulo. Assim considerando este critério Eyring reformulou a equação de Sabine resultando na seguinte Equação (6).

$$TR = -0.16V / S \cdot \ln(1 - a_m) \quad (6)$$

Onde:

- TR = tempo de reverberação em segundos;
- S = área total das paredes do ambiente;
- a_m = coeficiente de absorção médio.

Segundo Uria (2005), existem fatores que delimitam a utilização desta fórmula como nos seguintes casos:

- Os coeficientes de absorção sonora forem conhecidos e exatos;
- Distribuição uniforme dos materiais absorventes;

- Quando se quer precisão do tempo de reverberação.

Neste trabalho se utilizará a fórmula de Sabine por não se conhecer exatamente os coeficientes de absorção sonora dos materiais em teste e também por seguir os critérios da norma ISO 354 que se baseia na fórmula de Sabine.

2.1.11 – Método de verificação

O método utilizado será o de precisão, realizado em laboratório. Geralmente neste método são considerados para testes elementos como paredes, portas, janelas, divisórias e etc., no entanto apesar de ser um método considerado completo e técnico, será simplificado se adequando às condições e equipamentos disponíveis para medição.

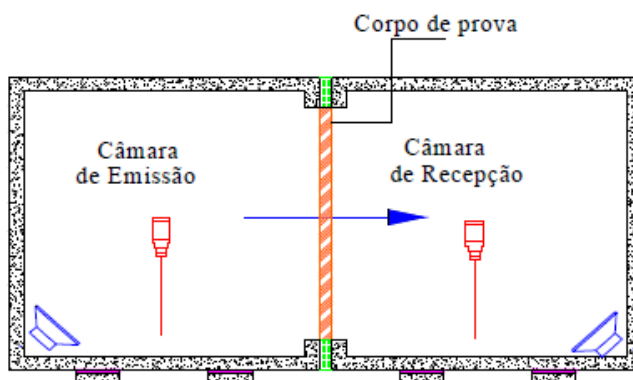
Os testes serão realizados em câmaras reverberantes em laboratório conforme cita a NBR 15574-4 Sistemas de Vedações Internas e Externas.

2.1.12 – Câmara reverberante

Uma câmara reverberante tem a função de permitir a realização de testes acústicos de absorção sonora, campos difusos, perda de transmissão e medições de tempo de reverberação de diferentes materiais.

Conforme Gerges (2000), para que se realize testes em laboratório é necessário duas câmaras reverberantes, uma emissora e outra receptora. O material a ser testado deverá ficar alojado entre as duas câmaras. Câmaras reverberantes são construídas especialmente para testes de isolamento sonora e ruído aéreo.

Figura 4 – Modelo esquemático das câmaras e do corpo de prova



(Fonte: Adaptado de BARRY, 2005)

2.1.12.1 – Câmara Reverberante em escala reduzida

Nascimento (2005), aborda o método empírico para analisar o comportamento acústico de um modelo reduzido. Consiste na construção de uma câmara reverberante reduzida à uma escala de 1:8, baseado num volume de 200 m³ como cita as normas internacionais. Sua câmara foi feita com madeira e acrílico, logo, pode ser usada para pesquisas envolvendo acústica.

Nunes (2001), constrói uma bancada de acrílico em escala reduzida (1:6), afim de similar com um compartimento de passageiros para desenvolver metodologias experimentais e numéricos dos campos sonoros de cavidades veiculares. Fazendo comparações entre formas modais, frequências naturais e pressão sonora, chegou-se a uma conclusão satisfatória e seu trabalho foi validado.

Um projeto apresentado pela BBC (1970), estuda as propriedades acústicas de salões de concerto e estúdios através de câmaras reverberantes em escala reduzida.

Carneiro (1996), em seu livro “Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos”, estuda de maneira profunda e inovadora a história das análises dimensionais, tratando também das semelhanças e condições que devem ser obedecidas em ensaios com modelos em escala reduzida.

2.2 – Norma brasileira de desempenho de edificações

Em 2008 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aprovou a primeira versão da norma de desempenho de edificações NBR 15575 – Edifícios Habitacionais, com o objetivo de impor condições mínimas de conforto, habitabilidade e uso. Esta norma teve sua primeira versão formulada para construções de até cinco pavimentos, porém desde o início a versão já informava que a norma poderia ser aplicada para edifícios com mais de cinco pavimentos.

Desde do ano de aprovação da norma, ela vem sofrendo alterações, sendo publicada novamente em 19 de fevereiro de 2013, entrando em vigor no dia 19 de julho de 2013.

A norma define níveis de desempenho para as edificações, mesmo que comparadas às outras normas em outros países, níveis mais baixos. Portanto, produtos de baixa qualidade utilizados pelas construtoras poderão ocasionar problemas judiciais.

A norma de desempenho (ABNT NBR 15575, 2008) é importante tanto para o consumidor como para a indústria da construção civil. O consumidor estará confiante de que o produto que está adquirindo tem a qualidade mínima especificada por normas técnicas e pelo Código de Defesa do Consumidor. A indústria da construção civil terá a base para poder colocar no mercado um produto com a qualidade mínima para habitabilidade e uso, obtida com o respeito as normas técnicas. (FERREIRA NETO, 2009).

Com as exigências da norma NBR 15575 – Edificações Habitacionais, tem levado a profissionais como engenheiros e arquitetos, a buscarem em seus projetos por materiais com melhores condições de conforto acústico e desempenho.

2.2.1 – NBR 10151 e NBR 10152

A NBR 10151 (ABNT, 2000) – *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitacionais, visando o conforto da comunidade* e a NBR 10152 (ABNT, 1987) – *Níveis de ruído para conforto acústico*, encontram-se em revisão e são normas importantes para processos de medições de níveis de pressão sonora.

A Tabela 4 indica os índices de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes. Onde M = nível de desempenho mínimo, I = intermediário e S = superior.

Tabela 4 – Índice de redução sonora ponderado R_w , de componentes construtivos nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, p.54

2.3 – Materiais e equipamentos utilizados para os testes de isolamento sonoro

Na construção civil utilizam-se diversos tipos de materiais para vedação e estrutura como por exemplo, vidro, madeira, mármore, concreto armado, blocos estruturais e blocos de vedação sendo eles de concreto ou cerâmicos, que possuem capacidade de isolamento acústico, porém nem sempre é o ideal para impedir a propagação do som.

Existem materiais com capacidade de absorver o som superior a outros, que são materiais que tem em sua composição fibras e poros. Os materiais porosos são constituídos de espaços vazios, orifícios que se comunicam entre si, já os materiais fibrosos possuem uma quantidade superior de fibras cruzadas. O som ao se encontrar com esses materiais se transforma em energia calorífica devido à composição porosa ou fibrosa.

2.3.1 – Lã de rocha

A lã de rocha é uma lã mineral que é produzida a partir de rochas basálticas que são aglomeradas com resina sintética. Para sua instalação deve-se ter cuidado por que pode ser prejudicial a saúde. É indicada para tratamento acústica e térmico e não é corrosível. (ISAR, 2015)

Pode ser utilizada em forros, paredes e dutos de condicionadores de ar. É vendida em forma de manta revestida e painéis.

Sua densidade varia entre 30 a 200 kg/m³. É um produto flexível e leve, podendo ser rígido também.

2.3.2 – Lã de vidro

A lã de vidro é considerada como um dos materiais com maior poder de absorção acústica. É formada por partículas de sódio e sílica que são aglomeradas por resina sintética em alto-forno. Sua forma física se constitui em fibras entrecruzadas que possibilita em contato com o som, absorve-lo. Portanto possui grande coeficiente de absorção acústica.

O coeficiente de absorção da lã de vidro fica em torno de 0,58 há uma frequência de 250 Hz a 1,00 há uma frequência de 1000 Hz, segundo Isar (2015).

É um material incombustível além de ser leve, com fácil manutenção e resiste a corrosão. Pode ser utilizada em paredes, forros, painéis e placas revestidas. Possui densidade de que fica entre 10 a 110 kg/m³.

2.3.3 – Espumas acústicas

São espumas de poliuretano com bom índice de absorção diminuindo o tempo de reverberação e melhorando o desempenho contra ruído.

No mercado é vendida em placas de tamanho 100 x 100 cm, com espessuras de 22 há 75 mm. É um material combustível porem utiliza-se de aditivos que retardam a propagação do fogo. Os coeficientes de absorção podem chegar dependendo da frequência a 0,06 há 1,04.

2.3.4 – Drywall

Sistema drywall ou placas de gesso acartonado (sistema de construção interna a seco), iniciou no Brasil em meados de 1990. É um sistema rápido, gera menos resíduos, porém exige a necessidade de mão de obra qualificada. (KNAUF, 2012)

Nos países como Dinamarca, Estados Unidos da América, Holanda, Noruega, Suécia entre outros, as placas de gesso para drywall são feitas com a mistura de material puro (gipsita) e materiais sintéticos. No Brasil é feito somente com material puro.

A utilização do drywall cresce cada vez mais no estado de São Paulo. É um sistema modular, rápido e pode apresentar proteção acústica melhores que as alvenarias de vedação com tijolos cerâmicos.

Pode-se utilizar o drywall somente em vedações internas não estruturais pois seus perfis de aço tem a função apenas de suportar as placas de aço, permitindo a fixação de louças, aparelhos de TV, armários, bancadas, etc. Porém os perfis precisam ser reforçados.

Os perfis são de aço zincado com montantes e guias para que seja fixado as placas de gesso acartonado, logo pode-se inserir materiais que oferecem isolamento acústico como lã mineral para impedir a passagem do som. (FERGUSON, 1996 apud SILVA, 2002).

Além de ser útil para vedações verticais o drywall também é utilizado em forro de teto e mobiliário. A mão de obra precisa ser qualificada e segundo Ferreira (2012), o tempo de execução é quatro vezes menor que a alvenaria convencional.

Para a produção do drywall é necessário gesso, aditivos, papel cartão, montante de gesso galvanizado, água, perfis e lã mineral para o isolamento termo acústico.

2.3.4.1 – Processo de produção das placas de drywall

O processo se inicia a partir da extração da gipsita na jazida. Logo o minério vai para gessaria para ser transformado em semi-hidrato, conhecido como estuque. O processo inclui moagem, calcinação (remoção das partículas de água por meio do calor e o resfriamento controlado). (PLACO, 2012).

Ainda segundo Placo (2012), o papel cartão deve ser especial contendo fibras longas, obtido por matéria prima reciclada. Conforme Marcondes (2007), esse processo de fabricação é feito por multinacionais fora do Brasil.

Em seguida é passar pelo misturador, que recebe o estuque com aditivo e água, misturando-os e transformando em uma única massa homogênea que depois é lançada sobre um papel inferior. Logo formado e endurecido o tapete de gesso é cortado em placas dos tamanhos das guilhotinas, em seguida as placas são levadas para uma mesa que contem 8 níveis de secadores. Ao passa pelos secadores as placas são levadas para o acabamento onde são esquadrejadas e paletizadas. Logo é levado para o setor de armazenagem para o despacho. (PLACO, 2012)

2.3.4.2 – Montagem das paredes

A execução das paredes necessita de mão de obra qualificada e especializada. Logo o tempo de execução diminuiu quatro vezes do tempo de execução de alvenaria convencional de tijolos cerâmicos. (FERREIRA, 2012)

Para a fixação de objetos como armários, louças, TV, bancadas e etc, precisa-se de um reforço ou o uso de fixadores. Para os fixadores tem-se o de bucha de expansão que serve para objetos de carga média nas placas de gesso acartonado, a bucha basculante que serve para objetos de carga média nos montantes ou e reforços e a bucha parafuso que é indicado para fixação de objetos que ficam rente a parede como espelho.

2.3.4.3 – Cuidados na execução

Deve ter cuidado com as tubulações de cobre ou bronze que devem ser isoladas dos perfis de aço para evitar futuras corrosões. As fiações elétricas precisam ser instaladas dentro dos eletrodutos.

Para a pintura, as tintas devem ser aplicadas diretamente no cartão. Na pintura lisa pode ser aplicada massa corrida ou acrílica.

Para a colocação de azulejos utiliza-se massa com melhor aderência, mais flexível.

2.3.4.4 – Reparos e manutenção

É muito simples para se fazer reparos e manutenções nas instalações embutidas nas paredes de drywall. É preciso recortar uma abertura na chapa, executar o reparo e fixar pedaços de perfis no interior da parede, fixar o pedaço recortado e fazer o acabamento.

2.3.5 – Dosímetro e normas de medição

Dosímetro é um equipamento de medição, com este equipamento pode-se avaliar os níveis de ruído diários em que um trabalhador está exposto.

Este equipamento conta com um microfone que converte a pressão sonora em sinais elétricos, estes sinais podem ser usados para avaliações de ruído ambiental e ocupacional.

O dosímetro gera um gráfico de exposição ao ruído, minuto a minuto do trabalhador. As informações geradas podem ser usadas para garantir conformidade com OSHA, MSHA, ACGIH, IEC.

O modelo que será utilizado nas medições é o 3M Edge, que conta com dois medidores virtuais com registros de dados e que entre uma de suas funções, tem a opção de leitura de nível de pressão sonora em tempo real, no seu display é a opção “SPL”.

Conforme Fantini Neto (2013, p. 14) os instrumentos de avaliação de ruído precisam obedecer uma das normas apresentadas abaixo:

- IEC 60.651 – International Eletrotechnical Comission – Sound Level Meters
- IEC 60.804 – Integrating Averating Sound Level Meters;
- IEC 61.672 – Unificou a IEC 60.651 e IEC 60.804, eliminando o tipo 0 e 3;
- ANSI S1.25 – Specification for Personal Noise Dosimeters;

- ANSI S1.4 – Specification for Sound Level Meters – Type S2A;
- ANSI S1.40 – Specification for Acoustical Calibrators;
- ANSI S3.6 – Specification for Audiometers;
- ANSI S1.11 – Specification for Octave-Band and Fractional Octave-Band Analog Digital Filters.

O dosímetro utilizado para os testes aplica-se a:

- ANSI S1.25 Personal Noise Dosimeters;
- IEC 61252 Personal Sound Exposure Dosimeters - Atende a norma RoHS;
- IEC 60079-0:2004 e IEC 60079-11:2006;
- IECEx certificado n° SIM 08.0012;
- MSHA, ATEX, U.L., cUL (Pendente)

2.3.5.1 – Calibração do Dosímetro

Este modelo de dosímetro acompanha de um equipamento de calibração de modelo 3M QC-10 – QUEST, que fornece verificações rápidas e precisas de calibração. Este equipamento gera um sinal acústico de frequência e amplitude constante, verificando então a precisão do medidor antes de sua utilização.

O calibrador emite uma frequência de 1000 Hz com 114 dB, fixo na saída, onde se conecta o microfone do dosímetro e se faz a calibração. O valor medido em decibéis mostrado no visor do dosímetro, precisa estar igual ao valor emitido pelo calibrador, 114 dB, normatizado e em conformidade com a IEC 942 e ANSI S1. 40.

Figura 5.

Figura 5 – Calibrador 3M QC-10 - QUEST



Fonte: Autor

3 – METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DA CÂMARA

Essa pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa, logo os materiais testados serão qualificados e os resultados transformados em números. O trabalho é experimental e os testes serão realizados no laboratório de materiais de construção do CEULP/ULBRA – Centro Universitário Luterano de Palmas.

Será construído uma câmara reverberante em escala reduzida, logo é importante salientar a não existência de normas específicas para construção e medição sonora em câmaras reverberantes em escala reduzida.

Os parâmetros serão baseados nas normas tentando buscar maiores semelhanças com uma câmara reverberante real. Porém é difícil encontrar materiais com índices de absorção sonora idênticos aos das câmaras reais. Portanto, será utilizado materiais com parâmetros similares.

Baseando-se em dois trabalhos elaborados por Toutonge (2006) e Guedes (2007) sendo feita as devidas modificações, a construção da câmara de reverberação será constituída por 08 etapas.

3.1 – Etapas para elaboração e concepção da câmara reverberante

1º Etapa: Escolha da escala reduzida

A construção da mini-câmara será realizada de acordo com os padrões e normas internacionais, segundo a norma ISO 354 que trata de medições da absorção sonora em câmara reverberante e a norma ISO 3741, que determina os níveis de potência sonora em câmaras reverberantes, tomando como base uma câmara reverberante real, logo, após várias pesquisas que resultaram na conclusão de que será realizado a construção da câmara reverberante com escala reduzida de 1:6.

Neste trabalho as medições serão realizadas com frequências nas bandas de oitava entre 125 Hz e 4 kHz.

2º Etapa: Dimensões da câmara

As normas recomendam para construção de uma câmara reverberante real, um volume aproximado de 200 m³, segue-se como parâmetro dimensões reais e reduzidas.

Abaixo segue as dimensões reais e reduzidas da câmara de reverberação:

Dimensões aproximadas da Câmara Real (UFSM)	
Largura	6,0
Comprimento	14,64
Altura	4,8
Área Total (m ²)	374,0
Volume (m ³)	421,6

Dimensões da Câmara Reduzida (Autor)	
Largura	1,0
Comprimento	2,44
Altura	0,8
Área Total (m ²)	10,39
Volume (m ³)	1,952

Conforme a ISO 354, recomenda-se que o comprimento da maior linha reta no interior da câmara não pode ultrapassar $1,9.V^{1/3}$ sendo V o volume da câmara. Em contrapartida a ISO 3741 diz que a relação entre as dimensões (L_y/L_x e L_z/L_x) não podem se igualar a um inteiro.

É recomendável também que haja uma diferença de volume entre as câmaras de pelo menos 10%, porém para uma câmara de escala reduzida com um volume pequeno, não se faz necessário ter essa diferença. Todavia haverá uma pequena diferença entre os volumes internos das câmaras pelo fato de que terá um alto-falante instalado na câmara de emissão sonora tomando um espaço determinado.

Abaixo segue as conferências das recomendações propostas pela ISO:

$$\text{Relação } (L_y/L_x) = (1,0/2,44) = 0,41 - \text{Ok}$$

$$\text{Relação } (L_z/L_x) = (0,8/2,44) = 0,33 - \text{Ok}$$

3° Etapa: Escolha do material da câmara

O material escolhido para a construção das câmaras reverberantes foi o compensado com 18 mm de espessura, sendo ele montado nas paredes, teto e piso. Baseado em estudos o compensado apresentou êxito em projetos e pesquisas onde foi utilizado apesar do seu baixo custo.

A densidade do compensado segundo López (1992), é de 0,6 Kg/m³ para cada 1 mm. Logo para cada placa de 18 mm, temos uma densidade de 10,8 Kg/m³.

4° Etapa: Materiais utilizados para construção da mini-câmara

Inicialmente será preciso tomar posse de alguns materiais base para dar início a construção da mini-câmara reverberante.

- 10,39 m² de compensado com espessura 18 mm para teto, paredes e piso;
- Borracha para isolamento;
- Pregos;
- Cola para madeira e borracha;
- Silicone;
- 02 folhas de vidro 4 mm;
- Tiras de madeira.

5° Etapa: Dimensionamento dos cortes do compensado

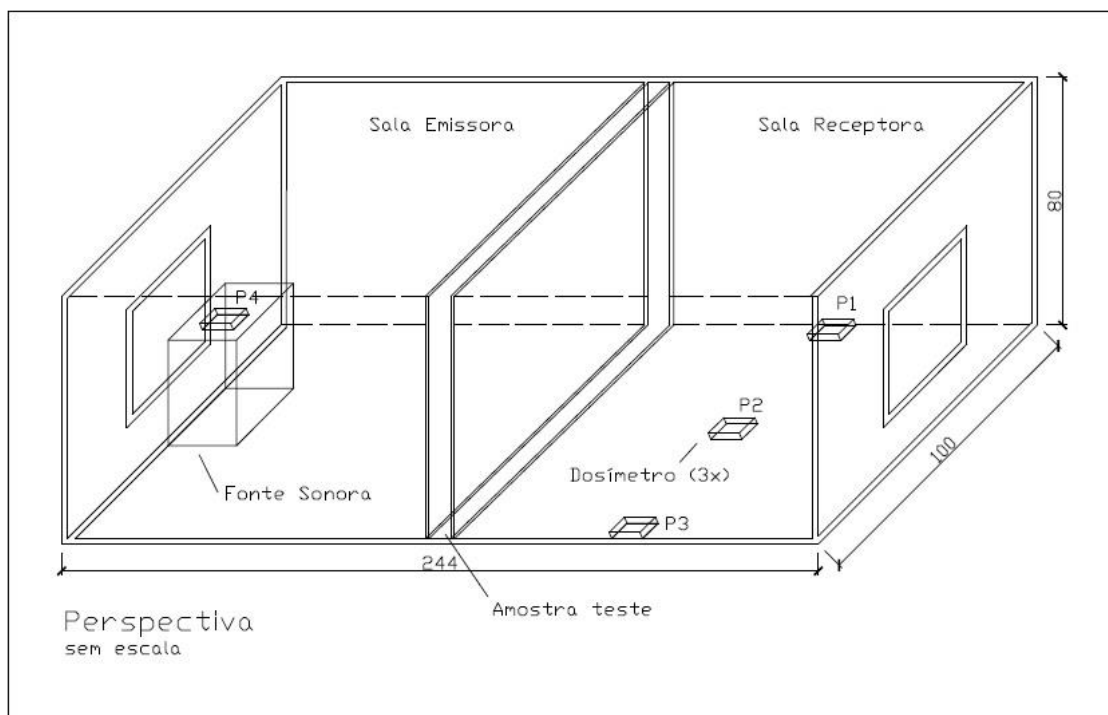
Lado A: se refere aos cortes do compensado do piso e teto com duas peças retangulares de 1,0 m x 2,44 m.

Lado B: se refere aos cortes do compensado das paredes laterais com duas peças retangulares de 0,8 m x 2,44 m.

Lado C: se refere aos cortes do compensado das paredes de frente e fundo, duas peças com 0,8 m x 1,0 m.

Lado C': se refere aos cortes que serão feitos nas paredes do **lado C** para possibilitar a montagem dos vidros com dimensões 27 x 27 cm.

Figura 6 - Detalhe da câmara com dimensões



Fonte: Autor

6° Etapa: Montagem da mini-câmara

Com as partes constituintes já cortadas nos tamanhos ideais, será iniciado o processo de junção de piso com paredes e teto usando silicone para vedar totalmente as pequenas aberturas que podem existir nas junções. Após a estrutura pré-montada será feita a fixação das junções com pregos de espessura fina, consolidando ainda mais a estrutura.

As duas paredes de frente e fundo terão cortes em forma quadrada de 27 cm x 27 cm instalado vidros com espessura de 4 mm que servirão como janela de visualização dos resultados mostrado no decibelímetro no interior da câmara.

7° Etapa: Instalação da fonte sonora

No canto da mini-câmara de emissão sonora será instalado um alto-falante com modelo MS 7945MU - Potência de Saída máxima de 225 W RMS x 2, com dimensões aproximadas de 278 x 317,5 x 308 mm, pesando aproximadamente 4,61 kg, segundo manual do fabricante Toshiba.

8ª Etapa: Instalação de isolador de vibração

Segundo Guedes (2007), a transmissão de vibração entre o piso e a mini-câmara pode provocar irradiação sonora, contaminando as medições que serão realizadas.

Para evitar a transmissão da vibração, deverá ser feito barramento com materiais do tipo borracha em forma de “pé” instalado nos cantos da mini-câmara ou uma borracha cobrindo a área de contato entre as estruturas.

3.2 – Características de alguns dos materiais utilizados para construção da câmara

3.2.1 – Compensado

O compensado é formado através da colagem de laminas de madeira, geralmente sobrepostas na direção das fibras das camadas sucessivas e em número ímpar, conforme Tsoumis (1991).

Segundo Walker (1993), este material possui boa capacidade de suportar cargas de impacto que se impõem a certas estruturas e oferece resistência a rachaduras. É praticamente impossível rachar um compensado, que se torna importante para o uso de pregos. (TSOUMIS, 1991).

O compensado é utilizado hoje em vários locais, principalmente na construção civil em paredes, tetos, estruturas, móveis, portas, andaimes, telhados, pisos, formas de concreto e etc.

Para a construção da mini-câmara reverberante deste trabalho será utilizado o compensado de 20 mm de espessura.

3.2.2 – Vidro

O vidro possui propriedades naturais como clareamento de ambiente, iluminação e estética além de oferecer resistência térmica, proteção e isolamento acústica.

A densidade do vidro em média é dada através da espessura da peça, cada mm tem aproximadamente 2,5kg/m². Se o vidro for colocado com uma distância entre uma placa e outra, o isolamento sonoro sobra em 3 dB, segundo Toutonge (2006).

Abaixo segue os valores de isolamento sonoro oferecido pelo vidro para diferentes espessuras. Tabela 5.

Tabela 5- Isolamento sonoro fornecido pelo vidro

MATERIAL	DENSIDADE (kg/m ³)	ISOLAMENTO (dB)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Vidro (3 mm)	10	26	27	31	31	33	29
Vidro (6 mm)	15	---	32	30	33	34	---
Vidro (10 mm)	25	23	21	26,5	27,5	23	---

Fonte: López (1999)

3.3 – Construção da mini-câmara de reverberação

Este item é a continuação da etapa de número **06** da metodologia. Será descrito especificamente a ordem de construção da mini-câmara e quais materiais utilizados para a confecção.

3.3.1 – Dimensionamento das placas de madeirite

As placas de madeirite foram adquiridas nas medidas comerciais 2,44m x 1,22m.

Para facilitar o trabalho, corte e diminuir as perdas, as medidas das mini-câmara mostradas no TCC I, tiveram pequenas alterações, não interferindo nos parâmetros mínimos que são exigidos para a construção da mesma. Após a definição das novas medidas, a câmara resultou em dimensões maiores do que as iniciais.

Nesta fase tomou-se cuidado com as marcações dos cortes, deixando-os sempre no esquadro para que não houvesse problema na junção entre teto, paredes e piso mesmo sendo feita a utilização de um produto para vedação das juntas.

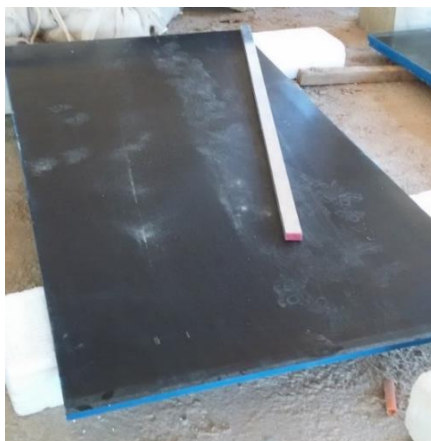
Logo as medidas de corte são:

Lado A: se refere aos cortes do compensado do piso e teto com duas peças retangulares de 2,44 m x 1,0 m.

Lado B: se refere aos cortes do compensado das paredes laterais com duas peças retangulares de 0,8 m x 2,44 m.

Lado C: se refere aos cortes do compensado das paredes de frente e fundo, duas peças com 0,8 m x 1,0 m.

Lado C': se refere aos cortes que serão feitos nas paredes do **lado C** para possibilitar a montagem dos vidros com dimensões 30 x 30 cm.

Figura 7 – Corte do madeirite

Fonte: Autor

3.3.2 – Estrutura de vedação das janelas

As mini-câmaras possuem janelas nas tampas para facilitar o trabalho de entrada/saída e visualização do decibelímetro no interior da câmara.

A abertura no madeirite de tamanho 80cm x 100cm é de 27x27 cm, fixando o eixo da janela no eixo da peça inteira. O vidro possui tamanho de 30x30 cm, logo foram cortadas 04 tiras de madeira de espessura 18mm com medidas 35cm x 6cm e 02 tiras de madeira com 27cm x 6 cm.

Para melhorar a trabalhabilidade do vidro, foi feito uma espécie de chanfro nas tiras já cortadas com medidas de 17mm x 6mm x 35/27 cm.

As tiras de madeira serão pregadas com pregos de 15X21 em volta da abertura da janela, deixando a parte superior da janela livre para que o vidro seja encaixado e retirado, conforme figura 07.

Figura 8 - Tiras de madeira em volta da janela

Fonte: Autor

Entre o madeirite da tampa e as tiras de madeira, ficou-se então com uma abertura de aproximadamente 6mm, onde o vidro com espessura de 4mm será

encaixado sobrando então 2mm para a vedação com tiras de borracha cortadas manualmente por que não foram encontradas borrachas na medida de 2mm de espessura. Os cortes nas borrachas ficaram irregulares, porém não terá problema pois a borracha estará prensada entre o vidro e o madeirite, não permitindo a passagem de som.

3.3.3 – Montagem das paredes laterais

Com as peças pré-dimensionadas e cortadas, montou-se a parte de baixo (piso) e paredes da câmara. Nesta primeira etapa da montagem foi colocado Sikaflex Universal nas junções para que pudesse garantir que não houvesse espaços vazios nas juntas. Os pregos foram colocados com distâncias de 10cm entre eles para garantir mais segurança e novamente assegurar que não ficasse espaços vazios. Após as duas paredes da câmara já pregadas no fundo, fez-se a vedação externa entre as peças, visando estancar brechas e dar mais confiabilidade para o projeto, conforme figura 08.

Figura 9 - Montagem das paredes



Fonte: Autor

3.3.4 – Montagem da divisória Drywall

Após a montagem das paredes, e com as medidas exatas, montou-se a estrutura do drywall no eixo do comprimento da câmara, medindo-se 1.22 m. As placas de gesso acartonado possuem espessura de 12,5 mm cada uma, montantes

e guias com 70 mm, espaço interno entre as chapas de 70 mm e largura externa de chapa a chapa totalizando 95 mm. O peso dessa estrutura sem e com lã de vidro é de 23/25 kg/m². Segundo o manual Knauf – Drywall, esta parede divisória é considerada como sistema W 111.

A estrutura foi parafusada nas paredes e piso deixando o sistema mais resistente e seguro, conforme figura 09.

Figura 10 - Estrutura de Drywall



Fonte: Autor

3.3.5 – Montagem das paredes de frente e fundo

As paredes foram pregadas com distancias de 10 cm entre os pregos para garantir maior vedação, novamente foi utilizado Sikaflex Universal para fazer a vedação dos espaços que poderiam ficar expostos, figura 10.

Figura 11 - Parede de frente e fundo



Fonte: Autor

3.3.6 – Vedação interna da câmara

Com o objetivo de vedar completamente a passagem de som por qualquer espaço vazio na junção das peças de madeirite, foi utilizado Sikaflex Universal para fazer a selagem completa em todo o perímetro da câmara após pregada.

Alguns pontos não houveram a completa junção das peças pelo fato de que o madeirite foi cortado em um dos lados manualmente com serra circular, logo o corte não saiu uniforme. Após a passagem do produto para vedação, as brechas que haviam ficado com aproximadamente 1 mm, foram inteiramente vedadas, conforme figura 11.

Figura 12 - Vedação Interna



Fonte: Autor

3.3.7 – Montagem do teto

É importante lembrar que antes de executar a etapa de montagem dos tetos, era preciso que todas as etapas descritas anteriormente tivessem perfeitamente íntegras pregadas, limpa e com todas as partes vedadas. Após a pregação do teto, nada mais poderia ser executado no interior da câmara a não ser os testes, pois o acesso interno é limitado pela janela de vidro de vão 27 cm x 27 cm.

Todos os cuidados e reparos de vedação e limpeza foram feitos.

O teto foi pregado com distancias entre os pregos de 20 cm, foi suficiente para fazer o encaixe perfeito nas peças sem deixar brechas. Logo, antes de ser colocado o teto, passou-se uma camada de Sikaflex Universal com espessura de aproximadamente 3 mm em todo o perímetro da borda superior das paredes onde seria encaixado o teto, deixando as juntas ainda mais seguras e vedadas. Conforme figura 12.

Figura 13 - Vedação para encaixe do teto

Fonte: Autor

Após a passagem do produto de vedação, colocou-se o teto por cima e pregou-se.

Com o teto já pregado, a camada de silicone se espalhou por completo no madeirite, minimizando quaisquer espaços livres. Como não havia possibilidade de fazer a vedação interna do teto, assim como foi feito no restante das peças e para não comprometer os resultados dos testes, após o teto pregado, passou-se novamente uma camada de silicone em todo o perímetro do teto, pelo lado de fora. Assim vedando completamente qualquer passagem do som por meio de espaços vazios entre os madeirite. Conforme figura 14.

Figura 14 - Vedação Externa do teto

Fonte: Autor

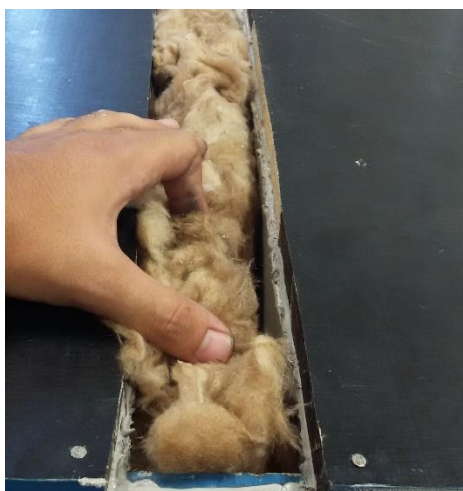
3.3.8 – Fechamento da divisória a ser estudada

Após o ajustamento da lã de vidro dentro da divisória de gesso acartonado (Drywall), passou-se silicone na parte superior das placas de gesso para que

houvesse barreiras contra passagem do som, tomando-se cuidado para vedar completamente as brechas de aproximadamente 1.5 mm em alguns pontos não uniformes que ficaram pelo fato de que a placa de gesso foi cortada manualmente com estilete.

Nesta etapa a camada de silicone foi de aproximadamente 0.5 cm, reforçada pelo fato de que a região de encontro entre o teto e a divisória é aonde haverá a maior incidência de som, conforme figura 15.

Figura 15 - Vedação da divisória



Fonte: Autor

A peça que fez o fechamento possui medidas de 100 cm de comprimento por 7 cm de largura. Após a colocação do mesmo, passou-se silicone para fechar completamente a passagem de som do meio interno da divisória para o meio externo.

3.3.9 – Neoprene como apoios de sustentação

Para evitar a transmissão de vibrações do piso para a câmara de reverberação durante os testes, foi utilizado borracha neoprene 15 cm x 25 cm com espessura de aproximadamente 2,0 cm nos quatro cantos da câmara. Foi optado por não parafusar nenhum tipo de suporte para sustentação para evitar furos no piso do madeirite e provavelmente interferir nos resultados.

4 – METODOLOGIA PARA ENSAIOS

4.1 – Local dos ensaios

A câmara de reverberação em escala reduzida foi ensaiada no laboratório de recursos hídricos do CEULP/ULBRA – Palmas TO.

4.2 – Equipamentos e materiais utilizados para os ensaios

Fez-se necessários à utilização de alguns equipamentos e materiais para a realização dos ensaios de isolamento acústica dos materiais a serem observados.

4.2.1 – Lã de vidro

Para a realização dos testes foi utilizado lã de vidro com dimensões 960 mm x 800 mm x 50 mm, é fácil de recortar e aplicar, porém há a necessidade de manuseá-la com equipamentos de proteção individual, como por exemplo, luvas.

É formada por partículas de sódio e sílica que são aglomeradas por resina sintética em alto-forno. Sua forma física se constitui em fibras entrecruzadas que possibilita em contato com o som, absorve-lo. Portanto possui grande coeficiente de absorção acústica.

É um material incombustível além de ser leve, com fácil manutenção e resiste a corrosão. Pode ser utilizada em paredes, forros, painéis e placas revestidas. Possui densidade de que fica entre 10 a 110 kg/m³.

Além de tudo é um material que não tem nenhuma relação com fibras de amianto, que tem seu uso restringido. A lã de vidro é classificada como material não cancerígeno, segundo a Agência Internacional de Pesquisa sobre o câncer (IARC).

4.2.2 – Lã de rocha

Para a realização dos testes com a lã de rocha, foi utilizado a lã com medidas 960 mm x 800 mm x 50 mm. Para sua instalação deve-se ter cuidado por que pode ser prejudicial a saúde. Necessita de utilização de EPI.

A lã de rocha é uma lã mineral que é produzida a partir de rochas basálticas que são aglomeradas com resina sintética. É indicada para tratamento acústica e térmico e não é corrosível. (ISAR, 2015)

Sua densidade varia entre 30 a 200 kg/m³. É um produto flexível e leve, podendo ser rígido também.

4.2.3 – Fonte emissora de som

A fonte sonora ficou na posição central (frente com a janela da câmara), com especificações técnicas segundo fabricante, modelo Bass Reflex, 2 vias, com medidas aproximadas de 225 x 346,5 x 266,5 mm, peso aproximado de 4,58 kg. Logo foi utilizado apenas uma caixa para geração do ruído rosa, com frequências entre 63 Hz a 8 KHz.

O aparelho foi o MS 7945MU - Potência de Saída máxima de 225 W RMS x 2, com dimensões aproximadas de 278 x 317,5 x 308 mm, pesando aproximadamente 4,61 kg, segundo manual do fabricante Toshiba. Este ficou do lado de fora da câmara, onde foi controlado as faixas de frequências.

Como referência deste projeto, foi optado este modelo de equipamento que se assemelha a potência do equipamento utilizado por Toutonge (2006), modelo MID Bass 6 MB1(Selenium), com aproximadamente 100 W de potência para a geração do ruído rosa.

4.2.4 – Equipamento de medição

A ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists, recomenda que o nível de pressão sonora seja medido por um equipamento de medição de nível de pressão sonora (decibelímetro) ou dosímetro. Para a realização das medições, optou-se por utilizar o dosímetro – Medidor integrador de uso pessoal.

4.2.4.1 – Características do Dosímetro utilizado

O modelo do equipamento a ser utilizado é o The Edge 3 M – QUEST TECHNOLOGIES. É um equipamento que se utiliza para medições ocupacionais, ou seja, referente ao trabalhador, com o objetivo de saber a carga de exposição ao ruído na jornada de trabalho diária e garantir que as empresas estão oferecendo condições de trabalho ideais baseado nas normas regulamentadoras.

O dosímetro é considerado o equipamento de medição mais eficiente e detalhista para medições de ruído. Entre as funções deste equipamento, temos:

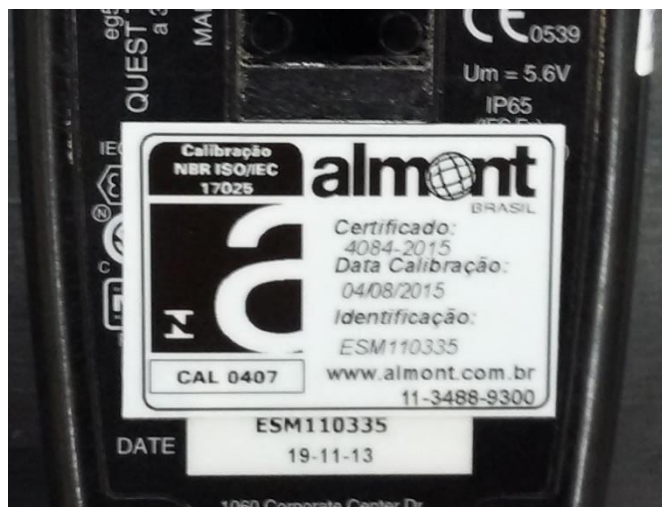
- SPL - Nível de pressão sonora;

- Lasmx – Nível sonoro máximo, sobre os regulamentos da OSHA, trabalhadores não podem estar expostos a limites máximos de 115 dB, medidos com taxa de resposta lenta.
- Lcpk – Nível de pico. É o nível de pressão sonora mais elevado durante o tempo de medição, independente da taxa de resposta. Conforme OSHA, limite máximo de nível de pico é de 140 dB.
- Lasmin – Nível sonoro mínimo. Nível medido mais baixo durante o tempo de medição.
- Lavg – Nível sonoro médio. Calculado em uma duração de tempo escolhida, com taxa de intercambio de 4, 5 ou 6 dB.
- Ltwa - Média ponderada no tempo. É o nível sonoro (em dB) acumulado em qualquer período, mas com seu nível médio calculado em um período de 8 horas. A TWA em geral é medida com A ponderado, resposta lenta e taxa de intercâmbio de 5 dB.
- Lae – Nivel de exposição sonora (SEL). Usa como média o som da amostra durante um período de 1 segundo. Supondo-se que o tempo de execução da amostra seja superior a 1 segundo, o SEL é o ruído equivalente a 1 segundo que seria igual em energia ao ruído amostrado.
- Dose - Nível de critério, uma leitura de dose de 100% é a exposição máxima permitida ao ruído acumulado. Para a OSHA, uma dose de 100% ocorre com nível sonoro médio de 90 dB durante um período de 8 horas (ou qualquer exposição equivalente).

4.2.4.2 – Calibração com garantia INMETRO

A instituição responsável pelos equipamentos, informou que os dosímetros são anualmente enviados para calibração pela empresa Almont Brasil. Foram utilizados 04 dosímetros para a realização dos testes, todos com selo de certificação de calibração ativo. Foi pego como base um dos equipamentos com calibração última calibração feita em 04/08/2015. Conforme figura 16.

Figura 16 - Selo de calibração anual



Fonte: Autor

Almont Brasil é uma empresa que trabalha com equipamentos de medição e possui laboratório para realizar as calibrações acreditada dos equipamentos. Calibração acreditada número 407 de 07/07/2008 com vencimento em 20/02/2017, fornecida pelo site RBC (Rede Brasileira de Calibração) (http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/detalhe_laboratorio.asp?num_certificado=407&situacao=AT&area=AC%DASTICA%20E%20VIBRA%C7%D5ES).

Calibração acreditada é aquela que se define como um sistema de avaliação e certificação de qualidade de serviços metrológicos. É um reconhecimento formal expedido por um organismo independente que é especializado em normas técnicas, neste caso INMETRO. A avaliação visa reconhecer o laboratório no sistema de gestão de qualidade que atende os requisitos da ISO IEC 17025.

A acreditação de laboratórios, segundo os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, é aplicável a laboratórios de calibração e de ensaio.

4.2.4.3 – Calibração pré-teste

É dado como recomendação da empresa fornecedora dos equipamentos, fazer a pré-calibração dos dosímetros antes dos testes. Para esta calibração é

utilizado o equipamento 3M QC-10 – QUEST já mencionado no item fundamentação teórica, deste trabalho.

Este calibrador emite uma frequência de 1000 Hz com 114 dB, logo conecta-se o dosímetro na saída de áudio do calibrador e controla-se a calibração do dosímetro aos mesmos 114 dB. É importante lembrar que todos os 04 dosímetros utilizados para os testes foram calibrados antes de serem utilizados.

4.3 – Primeiros ensaios e considerações

4.3.1 – Procedimentos pré-medição

Atendendo as especificações da ISO 140 -3, antes e durante os ensaios é preciso:

- Limpeza total das câmaras;
- Gerar o ruído para as medições;
- Fazer a medição do nível de pressão sonora para cada material de isolamento;
- Cálculo do tempo de reverberação;
- Medição do ruído de fundo.

Ao decorrer dos testes, havia presente um membro da equipe da empresa responsável pelos aparelhos medidores, acompanhando os ensaios. É importante lembrar que a calibração pré-teste foi feita pelo membro da equipe, acompanhada pelo autor do projeto.

O dosímetro é um aparelho que gera gráficos dos valores captados em decibéis, de minuto a minuto. Logo, utilizou-se para as medições, a função de leitura em tempo real do aparelho, SPL, que mede o nível de pressão sonora emitida e captação.

Foram selecionados 3 pontos distintos no interior da câmara de recepção, com o intuito de analisar o caminho percorrido pelo som ao passar pela divisória e também para se ter valores onde pudessem ser comparados, aumentando assim, o índice de confiabilidade dos resultados, utilizando a lã de vidro e posteriormente a lã de rocha.

Fez-se necessário a utilização de 4 dosímetros, onde 03 foram colocados na câmara de captação do ruído, e 01 foi deixado na câmara de emissão de ruído. Assim pode-se medir a quantidade de ruído em decibéis que está sendo emitido em

cada banda de oitava (frequências de 63Hz à 8kHz) e conseqüentemente medir a quantidade captada, também em decibéis.

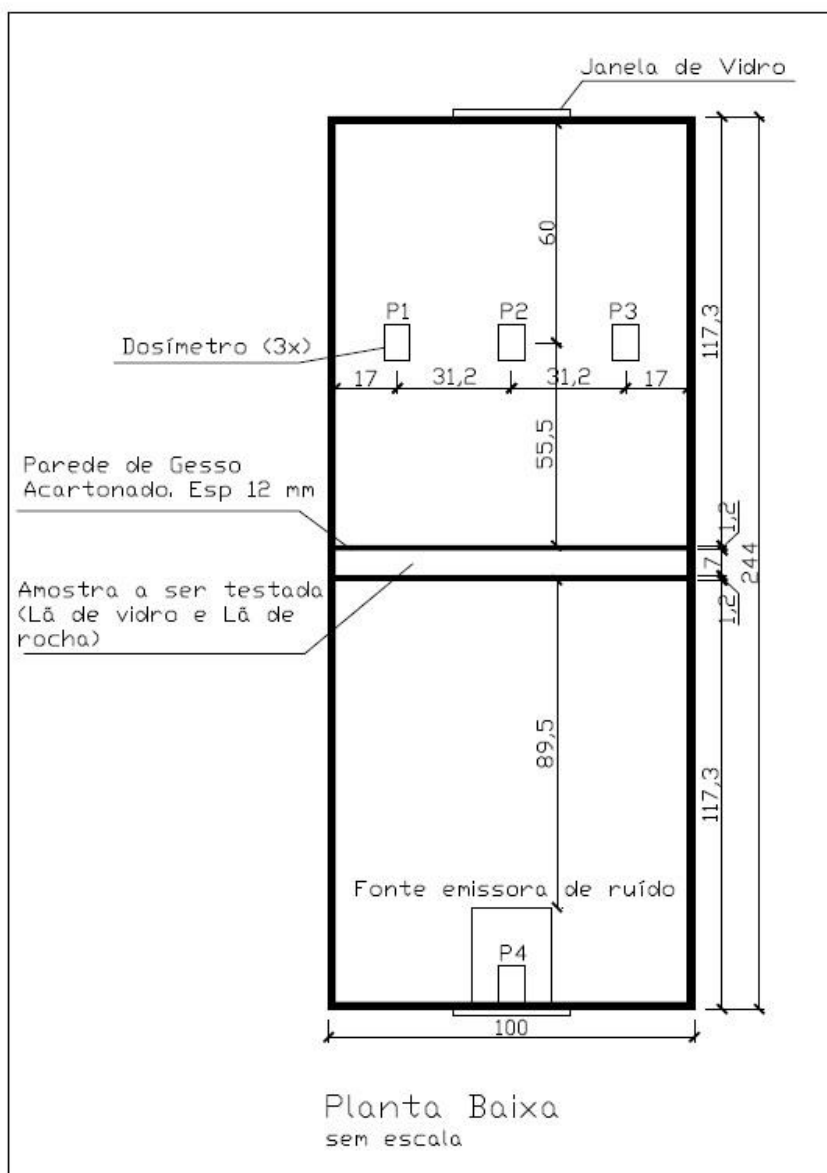
Enquanto a fonte emissora de ruído emitia a frequência, media-se instantaneamente o valor captado pelos dosímetros por meio da janela de vidro. A mal iluminação dentro da câmara, dificultava a visualização dos valores mostrados no visor do dosímetro e para resolver o problema foi utilizado uma lanterna própria do aparelho celular. Esta metodologia foi aplicada para os testes com a lâ de vidro e com a lâ de rocha.

Os dosímetros foram fixados em cada ponto com distâncias mínimas entre si, com o objetivo de atender as exigências mínimas da norma (ISO 354), já em escala reduzida.

- 0,12 m entre os aparelhos de medição;
- 0,12 m entre qualquer posição dos aparelhos em relação aos contornos da câmara;
- 0,17 m entre os aparelhos de medição e a divisória;
- 0,17 m entre qualquer posição dos aparelhos de recepção e a fonte sonora.

Abaixo segue o croqui da localização dos pontos onde foram colocados os dosímetros. Figura 17.

Figura 17 - Marcação dos pontos medidos



Fonte: Autor

4.3.2 – Ruído de fundo

Em todas as medições realizadas em campo ou em laboratório (isolamento de ruído aéreo, ruído de impacto, etc.), deve ser medido o ruído de fundo, que é todo o ruído de fontes secundárias que chega ao microfone, na posição do receptor, que não seja o ruído em análise (GERGES, 2000).

Essa correção está apresentada nas normas de procedimento de medição. Em todas as medições o nível de sinal em relação ao nível de ruído de fundo deve ser o mínimo de 6 dB superior (de preferência, maior que 10 dB). Para ajustar o nível

do sinal em relação do nível do ruído de fundo, L_b , e obter o nível do sinal combinado com o ruído de fundo, LS_b , segue a seguinte regra:

Se a diferença nos níveis (do sinal e ruído de fundo) for menor do que 6 dB em qualquer faixa de frequência, utiliza-se a correção de 1,3 dB correspondendo à diferença de 6 dB.

Se estiver entre 6 e 10 dB, utiliza a seguinte equação: Equação (4):

$$L = 10 \log (10 LS_b/10 - 10 L_b/10) \quad (4)$$

Se for superior a 10 dB, as condições de medição são ideais e não há a necessidade de fazer ajuste com o ruído de fundo.

O ruído de fundo medido no interior da câmara era de 59,6 dB, ao emitir as frequências em todas as bandas, a frequência que emitiu menos ruído em decibéis foi a de 63Hz com 76,6 dB. Logo conclui-se que a diferença entre o menor valor de emissão em decibéis e o ruído de fundo, é maior que 10 dB. Assim, não há a necessidade de fazer a correção do ruído de fundo.

4.3.3 – Cálculo do tempo de reverberação

Como já escrito no referencial teórico, o método de cálculo recomendando pela ISO-354 é a fórmula de Sabine criada em 1895, que pode ser medido com ou sem a presença da amostra teste. A fórmula proposta por Sabine relaciona o tempo de reverberação com volume. Equação (5):

$$TR = 0.161V / S1a1 + S2a2 \quad (5)$$

Onde:

- TR = tempo de reverberação em segundos,
- V = volume do recinto em metros cúbicos,
- S1, S2 = áreas das superfícies interiores do recinto em m², afetadas pelos coeficientes de absorção a1, a2,
- a1, a2 = coeficiente de absorção sonora das várias superfícies interiores e demais elementos absorventes do recinto.

O TR calculado pela fórmula de Sabine a cada frequência, não leva em consideração a localização do receptor, pelo fato de que houve o surgimento da mesma, pela acústica estática.

Segundo Uria (2005), existe fatores que delimitam a utilização desta fórmula como nos seguintes casos:

- Os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- Os coeficientes de absorção não são precisos;
- Não se exige grande precisão nos cálculos.

Considerando dois tipos de materiais diferentes para cálculo do coeficiente de absorção sonora da câmara (madeirite e placa de gesso acartonado), buscou-se na NBR 12179/1992 – Tratamento acústico em recintos fechados, o valor referente a esses materiais, porém, a norma é antiga e os materiais utilizados neste projeto não estão listados na NBR em questão. Portanto fazendo as considerações de Uria (2005), onde em uma de suas considerações diz que este método de cálculo não exige grande precisão, foi utilizado coeficientes de absorção sonora de materiais similares aos utilizados.

A norma fornece os coeficientes há frequências entre 125 a 4000 Hz.

Para calcular o coeficiente de absorção das placas de gesso acartonado, foram utilizados os seguintes valores da tabela 6.

- Chapas de papelão-gesso, de 9,5 mm, sem furos na frente, espaço de 50 mm, enchido com lã mineral.

Tabela 6 - Índice de absorção para chapas de gesso acartonado

Frequências					
125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorção - NBR 12179					
0,36	0,12	0,08	0,07	0,06	0,10

Fonte: NBR 12179

Para calcular o coeficiente de absorção do madeirite, foram utilizados os seguintes valores da tabela 7.

- Chapa leve de lã mineral de 25mm em parede rígida.

Tabela 7- Índice de absorção para o madeirite

Frequências					
125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorção - NBR 12179					
0,4	0,13	0,52	0,75	0,61	0,72

Fonte: NBR 12179

Exemplo de cálculo para frequência de 125 Hz:

$$TR = 0.161V / S1a1 + S2a2$$

$$TR = 0,161 \times 1,952 / (5,03 \times 0,4) + (0,8 \times 0,36)$$

$$TR = 0,14 \text{ s}$$

Resultados encontrados para cada frequência, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Tempo de reverberação da câmara

Frequências					
125	250	500	1000	2000	4000
Tempo de Reverberação (s)					
0,14	0,42	0,12	0,08	0,10	0,08

Fonte: Autor

Com todos os parâmetros que a ISO 140 -3 exige, já realizados, foram feitos os ensaios com os dois tipos de isoladores acústicos, lã de vidro e lã de rocha.

É importante lembrar que durante o primeiro ensaio com a lã de vidro utilizou-se 4 dosímetros que seriam utilizados novamente para o teste com a lã de rocha, porém, ao fazer a preparação para o segundo ensaio com a outra amostra, dois dos quatro equipamentos não estavam calibrando. Logo foi feita a substituição dos dois dosímetros.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ISO 140 determina que os resultados sejam expressos em forma de tabelas e gráficos.

5.1 – Resultados dos testes com lã de vidro

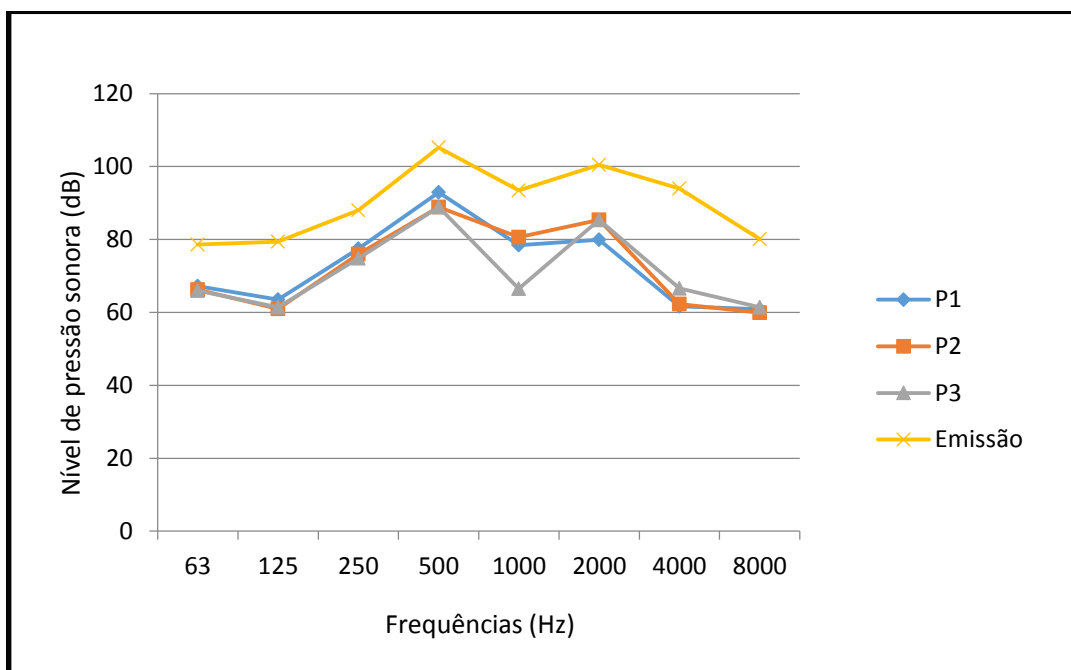
Com os dosímetros calibrados e nos seus respectivos pontos de medição, obteve-se os valores de NPS (nível de pressão sonora), conforme tabela 9 e figura 18.

Tabela 9 - Resultado do NPS com lã de vidro

Ensaio com a lã de vidro como isolador acústico				
Frequência (Hz)	NPS da câmara de emissão (dB)	NPS em P1	NPS em P2	NPS em P3
63	78,6	67,2	66,2	66,0
125	79,4	63,5	61,0	61,4
250	88,0	77,5	76,0	74,8
500	105,2	92,9	88,9	88,9
1000	93,5	78,4	80,6	66,5
2000	100,5	79,9	85,4	85,4
4000	94	61,7	62,3	66,6
8000	80,1	60,9	59,9	61,4

Fonte: Autor

Figura 18 – Nível de pressão sonora com a lâ de vidro em forma de gráfico



Fonte: Autor

Analisando os resultados acima, percebe-se que houve uma discrepância entre valores no ponto 3, na frequência de 1000 Hz, justifica-se tal valor baseado a partir da difusidade do campo sonoro respectivo a frequência, que não foram descritos, analisados e ensaiados neste trabalho devido à falta de equipamentos necessários para o mesmo.

Este parâmetro é avaliado baseado na distribuição espacial do nível de pressão sonora nas câmaras de reverberação em escala reduzida.

Segundo a ISO 3741, anexo E, especifica que os desvios padrões máximos permitidos dos **níveis de pressão sonora** em testes de **qualificação de câmaras reverberantes**, relativo a fontes de ruído banda larga é fica em torno de **0,5 a 1,5 dB**, para frequências entre 100 a 10000 Hz.

Logo não é possível se calcular desvio padrão para esse projeto, devido ao não estudo e análise do campo difuso e por se ter apenas um valor de captação de som para cada ponto de análise e frequência.

5.2 – Resultados dos testes com lã de rocha

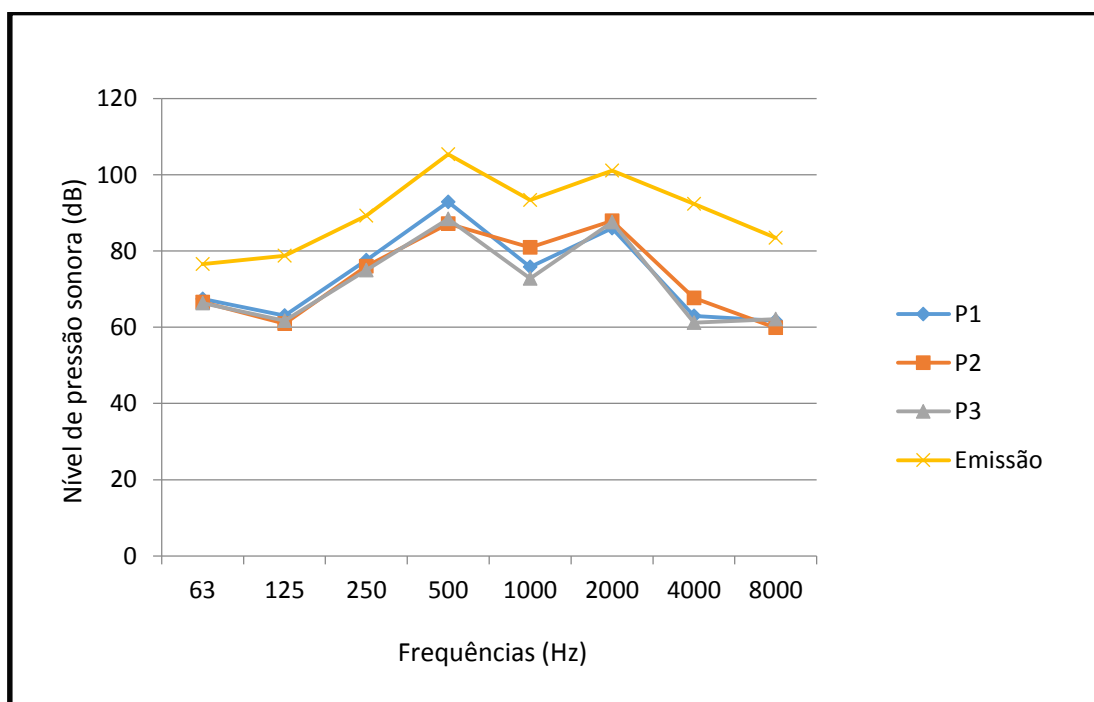
Abaixo a tabela 10 e figura 19, mostram os resultados dos testes utilizando a lã de rocha.

Tabela 10 – Resultados do NPS com lã de rocha

Ensaio com a lã de rocha como isolador acústico				
Frequência (Hz)	NPS da câmara de emissão (dB)	NPS em P1	NPS em P2	NPS em P3
63	76,6	67,4	66,6	66,3
125	78,8	63,1	61,0	61,7
250	89,3	77,6	76,0	75,0
500	105,4	92,9	87,2	88,4
1000	93,4	75,8	81,0	72,8
2000	101,1	86,0	87,9	87,6
4000	92,4	63,0	67,7	61,2
8000	83,5	61,7	59,9	62,1

Fonte: Autor

Figura 19 - Nível de pressão sonora com a lã de vidro em forma de gráfico



Fonte: Autor

Para este teste, percebe-se que houve uma menor discrepância se comparado aos testes com a lã de vidro, novamente para a frequência de 1000 Hz, que pode ser justificado devido ao mesmo campo difuso da câmara de reverberação.

Ao analisando os resultados, houve maior índice de redução sonora nas frequências mais altas, 4kHz e 8kHz.

5.3 – Tabela comparativa

A tabela 11 compara os dois testes com lã de vidro e lã de rocha.

Tabela 11- Comparação dos resultados

Ensaio com a lã de vidro como isolador acústico					Ensaio com a lã de rocha como isolador acústico			
Frequência (Hz)	NPS da câmara de emissão (dB)	NPS em P1	NPS em P2	NPS em P3	NPS da câmara de emissão (dB)	NPS em P1	NPS em P2	NPS em P3
63	78,6	67,2	66,2	66	76,6	67,4	66,6	66,3
125	79,4	63,5	61	61,4	78,8	63,1	61	61,7
250	88	77,5	76	74,8	89,3	77,6	76	75
500	105,2	92,9	88,9	88,9	105,4	92,9	87,2	88,4
1000	93,5	78,4	80,6	66,5	93,4	75,8	81	72,8
2000	100,5	79,9	85,4	85,4	101,1	86	87,9	87,6
4000	94	61,7	62,3	66,6	92,4	63	67,7	61,2
8000	80,1	60,9	59,9	61,4	83,5	61,7	59,9	62,1

Fonte: Autor

O ruído emitido pela fonte sonora enquanto acontecia os testes, foi mantido com mesma intensidade para todas as frequências. Porém fatores como ruído externo momentaneamente causados por “pisadas” de pessoas próximas a abertura da janela na fonte de emissão, onde estava localizado o dosímetro de medição da fonte sonora emitida, pode ter influenciado para a não linearidade em decibéis emitidos nos valores mostrados na tabela, na coluna de NPS da câmara de emissão para os diferentes tipos de isolador, lã de vidro e lã de rocha.

5.4 – Índice de redução sonora RW

5.4.1 – Lã de vidro

A tabela 12 indica o índice de redução sonora com lã de vidro.

Tabela 12 – Índice de redução sonora (RW) com lã de vidro

Ensaios com a lã de vidro como isolador acústico			
Frequência (Hz)	Redução em P1	Redução em P2	Redução em P3
63	11,4	12,4	12,6
125	15,9	18,4	18,0
250	10,5	12	13,2
500	12,3	16,3	16,3
1000	15,1	12,9	27,0
2000	20,6	15,1	15,1
4000	32,3	31,7	27,4
8000	19,2	20,2	18,7

Fonte: Autor

5.4.2 – Lã de rocha

A tabela 13 indica o índice de redução sonora com lã de rocha.

Tabela 13 - Índice de redução sonora (RW) com lã de rocha

Ensaios com a lã de rocha como isolador acústico			
Frequência (Hz)	Redução em P1	Redução em P2	Redução em P3
63	9,2	10,0	10,3
125	15,7	17,8	17,1
250	11,7	13,3	14,3
500	12,5	18,2	17,2
1000	17,6	12,4	20,6
2000	15,1	13,2	13,5
4000	29,4	24,7	31,2
8000	21,8	23,6	21,3

Fonte: Autor

Ao fazer uma análise mediana, percebe-se então que a **lã de vidro** apresentou melhor índice de redução sonora para as frequências:

- 63 Hz;
- 125 Hz;
- 1000 Hz;
- 2000 Hz;
- 4000 Hz.

A **lã de rocha** apresentou melhor índice de redução sonora para as frequências:

- 250 Hz;
- 500 Hz;
- 8000 Hz.

5.5 – Comparação com a NBR 15575-4/2013

A NBR 15575/2013 parte 4, mostra uma tabela de índice de redução sonora (R_w) mínimo e máximo a ser atingido. Conforme tabela 14:

Tabela 14 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: NBR 15575-4/2013 P. 54 – Tabela F.12 em Anexo F.

O valor máximo encontrado nos testes, foi com a lã de vidro para uma frequência de 4 kHz, apresentando um índice de redução sonora (R_w) de 32,3 dB.

Na NBR 15575-4/2013, pegando como referência o valor mínimo do elemento, *parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos*, apresenta o valor mínimo RW de 35 a 39 dB, ou seja, os resultados destes testes não satisfazem os requisitos mínimos da NBR em vigor. Sendo reprovado em todos os outros elementos da norma.

6 – CONCLUSÕES

6.1 – Conclusões finais

Neste trabalho foi utilizado como base uma câmara reverberante em escala real construída na UFSM, porém as medidas foram adaptadas para facilitar a montagem.

Foi utilizado a escala 1:6 para reduzir o tamanho da câmara real, assim possibilitando a construção da câmara reduzida com materiais que podem ser adquiridos com mais facilidade e caso houvesse a necessidade de modificação da estrutura.

É importante lembrar que as orientações das normas foram seguidas, semelhança geométrica, distâncias mínimas internas, volume mínimo, vedação das juntas e escala, visando aumentar ao máximo o índice de confiabilidade dos resultados obtidos.

Antes dos testes, foram analisados o ruído de fundo, onde não houve a necessidade de correção do ruído e calculado o tempo de reverberação no interior da câmara.

Os testes foram realizados com frequências em bandas de oitavas entre 63 Hz e 8000 Hz.

A lã de vidro apresentou índice de redução sonora superior para as frequências 63, 125, 1000, 2000 e 4000 Hz. Logo, a lã de rocha apresentou maior redução sonora para as frequências 250, 500 e 8000 Hz.

Se analisado o conjunto de frequências pode-se concluir que a lã de vidro é a recomendada para utilização em locais com emissão de som mais grave, que representa as frequências de 63, 125 Hz e também para locais onde possui som medianamente agudo, frequências de 1000, 2000 e 4000 Hz. Para locais de alto índice de emissão sonora aguda, indica-se a utilização da lã de rocha que apesar da pouca diferença dos resultados, apresentou melhor índice de redução sonora para frequência de 8000 Hz.

O maior índice de redução sonora encontrado nos testes foi com a lã de vidro para uma frequência de 4000 Hz, que foi de 32,3 dB. Como já mencionado nos resultados, a NBR 15575-4/2013 pré-determina valores mínimos de redução sonora dos materiais utilizados como divisória nas edificações. Ao analisar como referência, o valor do elemento mínimo da norma, *parede cega de salas e cozinhas entre uma*

unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos, onde o valor mínimo de redução sonora RW, tem que ser de 35 a 39 dB, logo, o valor máximo encontrado nos testes foi de 32,3 dB, não atingindo o valor mínimo estabelecido por norma.

Para esta metodologia de testes em laboratório, a utilização do sistema de fechamento vertical Drywall, utilizado com lã de vidro e lã de rocha, foram reprovados em todas as frequências testadas se comparado aos valores mínimos de redução sonora dos elementos da NBR em vigor. Ou seja, não atendeu nenhum dos requisitos de índice de redução sonora da norma 15575-4/2013.

Porém é preciso mencionar que, ao se fazer a redução da escala da câmara reverberante real para a reduzida, as espessuras dos materiais da câmara também foram reduzidas, ou seja, ao emitir as frequências, uma certa quantidade do som pode ter encontrado dificuldade de ultrapassar a divisória testada e saído através do meio sólido (parede de madeirite), pois a espessura da divisória é de 9,5 cm e a espessura do madeirite das paredes da câmara é de 1,8 cm.

Deve-se também ao fato de não se conhecer e não ter sido analisado através de testes, o índice de reflexão e absorção de som do madeirite utilizado.

Portanto, ao se fazer uma comparação geral entre lã de vidro e lã de rocha, tomando-se como base a frequência onde mais obteve índice de redução sonora, pode-se concluir que a lã de vidro possui um índice de redução sonora médio de 30,5 dB e a lã de rocha de 28,4 dB.

6.2 – Recomendações para trabalhos futuros

Como forma de melhoria para futuros trabalhos relacionados a esta área, recomenda-se:

- Analisar a capacidade de absorção e reflexão dos materiais;
- Testar a alteração da superfície interna da câmara, com materiais que ajudam na reflexão, diminuindo assim a capacidade de absorção do madeirite.
- Realizar os testes somente com o drywall, sem nenhum material isolador e fazer uma comparação entre drywall seco e drywall com material isolante acústico;
- Testar o índice de redução sonora da lã de Pet, uma inovação no mercado de Palmas-TO;
- Realizar mais testes para cada ponto no interior da câmara, podendo assim, saber a média de cada ponto e estabelecer desvios padrões máximos de cada ponto no interior da câmara de recepção, baseando-se na ISO 3741;
- Estudar a possibilidade de desenvolver estudos e análises sobre o campo difuso da mini-câmara de reverberação.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 10151**: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho: Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

ARCH-TEC, Edificações e tecnologia de conforto ambiental e Impermeabilizações Ltda - <www.arch-tech.com.br>. Acesso em 18 nov. 2009

BBC (British Broadcasting Corporation), Acoustic Scaling: General Outline, Research Department Report, N° 13, 1970.

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**. 1 ed. New York: McGraw-Hill, 1960, 758 p.

BISTAFA, S. AND BRADLEY, J. “**Reverberation Time and maximum backgroundnoise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics**”. Journal of the Acoustical Society of America, 107 (2), 861-874, 2000

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, 2008.

BRÜEL & KJAER. **Measuring Sound**. Denmark: K Larsen & Son, 1984.

CARNEIRO, F. L., **Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos**, 2ª edição, 1996.

CARVALHO, Benjamin de A. **Acústica aplicada à arquitetura**. São Paulo: Freitas Bastos S.A., 1967.101 p.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília/DF: Thesaurus, 2006.

FERNANDES, J.C. **Acústica e Ruídos**. Apostila do Curso de Pósgraduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Unesp, Câmpus de Bauru. 2003. 102 p.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de múltiplos pavimentos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA NETO, M. de F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. 257 f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 2009.

FERREIRA NETO, M. F.;BERTOLI, S. R. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169-180, out./dez. 2010.

FLACH, Fernanda. **Investigação do potencial de absorção acústica de compósitos de argamassa com materiais reciclados**. 2012. 158 f. Dissertação para título de Mestre em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

FRIEDRICH, A. F. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolamento sonora de paredes de alvenaria**. 2010. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

GERGES, S. N. Y., **Ruído - Fundamentos e Controle**, Editora NR, 2ª edição, Florianópolis – SC – Brasil, 2000.

GUEDES, Ítalo César Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)** Campinas, SP, 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

GUEDES, Reginaldo Cascaes. **Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes**. 2007. 109 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará.

HASSALL, J. R.; ZAVERI, K.; **Acoustic Noise Measurement**. 4 ed. Dinamarca: Brüel & Kjaer Magazine, 1979. 280 p.

HECKL, M. **The tenth sir Richard Fairey memorial lecture: sound transmission in buildings**. Journal and Vibration, v. 70, 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 140 -, **Acoustics – Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements**, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 354 -, **Acoustics – Measurement of Sound Absorption in Reverberation Rooms**, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 3741 -, **Acoustic – Determination of Sound power levels of noise sources using sound pressure-precision method for reverberation rooms**, 1999.

ISAR. **Lã de vidro- Isolamento Acústico**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.isar.com.br>. Acesso em: Maio, 2015.

KNAUF DRYWALL. Disponível em: < <http://www.knauf.com.br/>>. Acesso: 2012.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LOSSO, Marco Aurélio Faria. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. Florianópolis, 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Orientadora: Elvira Barros Viveiros da Silva.

MAKRINENKO, L. I. **Acoustics of Auditoriums in Public Buildings**. USA: Acoustical Society of America, 1994.

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil: estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado**. 2007. 365f. (Dissertação) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

NASCIMENTO, R. L. X, ZINDELUK M., **Scaled Absorption Materials for Scale Modeling**, The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2005.

NUNES, A., **Análise Modal Teórica e Experimental de cavidades com absorção sonora**, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 115p. Dissertação (Mestrado), 2001.

PIMENTEL-SOUZA, F. **Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral - ênfase urbana**. Revista Brasileira de Acústica e Vibrações. Vol. 10. p. 12-22, 1992.

PLACO. Disponível em: < <http://www.placo.com.br/> >. Acesso: 2012.

SILVA, N. N. **Paredes internas de chapas de gesso acartonado empregadas em edifícios habitacionais: avaliação em uso**. São Paulo, 2002. 277f. (Dissertação) – Instituto de pesquisas Tecnológicas – IPT- do estado de São Paulo, 2002.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5 ed. Belo Horizonte: EDTAL- Empresa Termo Acústica Ltda, 2005.

TOUTONGE, José de Aviz. **Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para estudo das características de perda de transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais**. 2006. 143 f. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará.

TSOUMIS, G., **Science and technology of Wood: Structure, Properties, Utilization**, New York: Chapman & Hall, pp 309-339, 1991.

ÚRIA, M. G. T., (2005). “**Avaliação acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém-Pará: uma proposição de projeto acústico**”, Belém; Universidade Federal do Pará, Dissertação (Mestrado).

WALKER, J. C. F., **Primary Wood Processing: Principles and Practice**, London: Chapman & Hall, pp 377-416, 1993.

ANEXOS

Chanfro no madeirite para janela



Montagem da estrutura do drywall



Vedação entre drywall e madeirite do piso sendo feita



Câmara pronta para ensaios



Modelo de dosímetro utilizado nos ensaios

