

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

KATRICIÊ EVEANE JURESZIK BURKO LIMA
THAIS SACOMANI ZENERATO

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE MDF E DRYWALL
E SUAS COMPOSIÇÕES COM LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

KATRICIÊ EVEANE JURESZIK BURKO LIMA
THAIS SACOMANI ZENERATO

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE MDF E DRYWALL
E SUAS COMPOSIÇÕES COM LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a M. Paola Diamante Ferreira Santos

CURITIBA
2016



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville

Departamento Acadêmico de Construção Civil

Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPARATIVO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE MDF E DRYWALL E SUAS COMPOSIÇÕES COM LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA

Por

KATRICIÊ EVEANE JURESZIK BURKO LIMA

THAIS SACOMANI ZENERATO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 23 de junho de 2016, pela seguinte banca de avaliação:

Profa. Orientadora – Paola Diamante Ferreira Santos, M.Sc.

UTFPR

Prof. Marcelo Queiroz Varisco, M. Sc.

UTFPR

Prof. Rodrigo Eduardo Catai, Dr.

UTFPR

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Curitiba - PR Brasil

www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3279-4500

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, saúde e sabedoria, sem estes certamente não teria chegado até aqui.

Agradeço a minha família, meu esposo Francisco por ter me suportado ao longo dessa jornada e por ter colocado a mão na massa quando precisamos. Aos meus pais, Almir e Heliana, meus irmãos Bruno, Katriane e Antony, por todo o amor, apoio incondicional e amizade que temos!

Agradeço a professora Paola por todo o apoio, paciência e atenção, sempre nos norteando e nos guiando para o êxito.

As minhas valiosas amigas Ana, Jéssica e Thayse pela paciência, amizade e apoio durante todos estes anos na faculdade.

As empresas Conforto Ambiental, por nos permitir o uso do ambiente controlado, Vamapal e Compensados Amizade, por nos ceder o material necessário para realização do experimento.

A todos os professores que nos guiaram até aqui durante estes anos de estudo, especialmente os da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Agradeço a todos aqueles que, pelo caminho, nos ajudaram a chegar até aqui e realizar esse trabalho.

Agradeço em especial a Thais, minha dupla querida, pelo companheirismo e paciência durante esse ano. Nós conseguimos!

Katriciê Eveane Jureszik Burko Lima

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que nos ajudaram de alguma forma durante esse trabalho. Foi um ano de muitos desafios e de dedicação.

Aos meus pais, Marcelo e Luciana e ao meu irmão Lucas, por todo o amor, compreensão e incentivo.

Aos amigos espalhados por todo esse mundo, que de longe ou de perto, são o motivo de uma vida tão plena.

A orientadora, Paola, pela paciência, dedicação, ideias e toda a orientação prestada durante os dois últimos semestres.

A empresa Conforto Ambiental pela disponibilização do ambiente controlado. E as empresas Vamapal e Compensados Amizade pelo material fornecido.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todo o conhecimento repassado.

Aos colegas de curso por anos de companheirismo e lutas conjuntas, tornando um prazer adicional as vindas a universidade todos os dias.

A Katriciê, pela oportunidade de ter conhecido, agora nesse finalzinho, uma dupla maravilhosa e que fez toda a diferença nesses últimos semestres.

Um muito obrigada a todos que de alguma maneira contribuíram com a minha caminhada.

Thais Sacomani Zenerato

RESUMO

LIMA, Katriciê Eveane Jureszik Burko & ZENERATO, Thais Sacomani. COMPARATIVO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE MDF E DRYWALL E SUAS COMPOSIÇÕES COM LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A poluição sonora causada pelo ruído urbano tem influência sobre a qualidade de vida dos indivíduos e devido a isso diversas pesquisas relacionadas a métodos de isolamento acústico vêm sendo feitas, com avanços significativos na área. Hoje há uma tendência de o consumidor procurar produtos com menor ruído, ou edificações que o diminua. Assim, uma das maiores preocupações de um indivíduo ao adquirir uma nova residência é o conforto acústico que esta proporciona. Definir novos elementos para melhoria do desempenho acústico das edificações contribui para melhorar a qualidade de vida dos usuários. Este estudo teve como objetivo a análise comparativa do desempenho acústico de chapas de MDF e gesso acartonado e suas composições com lã de vidro e lã de rocha. Os ensaios foram realizados em um ambiente controlado e os resultados apresentam uma comparação entre valores existentes em normas e valores obtidos nesse ambiente. Com os resultados experimentais e analíticos foi possível verificar o comportamento dos materiais nas diversas frequências de medição. Os materiais utilizados apresentam bom desempenho acústico em relação ao desempenho acústico, aumentando as opções de elementos utilizados em paredes e divisórias. Além disso, o trabalho proporciona a possibilidade de continuação do estudo, incorporando, por exemplo, novos elementos nos sistemas ensaiados.

Palavras-chave: Conforto acústico. Lã de rocha. Lã de vidro.

ABSTRACT

Noise pollution caused by urban noise affects the life's quality of people who live in big cities. Because of that, several researches related to methods of acoustic isolation are being conducted, leading to significant improvements in this area. Currently, a big tendency of the consumer is to look for products with lower noise or buildings that absorb unwanted sounds. Therefore, one of the biggest concerns of a residence's buyer is the acoustic comfort that it provides. Defining new elements to upgrade the acoustic performance of buildings contributes to improve the quality of life for all the users. This study aims an analysis of the acoustic performance of medium density fiberboards and drywall in combination with rockwool and glasswool. The experiments were made in a controlled environment and the result shows a comparison between normative values and the tests outcomes. With the experimental and analytical results it was possible to verify the behavior of materials in the various measuring frequencies. The materials used have a good acoustic performance in relation to the acoustic performance by increasing the options of elements used in walls and partitions. Moreover, the working provides the possibility of further study, incorporating, for example, new elements in the systems tested.

Keywords: Acoustic comfort. Rockwool. Glasswool.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva harmônica Pressão <i>versus</i> Tempo	20
Figura 2 – Curvas de ponderação.....	22
Figura 3 – Curva da perda de transmissão, PT, de uma partição simples.....	23
Figura 4 - Modo de vibrações de placas retangulares.....	28
Figura 5 – Lã de vidro a granel	31
Figura 6 – Manta plastificada	32
Figura 7 – Coeficiente de redução sonora para lã de vidro com $e=29,5\text{mm}$	32
Figura 8 – Coeficiente de redução sonora para lã de vidro com $e=133,1\text{mm}$	33
Figura 9 – Painéis de lã de rocha	34
Figura 10 – Flocos de lã de rocha.....	34
Figura 11– Feltro de lã de rocha	34
Figura 12 – Coeficiente de redução sonora para lã de rocha com $e=133,1\text{mm}$	35
Figura 13 – Tipos de placas de gesso acartonado.....	36
Figura 14 – Parede de 120 mm	39
Figura 15 – Parede de 200 mm	39
Figura 16 – <i>Drywall</i> + lã de vidro.....	48
Figura 17 - <i>Drywall</i> + lã de rocha	48
Figura 18 - MDF + lã de vidro	47
Figura 19 - MDF + lã de rocha	47
Figura 20 - Planta do ambiente controlado	50
Figura 21 - Cortes do ambiente controlado	50
Figura 22 - Paredes do ambiente.....	51
Figura 23 - Laje do ambiente	51
Figura 24 - Abertura entre as salas.....	52
Figura 25 - Pontos de medição	53
Figura 26 - Tripé e equipamento de medição.....	53
Figura 27 - Analisador, microfone e calibrador.....	54
Figura 28 - Encaixe na câmara de medição.....	55
Figura 29 - Encaixe na câmara de emissão	56
Figura 30 - Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 1	63
Figura 31 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 2	63
Figura 32 - Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 3.....	64
Figura 33 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 4	64
Figura 34 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 5	65
Figura 35 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 6	65
Figura 36 - Resultados experimentais do Índice de redução de ruído para cada corpo de prova	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores para conforto acústico	17
Quadro 2 – Propriedades de materiais utilizados na construção civil	23
Quadro 3 – Composição química (% em peso) das lãs de rocha e lãs de vidro	31
Quadro 4 – Coeficiente de redução sonora e NRC para lã de vidro	33
Quadro 5 – Coeficientes de redução sonora (ISO/R 354 e ASTM C 423)	35
Quadro 6 – Coeficiente de redução sonora e NRC para lã de rocha.....	35
Quadro 7– Características físicas das chapas de gesso acartonado	36
Quadro 8 – Dimensões das chapas de gesso acartonado fabricadas no Brasil	37
Quadro 9 – Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações verticais internas	38
Quadro 10 – Índice de redução sonora ponderado (Rw) de fachadas	40
Quadro 11 – Índice de redução sonora ponderado (Rw) de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes.....	40
Quadro 12 – Padrões de desempenho das paredes <i>drywall</i> mais comuns	41
Quadro 13 – Propriedades acústicas de diversos componentes de paredes	42
Quadro 14 – Resultados de ensaios nas divisórias de gesso acartonado.....	43
Quadro 15 – Resultados de ensaios nas divisórias de gesso acartonado com emprego de isolante acústico.....	43
Quadro 16 - Faixas de frequência para 1/1 de oitava	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequências críticas pelo método analítico	58
Tabela 2 - Frequências naturais pelo método analítico	58
Tabela 3 - NPS de referência, em dB(A)	59
Tabela 4 – NPS, em dB(A).....	59
Tabela 5 - NPS de referência corrigido, em dB(A).	59
Tabela 6 – Índices de redução de ruído, em dB(A).	60
Tabela 7 - Coeficientes de redução sonora.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS

B – Bel

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Batiment (Centro Científico e Técnico da Edificação)

CTSA – Classe de Transmissão de Som Aéreo

dB – Decibel

e – espessura

GA – *Gypsum Association* (Associação do Gesso)

IPT – Instituto de pesquisas tecnológicas

L_1 – Nível médio de pressão sonora na câmara de emissão (dB)

L_2 – Nível médio de pressão sonora na câmara de recepção (dB)

L_f – Nível de pressão sonora do ruído de fundo

L_t – Nível de pressão sonora da medição

MDF – *Medium Density Fiberboard* (Painel de Fibra de Média Densidade)

NPS – Nível de pressão sonora

NRC – Noise Reduction Coefficient (Coeficiente de redução sonora)

P – Potência do sistema

P_0 – Potência arbitária de referência

PT – Perda de transmissão

PUC/PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná

R - índice de redução de Ruído

RF – Resistência ao fogo

RU – Resistência a umidade

R_w – *Weighted Sound Reduction Index* (Índice de Redução Sonora Ponderado)

ST – Standard (Padrão)

STC – *Sound Transmission Class* (Classe de Transmissão Sonora)

T_r – Tempo de reverberação médio (s) para uma dada frequência

V – Volume da câmara de recepção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	PARÂMETROS ACÚSTICOS	16
2.1.1	Som e Ruído	16
2.1.2	O Bel e o Decibel	17
2.1.3	Ruído Branco e Ruído Rosa	18
2.1.4	Ruído de Fundo	18
2.1.5	Reverberação	19
2.1.6	Período, Frequência, Banda de Frequência e Amplitude de Onda	19
2.1.7	Nível Sonoro e Pressão Sonora	21
2.1.8	Filtro de Ponderação	21
2.1.9	Diferença de Impedância	22
2.1.10	Lei das Massas	23
2.1.11	Coefficiente de redução sonora	25
2.1.12	Frequência crítica	26
2.1.13	Frequência natural	27
2.2	MATERIAIS	28
2.2.1	Lãs Minerais	30
2.2.2	Gesso Acartonado	36
2.2.3	MDF	44
2.3	CÂMARAS ACÚSTICAS	45
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
3.1	MONTAGEM DOS CORPOS DE PROVA	47
3.2	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE CONTROLADO	49
3.3	METODOLOGIA DE ENSAIO	53
4	RESULTADOS	58
4.1	CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS CRÍTICAS E NATURAIS PELO MÉTODO ANALÍTICO	58
4.2	MEDIÇÕES E RESULTADOS EXPERIMENTAIS	58
4.3	COMPARATIVO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS COM OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	61
4.4	COMPARATIVO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS E VALORES EXIGIDOS EM NORMA	66
4.4.1	Comparação com valores exigidos em campo	66
4.4.2	Comparação com valores exigidos em testes de laboratório	66
4.5	COMPARATIVO DE RESULTADOS ENTRE OS MATERIAIS ENSAIADOS	67
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida de um indivíduo depende de muitos fatores, dentre eles o conforto ambiental proporcionado pelo local onde ele está realizando atividades, sejam elas de trabalho, lazer ou mesmo quando está dormindo. O tema conforto ambiental trata de diversas áreas como conforto térmico, luminoso e acústico. O conforto acústico, por sua vez, depende de diferentes variáveis, algumas próprias do indivíduo e, portanto, mais subjetivas, como fatores fisiológicos, estado de espírito, idade, estado de saúde, entre outras. E algumas variáveis que são inerentes ao ambiente, à edificação, aos materiais empregados nela e ao método construtivo.

Em termos de desempenho acústico, é necessário que a edificação satisfaça o morador, e que os estímulos sonoros que este venha a receber não sejam prejudiciais à sua saúde. Todavia, com o desenvolvimento do mundo moderno houve um grande crescimento de tecnologias que causam poluição sonora. Onde antes havia somente conversas, hoje são encontradas fontes como os eletrodomésticos, muitos destes extremamente ruidosos, como aspiradores de pó, liquidificadores e até mesmo televisões, que podem se tornar um incômodo para as pessoas que estão em outro ambiente da residência.

Além disso, a eficiência dos sistemas construtivos na diminuição do ruído não é necessária apenas em residências: escolas, universidades, escritórios, e vários outros tipos de edificações, requerem um ambiente que proporcione um maior conforto ambiental.

Bistafa (2011, p. 7) fala que outrora o ruído não era visto como um malefício, já que o consumidor aceitava um produto com ruído, desde que o mesmo apresentasse maior potência. Visto que a poluição sonora impacta diretamente na qualidade de vida dos seres humanos e diversos efeitos negativos do ruído para a saúde podem ser observados – desde dores de cabeça, até estresse e agressividade – hoje há uma tendência de o consumidor procurar produtos com menor ruído, ou edificações que o diminua. Sendo assim, uma das maiores preocupações de um indivíduo ao adquirir uma nova residência é o conforto que esta proporciona, inclusive conforto acústico. Com o fácil acesso a informação dos dias de hoje o nível de exigência do consumidor tem aumentado, sendo necessário ao menos atender essas expectativas, portanto, a atualização do mercado em geral

se faz necessária

O custo de sistemas construtivos que proporcionem maior vedação acústica ainda é elevado, por isso o estudo do emprego de novos materiais, ou até mesmo diferentes combinações de materiais já utilizados, é tão importante.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo a análise comparativa do desempenho acústico de chapas de MDF e de gesso acartonado e suas composições com lã de vidro e lã de rocha.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos estão apresentados a seguir:

- Ensaiar os corpos de prova em ambiente controlado
- Verificar desempenho individual dos corpos de prova
- Comparar os materiais ensaiados

1.3 JUSTIFICATIVAS

Este é um estudo que foi concebido pelo interesse de suas autoras na melhoria do desempenho acústico das edificações. Em grandes cidades é comum o incômodo causado pelo barulho excessivo do tráfego de automóveis, aviões, motocicletas. A poluição sonora causada pelo ruído urbano tem influência sobre a qualidade de vida dos indivíduos e diversas pesquisas relacionadas à métodos de isolamento acústico vêm sendo feitas com avanços significativos na área.

Há também o ruído doméstico, causado pelos inúmeros eletrodomésticos presentes nas residências e que, quando em uso, geram ruído muitas vezes excessivo incomodando outros indivíduos que porventura estejam na residência.

No caso de escolas, escritórios e outros ambientes que exigem atenção e concentração do indivíduo, há a necessidade de atenuar a incidência de sons provenientes de outros ambientes, visando diminuir a interferência destes nas

atividades dos demais usuários da edificação.

Definir novos elementos para melhoria do desempenho acústico das edificações contribui para melhorar a qualidade de vida dos usuários. Tanto Petian (2008), quanto Vianna (2014), indicam que o ruído afeta o indivíduo de maneira negativa, interferindo em seu humor, concentração e funções fisiológicas. Um estudo publicado pela Organização Mundial da Saúde (HOSKING; MUDU; DORA, 2011) aponta que a exposição ao ruído gera aborrecimentos, agrava os níveis de estresse, aumenta a pressão arterial e causa perturbações no sono do indivíduo, além disso o ruído crônico eleva os riscos de doenças cardiovasculares.

Profissionais da área de construção civil têm de se preocupar com o desempenho das edificações, tanto por ser estabelecido em norma, quanto por muitas vezes ser um fator determinante na compra de um imóvel. Com a crise, o setor vem sofrendo um déficit nas vendas e um melhor desempenho da edificação se torna um diferencial para o consumidor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados os conceitos teóricos necessários para melhor compreensão do estudo e ensaios realizados. Tratando dos parâmetros acústicos, bem como dos materiais e equipamentos utilizados no experimento.

2.1 PARÂMETROS ACÚSTICOS

Os parâmetros acústicos definidos a seguir são importantes para compreensão da posterior análise dos resultados obtidos através dos ensaios.

2.1.1 Som e Ruído

Os conceitos de som e ruído por vezes podem se confundir, tendo em vista que o ruído também é um tipo de som, mas nem sempre um som é tido como um ruído. Para Costa (2003, p. 1), “som é o resultado das vibrações dos corpos elásticos, quando essas vibrações se verificam em determinados limites e frequências”. Carvalho (2010, p. 25) define de maneira mais simples, afirmando que “som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano”. O som, portanto, precisa de um meio para ser transmitido, podendo ser tanto o ar, água ou mesmo através das estruturas que compõem uma edificação.

Já o ruído foi definido por Seip (2007, p. 28) como um som desagradável, imprevisto ou indesejado. E, sendo assim, a percepção de ruído é subjetiva, variando de pessoa a pessoa, haja vista que um som perturbador para um, pode ser agradável a outro, como uma música alta, por exemplo. A pessoa que deseja ouvir a música não a considera um ruído, aquilo é agradável para si mesmo, no entanto outro indivíduo pode sentir-se incomodado com a mesma música, tocando na mesma intensidade, para este último, a música naquele momento é um ruído.

Então, ruído é tido como qualquer som que seja indesejado, como uma música, conversas, sons derivados do tráfego, indústrias e que cause prejuízo ao indivíduo.

Apesar de som e ruído serem diferentes de acordo com o receptor, ainda

assim existe uma norma brasileira que trata do conforto acústico. A Norma Brasileira fixa os níveis de ruído em diversos ambientes para que se tenha o conforto acústico. Os valores estão apresentados no Quadro 1 onde o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto e o superior o nível sonoro aceitável. Quando ultrapassados os níveis superiores é considerado desconforto não necessariamente implicando em danos à saúde.

Locais		dB(A)
Hospitais	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45
	Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50
	Serviços	45-55
Escolas	Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45
	Salas de aula, Laboratórios	40-50
	Circulação	45-55
Hotéis	Apartamentos	35-45
	Restaurantes, Salas de Estar	40-50
	Portaria, Recepção, Circulação	45-55
Residências	Dormitórios	35-45
	Salas de estar	40-50
Auditórios	Salas de concertos, Teatros	30-40
	Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45
	Restaurantes	40-50
Escritórios	Salas de reunião	30-40
	Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45
	Salas de computadores	45-65
	Salas de mecanografia	50-60
	Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60

Quadro 1 – Valores para conforto acústico

Fonte: ABNT NBR 10152 (1987).

2.1.2 O Bel e o Decibel

A principal unidade de medição sonora é o decibel, que consiste numa escala logarítmica de base 10 e não expressa uma quantidade, mas uma relação de grandeza. Segundo Bistafa (2011, p. 30), o bel mede o nível de uma potência em relação à uma potência de referência, como demonstrado na Equação 1, onde P é a potência do sistema analisado e P₀ é a potência de referência:

$$\text{bel} = \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

$$P_0 = 0,00002 \text{ N/m}^2.$$

O autor cita ainda o fato de que 0,1 B, que corresponde à 1dB (1 decibel), é a “mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo”, sendo esse limiar também chamado de unidade de sensação.

2.1.3 Ruído Branco e Ruído Rosa

O ruído pode ser definido de diferentes formas, sendo uma delas a definição pelo espectro de frequência, sendo classificado como ruído branco e ruído rosa. Noceti Filho e Dalcastagnê (2002) definem o primeiro como um ruído com banda de largura constante, “que tem a sua potência distribuída uniformemente no espectro de frequência”. Já o ruído rosa tem bandas relacionadas por um fator constante, como por exemplo bandas de oitava. Além disso, explicam que os nomes utilizados, ruído branco e ruído rosa, vêm de uma analogia feita com o espectro eletromagnético da luz, já que “a luz branca contém todas as frequências do espectro visível” e a “luz vermelha possui a mais baixa frequência do espectro visível”.

Os autores ainda ressaltam que o ruído rosa, por vezes também é chamado de “ruído 1/ f, ruído de baixa frequência, ruído de contato, ruído de excesso, ruído de semicondutor, ruído de corrente e ruído flicker”. Este é o tipo de ruído ao qual o indivíduo tem mais tolerância e é relacionado aos sons da natureza.

2.1.4 Ruído de Fundo

Costa (2003, p. 78) descreve ruído de fundo como ruídos inerentes ao ambiente. Tomando como exemplo uma medição numa residência cujo principal tipo de ruído é proveniente do tráfego, outros ruídos (medidos com a ausência do tráfego) são ruído de fundo.

Durante a medição acústica é possível que o ruído de fundo interfira nas aferições, desta forma deve-se proceder segundo Gerges (1992 apud Ferreira, 2010), fazendo uma análise a partir da diferença (ΔL) entre o nível de pressão sonora do ruído de fundo (L_f) e o nível de pressão sonora da medição (L_t), caso:

- a) $\Delta L \leq 3 \text{ dB}$ – há excesso de ruído de fundo, portanto a medição não pode ser

considerada e é necessário realizar nova medição

- b) $3 \text{ dB} < \Delta L \leq 10 \text{ dB}$ – é realizada a correção do nível de pressão sonora (NPS) através da aplicação da Equação 2:

$$\text{NPS} = 10 \log \left(10^{\frac{L_t}{10}} - 10^{\frac{L_f}{10}} \right) \quad (2)$$

L_f – Nível de pressão sonora do ruído de fundo

L_t – Nível de pressão sonora da medição

NPS – Nível de Pressão Sonora

- c) $\Delta L \geq 10 \text{ dB}$ – não há interferência do ruído de fundo na medição

2.1.5 Reverberação

Definida por Costa (2003, p. 44) como a persistência de um som no ambiente, mesmo após a fonte sonora cessar de emití-lo. O excesso de reverberação pode fazer com que o som fique ininteligível, provocando confusão, e pouca reverberação deixa o ambiente surdo. A reverberação difere do eco porque este o ouvido humano consegue distinguir o som original do som refletido, enquanto na reverberação os dois se confundem.

2.1.6 Período, Frequência, Banda de Frequência e Amplitude de Onda

A onda sonora é representada através de curvas harmônicas num gráfico Pressão *versus* Tempo, como representado na Figura 1. O período é o intervalo de tempo de duração de um ciclo, tomando novamente como exemplo o caso apresentado na Figura 1, o período é de 0,0025 segundos.

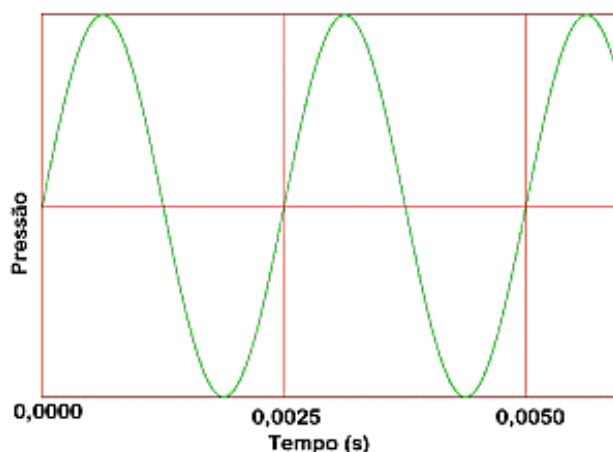


Figura 1 – Curva harmônica Pressão *versus* Tempo

Fonte: Tollstadius (2014).

Já a frequência é o número de oscilações do movimento vibratório que ocorrem em 1 segundo, tomando novamente como exemplo a Figura 1, a frequência é 400 Hz. No entanto, o ser humano não é capaz ouvir todas as frequências sonoras existentes, segundo Moscati (2013, p. 38) o som audível está compreendido na faixa entre 20 Hz e 20.000 Hz, a essa faixa é dado o nome de banda ou faixa audível de frequência. Os sons que tem frequência abaixo da faixa audível pelo ser humano (<20Hz) são chamados de infrassons, e os que tem frequência acima da faixa (>20.000 Hz) de ultrassons.

Banda de frequência é uma faixa, com limite superior e inferior, compreendendo todas as frequências entre estes limites. Os sons não são compostos por apenas uma faixa de frequência, mas uma combinação de diferentes frequências, necessitando filtrar a banda de interesse para o estudo. Na área da acústica os filtros de banda mais utilizados são os de 1/1 oitava e 1/3 de oitava, Halliday e Resnick (2009, p. 56) diz que “para se avaliar o coeficiente de isolamento sonora de elementos construtivos, deve-se realizar medições em bandas de frequência de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava”.

A amplitude de onda é um modo de descrever a potência da onda sonora. Quanto maior a intensidade sonora (nível sonoro), maior a amplitude da onda e maior também é a energia transmitida pela onda ao meio de propagação, e, por conseguinte, quanto menor a intensidade sonora, menor a energia transmitida ao meio de propagação do som e menor a amplitude sonora. Halliday e Resnick (2009, p.119) definem amplitude como o ponto máximo da banda da onda em relação ao

seu ponto de equilíbrio.

Antigamente as bandas foram adotadas, pois os equipamentos não eram potentes o suficiente. Atualmente os equipamentos têm capacidades superiores, portanto, as medições podem ser feitas no domínio do tempo e passadas para o domínio das frequências sem a utilização das bandas.

2.1.7 Nível Sonoro e Pressão Sonora

A percepção do som, ou nível sonoro, é o nível de pressão sonora que chega ao ouvido humano (MOSCATI, 2013). Essa pressão é causada pela variação de pressão ocasionada pela presença do som no ar, à essa variação de pressão é dado o nome de pressão sonora (MÉNDEZ, 1994). A medição do nível de pressão sonora é dada em dB.

2.1.8 Filtro de Ponderação

Moscati (2013) explica que a medição do nível de pressão sonora é realizada através de equipamentos eletrônicos e há três maneiras de fazê-la: sem filtro de ponderação, expressa em dB, com filtro de ponderação em A, expressa em dB(A), e com filtro de ponderação em C, expressa em dB(C). Analisando a Figura 2 é possível perceber as diferenças entre os filtros de ponderação e suas relações entre o nível de pressão sonora e a frequência do som. Segundo Ferreira (2010, p. 15), “quando as medições de ruído são feitas utilizando as duas escalas ‘A’ e ‘C’, se a diferença entre os dois valores for grande há predominância de ruído com baixa frequência. ”

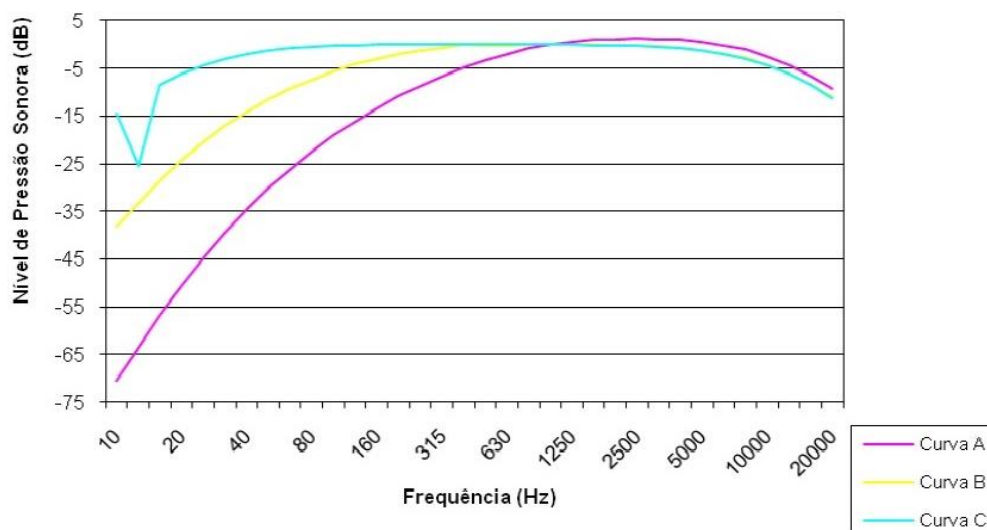


Figura 2 – Curvas de ponderação

Fonte: Gerges (2002 apud Ferreira, 2010).

Os filtros de ponderação visam atenuar o sinal sonoro de acordo com curvas normalizadas internacionalmente, bem como simular a sensibilidade do ouvido humano, já que o ser humano não ouve todas as frequências com a mesma intensidade. O filtro de ponderação em A simula um ouvido humano com pouca sensibilidade para baixas frequências e o filtro de ponderação em C é utilizado para medição de intensidades acima de 85 dB.

2.1.9 Diferença de Impedância

A capacidade de acoplamento da energia sonora ao passar por uma mudança de meio, no caso fluido-sólido, ou ar-parede, é inversamente proporcional a diferença de impedância entre os meios. Portanto, materiais com impedância muito diferente em relação ao ar permitirão uma menor capacidade de acoplamento e, conseqüentemente, menor transmissão da energia sonora, o que significa maior capacidade de isolamento sonoro da partição. A impedância é matematicamente definida pelo produto da densidade específica do meio pela velocidade do som no meio em questão (LOSSO; VIVEIROS, 2014). No Quadro 2 pode-se observar alguns valores para diversos materiais.

Material	Densidade (kg/m ³)	Velocidade do som (m/s)	Impedância (Rayls)
Chumbo	11300	1200	$1,36 \cdot 10^7$
Aço	7700	5050	$3,89 \cdot 10^7$
Alumínio	2700	5150	$1,39 \cdot 10^7$
Concreto	2600	3100	$8,06 \cdot 10^5$
Vidro	2300	5200	$1,19 \cdot 10^7$
Tijolo	1800	3700	$6,66 \cdot 10^5$
Borracha	1100	1450	$1,54 \cdot 10^5$
Gesso	960	6800	$6,52 \cdot 10^5$
Cortiça	240	500	$1,25 \cdot 10^5$

Quadro 2 – Propriedades de materiais utilizados na construção civil

Fonte: Gerges (2000).

2.1.10 Lei das Massas

A transmissão da energia sonora através de um sólido depende fundamentalmente da frequência sonora incidente. Diferentes faixas de frequências resultam em padrões distintos de transmissão sonora. Na Figura 3 está ilustrada uma curva típica da Perda de Transmissão, PT, para uma partição ao longo da frequência (GIBBS 1998 apud LOSSO; VIVEIROS).

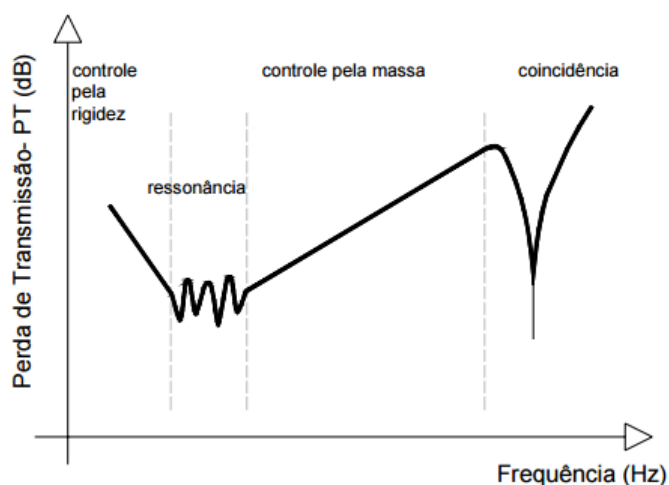


Figura 3 – Curva da perda de transmissão, PT, de uma partição simples.

Fonte: Gibbs (1998).

A perda de transmissão sonora é a medida de quanta energia sonora é reduzida na transmissão através de elementos construtivos (EGAN, 1988 apud RADAVELLI, 2014).

Segundo Baring (2000), a sigla CTSA significa Classe de Transmissão de Som Aéreo e classifica em uma escala de 10 a 60 a capacidade das vedações verticais ou horizontais. A sigla equivalente usada no Brasil é a STC – *Sound Transmission Class* que significa Classe de Transmissão Sonora.

A capacidade de isolamento de uma partição pode ser descrita por um número único, o Índice de Redução Sonora Ponderado, R_w (*Weighted Sound Reduction Index*) ou pela Classe de Transmissão Sonora, STC (*Sound Transmission Class*). De uma forma geral, os parâmetros que descrevem a capacidade de isolamento de uma partição consistem, basicamente, na razão da energia sonora incidente sobre a energia sonora transmitida, expressa em decibéis. A região controlada pela massa é muito importante para a maioria dos casos em acústica de edificações, pois essa região de frequência tem seu desempenho regido pela massa da partição, com um acréscimo de 6 dB no isolamento para cada oitava avançada. Assim, para uma parede proporcionar maior isolamento sonoro é necessário que ela seja composta por materiais de alta densidade e/ou espessuras significativas (LOSSO; VIVEIROS, 2014).

Segundo Egan (1988), quanto maior a massa do material, maior é a resistência ao movimento do elemento e, então, menor é a quantidade de energia transmitida. Por essa razão, a expressão que descreve a perda de transmissão nessa região é comumente conhecida como “Lei da Massa”. No caso de a frequência do som incidente coincidir com a frequência de ressonância (frequência natural) da parede, o isolamento oferecido cairá significativamente, pois a parede passará a vibrar com grande amplitude, apresentando, então, eficiente radiação sonora, amplificando o nível de pressão sonora do som incidente (LOSSO; VIVEIROS, 2014).

Nos corpos de prova irá ocorrer a redução da energia vibratória por dissipação, isto é, transformação em calor, já que ela se reflete inúmeras vezes entre as faces internas das chapas de gesso, atravessando o material de enchimento, a cada reflexão (BARING, 2000).

Considerando a utilização de componentes duplos, o comportamento da

onda sonora através da passagem em 5 meios (ar-sólido-ar-sólido-ar) é uma estratégia interessante nos casos onde se deseja aumentar a capacidade de isolamento sem que isso signifique aumento da densidade, conforme a Lei da Massa. A existência da camada de ar entre duas paredes paralelas aumenta de forma não proporcional o isolamento oferecido, quando comparado com o simples aumento de massa. Dobra-se a massa, mas o resultado final é maior do que o incremento de 6 dB inicialmente projetado. A mudança de impedância que ocorre cada vez que a onda troca o meio favorece o bom desempenho do conjunto. Entretanto, o espaçamento entre as placas necessita ser razoavelmente grande em função do comprimento de onda incidente.

A colocação de material absorvente dentro da camada de ar melhora o desempenho do conjunto, pois contribui com a perda de energia através da absorção sonora e pela eliminação de possíveis ressonâncias na cavidade. Com relação à espessura das paredes do material sólido, o ideal é que elas tenham espessuras diferentes para evitarem a excitação de uma mesma frequência de ressonância. Nesse caso, se uma das paredes entra em ressonância a outra permanece fora dessa faixa (curva da perda de transmissão) contribuindo para eficiência do sistema (LOSSO; VIVEIROS, 2014).

2.1.11 Coeficiente de redução sonora (NRC)

Uma fonte sonora emite ondas de som que refletem nas diversas superfícies internas do ambiente analisado. A direção dessas reflexões é determinada pela geometria do local, e a intensidade de cada raio sonoro refletido é determinada pela capacidade de absorção do material onde ele reflete. Esta capacidade de absorção dos materiais de construção, denominado coeficiente de absorção alfa (α), varia de acordo com suas características físicas (porosidade, rigidez, forma de instalação, etc.) e também com a frequência do som (graves, médios ou agudos) (SIMÕES, 2011).

Para comparar e especificar apropriadamente qual material utilizar, onde e em que quantidade, foram determinados, em normas internacionais, ensaios e métodos de obtenção do coeficiente de absorção alfa (α). Este coeficiente varia de 0,00 a 1,00, indicando a quantidade da energia sonora que o material absorve em

cada reflexão, por frequência, normalmente em 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

- $\alpha = 0,01$ significa absorção de 1% da energia do raio sonoro, e devolução de 99% para o ambiente. Exemplo: concreto liso.
- $\alpha = 1,00$ significa absorção de 100% da energia do raio sonoro, e devolução de 0% para o ambiente. Exemplo: janela aberta (SIMÕES, 2011).

Segundo Masini e Teodoro (2008) o coeficiente de redução sonora é definido como sendo a razão entre a energia acústica absorvida e a energia acústica incidente.

A fórmula utilizada para o cálculo do coeficiente de redução sonora está apresentada na Equação 3.

$$NRC = \frac{\text{Pressão sonora emitida} - \text{Pressão sonora medida}}{\text{Pressão sonora emitida}} \quad (3)$$

2.1.12 Frequência crítica

A frequência crítica ou frequência de coincidência é quando a frequência do ruído se sincroniza com a frequência natural do material e ocorre a ressonância, ou seja, aumenta a amplitude de vibração do material e a transmissão do ruído é máxima (GERGES, 2002 apud FERREIRA, 2010).

A formulação necessária para a obtenção da frequência crítica está apresentada na fórmula (4), a seguir:

$$f_c = \frac{c^2}{1,81h} \sqrt{\frac{\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad (4)$$

Onde:

c = Velocidade de propagação da onda no meio em que a amostra está inserida

h = espessura do painel

ρ = Densidade do material do painel

ν = Coeficiente de Poisson do material do painel

E = Módulo de Young do material

2.1.13 Frequência natural

A frequência natural ou frequência de ressonância é aquela em que, se a frequência da onda incidente for igual, ou próxima a ela, ocorre a amplitude máxima de vibração do elemento. Neste caso, a transmissão do ruído é alta.

Para a obtenção das frequências naturais, a formulação para painéis simples apoiados em todos os lados é apresentada na Equação 4 e é medida em Hz. Por meio da Equação 4 é possível perceber que essa frequência depende da direção de deslocamento da onda e da rigidez do sistema.

$$f_{ij} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (5)$$

Onde:

a = Altura do corpo de prova (m)

b = Comprimento do corpo de prova (m)

$i = 1,2,3,4,\dots$

$j = 1,2,3,4,\dots$

D = Rigidez de flexão da placa ($\text{kg m}^2/\text{s}^2$)

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6)$$

As variáveis i e j podem ser obtidos na Figura 4 e identifica o modo de vibração do painel.

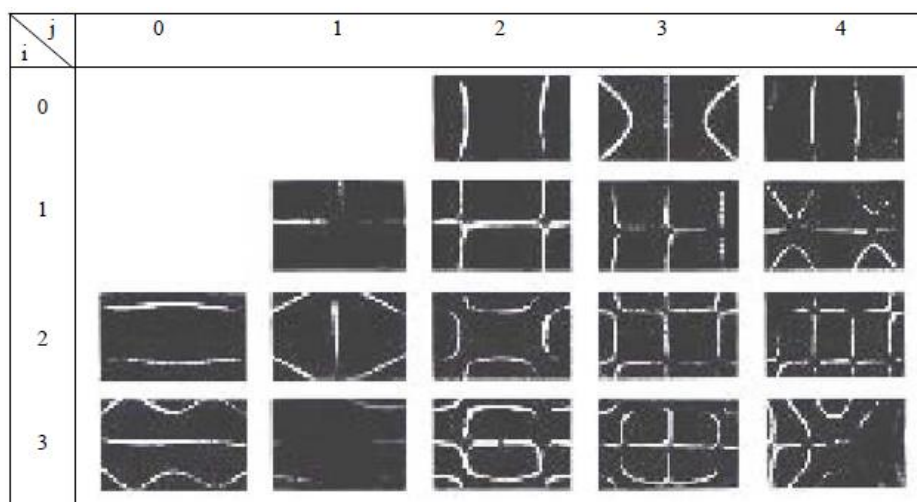


Figura 4 - Modo de vibrações de placas retangulares

Fonte: Silva apud Ferreira (2010).

Segundo Ferreira (2010), as formulações, tanto para frequências naturais quanto para frequências críticas, só apresentam resultados satisfatórios para quando a razão entre o menor comprimento dividido pela espessura for maior que 100.

2.2 MATERIAIS

Na Seção 2.2 são apresentados os materiais utilizados nos corpos de prova, suas principais propriedades e resultados de ensaios presentes na literatura.

Os materiais ou sistemas absorventes sonoros, tendo em consideração os mecanismos que conduzem à dissipação de energia, estão agrupados em três tipologias distintas: materiais porosos (fibra de vidro, lã de rocha etc.), painéis ou membranas absorventes, e absorsores de cavidade ou ressoadores de Helmholtz. Tipicamente a madeira é utilizada nas duas últimas tipologias (PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006).

- Membranas Absorventes

Um painel sólido não perfurado, instalado sobre um suporte rígido com lâmina de ar intercalada entre o painel e o suporte, funciona como membrana absorvente (sistema massa-mola animado de movimento vibratório). A energia

incidente neste painel é dissipada por dois amortecimentos, devido à rigidez do meio (espessura da cavidade), ligações existentes e ao amortecimento interno do painel, cujo máximo ocorre para a frequência de ressonância (PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006).

- Absorsores de Cavidade

Os absorsores de cavidade, também designados ressoadores de cavidade ou de Helmholtz, consistem num volume de ar no interior de uma cavidade, ligado à atmosfera geral através de um pequeno volume de ar semelhante ao contido no gargalo de uma garrafa. As ondas sonoras ao incidirem na superfície de entrada do gargalo imprimem deslocamentos alternados à massa de ar contida no mesmo, acompanhados de dissipação de energia devido ao atrito do ar contra as suas paredes (PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006).

A absorção sonora aumenta, para as mesmas condições de aplicação, com o aumento da percentagem de perfuração das placas, atingindo o seu máximo para cerca dos 25% de área aberta (CARVALHO apud PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006). Verifica-se uma grande seletividade do absorvedor de cavidade, simples ou múltiplo, para frequências próximas da frequência de ressonância, podendo este último, atuar como um conjunto de ressoadores com diferentes frequências de ressonância, no caso de apresentar um conjunto de aberturas de diferentes dimensões. Nas baixas frequências, para se ter uma boa absorção sonora para uma incidência aleatória, a cavidade deverá ser subdividida em compartimentos estanques, de modo a evitar propagação paralela ao painel (COX; D'ANTÔNIO apud PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006). A utilização de materiais porosos na cavidade atenua este efeito e também aumenta a largura de banda de eficiência dos painéis, embora reduza a absorção máxima para a frequência de ressonância. (PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006).

2.2.1 Lãs Minerais

Segundo Alves (2011, p. 2):

“Lã mineral é um nome geral dado para muitos materiais inorgânicos de isolamento feito de fibras. O material é normalmente dividido em diferentes subgrupos dependendo das matérias-primas que são feitos, como: lã de rocha, lã de vidro, lã de escória, etc., e a sua fabricação é feita a partir de vidro, rocha ou outro mineral”.

Esses materiais possuem estrutura vítrea e como tal, suportam quantidades de diferentes elementos em solução, sendo, portanto, ideais para assimilar escórias complexas em suas composições. Tal fato faz com que esses materiais possam ser utilizados como uma forma de reaproveitamento de resíduos industriais (FERREIRA; ZANOTTO; SCHUDELLER, 2002).

Os mesmos autores citam que a capacidade de isolamento termo acústico é o motivo de a lã de vidro e a lã de rocha possuírem um grande mercado consumidor industrial e residencial.

Ambos os materiais são constituídos por fibras, sendo que diferem entre si quanto à matéria prima básica e ao processo de fabricação (TANIGUTI apud ISOVER SAINT GOBAIN, 1996; ROCKFIBRAS, s.d.).

A escolha pela utilização da lã de vidro e da lã de rocha no país tem sido balizada fundamentalmente pelo custo (TANIGUTI, 1999).

A diferença entre ambos é a composição desses materiais, variando os componentes de acordo com o Quadro 3.

Os valores do coeficiente de absorção do som, obtidos quando se emprega lã de vidro ou de rocha, dependem de vários fatores: tamanho dos poros do material; porcentagem de abertura dos poros comparados com a área total; densidade do material absorvente; espessura do material absorvente e profundidade do espaço (vazio) atrás do material absorvente (TANIGUTI apud HARRIS, 1994).

Elementos	Lã de rocha	Lã de vidro
SiO ₂	45,0 - 52,0	34,0 - 73,0
CaO	10,0 - 12,0	0,0 - 22,0
MgO	8,0 - 15,0	0,0 - 5,5
Al ₂ O ₃	8,0 - 13,5	3,0 - 14,5
Fe ₂ O ₃	5,5 - 6,5	0,0 - 2,0
Na ₂ O	0,8 - 3,3	0,5 - 16,0
K ₂ O	0,8 - 2,0	0,0 - 3,5
TiO ₂	1,5 - 2,7	0,0 - 0,8
B ₂ O ₃	-	0,0 - 8,5
MnO	0,1 - 0,3	-

Quadro 3 – Composição química (% em peso) das lãs de rocha e lãs de vidro

Fonte: Buck (1997).

2.2.1.1 Lã de vidro

De acordo com os estudos de Buck (1997) verifica-se que a principal constituição da lã de vidro é o SiO₂ (sílica), sendo seguida por CaO, MgO, Al₂O₃, entre outros.

A lã de vidro é comercializada em diferentes formas para o uso, sendo os mais relevantes para este estudo: a lã de vidro a granel e a manta plastificada.

- Lã de vidro a granel: a lã de vidro a granel, como mostrado na Figura 5, é um aglomerado amorfo de fibras do material. É normalmente indicado para o preenchimento de vãos e cavidades em diversos tipos de equipamentos.



Figura 5 – Lã de vidro a granel

Fonte: Vamapal (2015).

- Manta plastificada: a Manta plastificada, no exemplo da Figura 6, é composta por lã de vidro ensacada em embalagem plástica auto extingüível. É indicada para ser utilizada no isolamento de forros e divisórias.



Figura 6 – Manta plastificada

Fonte: Vamapal (2015).

Um trabalho desenvolvido por Masini e Teodoro (2008) teve como objetivo a determinação do coeficiente de absorção acústica de materiais através de um aparelho portátil que realiza a medição automática. Os resultados são apresentados nas Figuras 7 e 8, em que é apresentado o gráfico de Alfa (coeficiente de redução sonora) x Frequência:

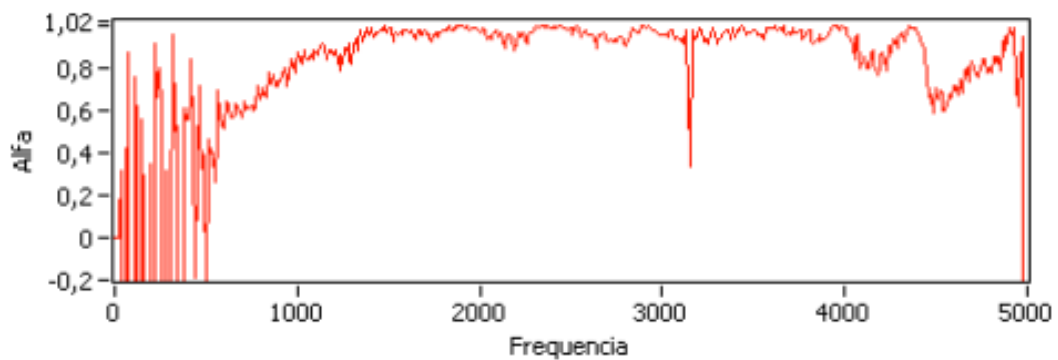


Figura 7 – Coeficiente de redução sonora para lã de vidro com $e=29,5\text{mm}$

Fonte: Masini e Teodoro (2008).

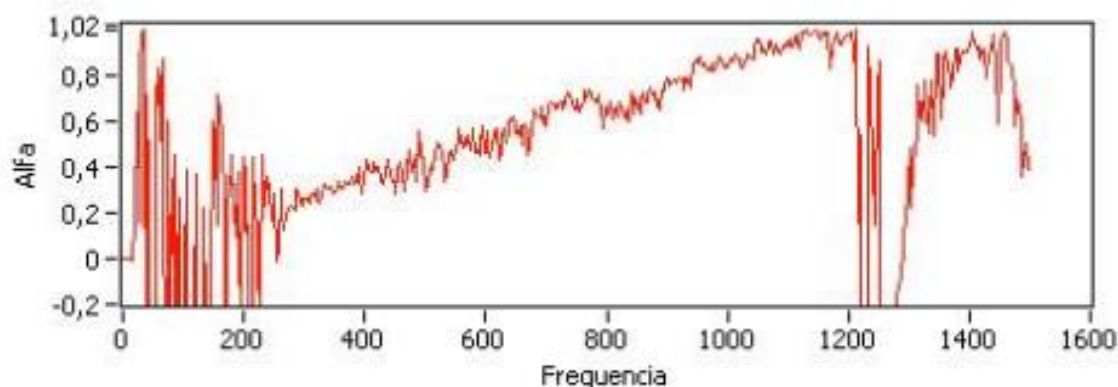


Figura 8 – Coeficiente de redução sonora para lâ de vidro com $e=133,1\text{mm}$

Fonte: Masini e Teodoro (2008).

A partir da variação das espessuras foram obtidos os valores do coeficiente de redução sonora para determinadas bandas de frequência. No Quadro 4 é exposto os valores de coeficiente de absorção acústica e o NRC para uma amostra de lâ de vidro.

250 Hz	500 Hz	1000Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
0,2	0,53	0,87	0,98	0,98	0,645

Quadro 4 – Coeficiente de redução sonora e NRC para lâ de vidro

Fonte: Masini e Teodoro (2008).

2.2.1.2 Lã de rocha

Segundo Buck (1997) os principais elementos que compõe a lâ de rocha são a SiO_2 (sílica) e o CaO (cal), sempre apresentando constituintes como MgO , Al_2O_3 , MnO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O e TiO_2 .

A lâ de rocha promove o amortecimento de ondas sonoras, evitando a propagação do som por reverberação e vibração dos conjuntos construtivos, com o isolamento acústico (OLIVEIRA apud LA ROCHA, 2013).

Esse material é comercializado em diferentes formas para o uso, sendo os mais relevantes para o estudo: painéis, flocos e feltros.

- Painéis: São painéis aglomerados compostos por lâ de rocha e resinas especiais. Esse material, apresentado na Figura 9, é utilizado como miolo para divisórias e alvenarias e sobre forros e coberturas.



Figura 9 – Painéis de lã de rocha
Fonte: Rockfibras (2015).

- Flocos: Semelhante a lã de vidro a granel, a lã de rocha é formada por flocos amorfos, como indicado na Figura 10. O uso indicado é para o preenchimento de cavidades



Figura 10 – Flocos de lã de rocha
Fonte: Rockfibras (2015).

- Feltros: Os feltros, como mostrado na Figura 11, são leves e flexíveis e compostos por lã de rocha e aglomerados com resinas especiais.



Figura 11– Feltro de lã de rocha
Fonte: Rockfibras (2015).

O uso do feltro pode ser feito na fonte do ruído, no tratamento acústico de ambientes e na redução da transmissão de ruídos entre ambientes. São

fornechos os coeficientes de absorção acústica do feltro, apresentados no Quadro 5:

Produto	Espessura (mm)	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	NCR
FSR-32	51	0,16	0,52	0,82	0,92	0,94	0,96	0,80
	100	0,84	0,98	1,10	1,11	1,09	1,17	1,07

Quadro 5 – Coeficientes de redução sonora (ISO/R 354 e ASTM C 423)

Fonte: Rockfibras (2007).

Os resultados apresentados na Figura 12 e no Quadro 6, foram obtidos por Masini e Teodoro (2008) de maneira análoga aos ensaios realizados com a amostra de lã de vidro.

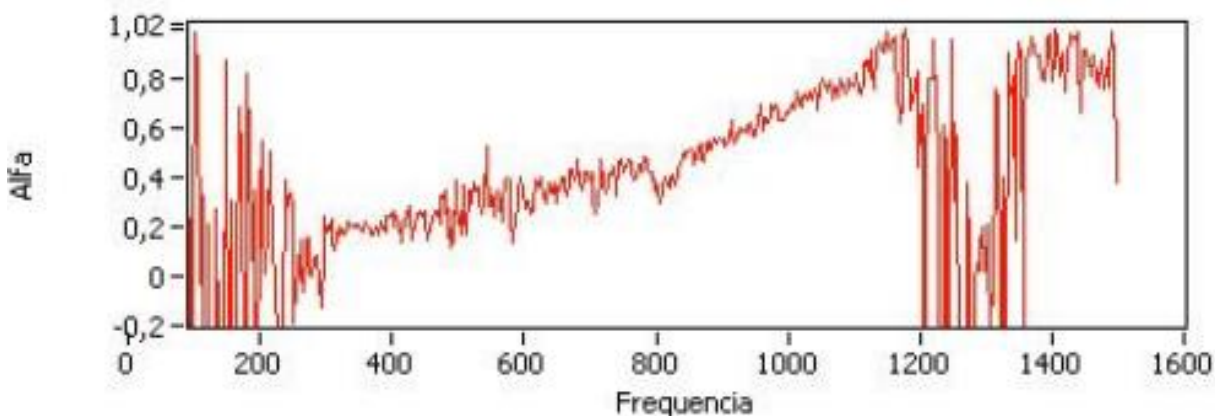


Figura 12 – Coeficiente de redução sonora para lã de rocha com $e=133,1\text{mm}$

Fonte: Masini e Teodoro (2008).

250 Hz	500 Hz	1000Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
0,11	0,25	0,6	0,98	1	0,485

Quadro 6 – Coeficiente de redução sonora e NRC para lã de rocha

Fonte: Masini e Teodoro (2008).

O estudo realizado por Masini e Teodoro apresenta coeficientes próximos ou iguais a 1, o que significa 0% da pressão sonora foi medida naquela determinada frequência. Esses valores são consideravelmente altos.

Já a empresa Rockfibras, apresenta em seu quadro coeficientes de redução sonora maiores do que 1, valores que não são alcançáveis com a utilização da fórmula (4), que é utilizada neste trabalho e também por Masini e Teodoro, para o cálculo desse coeficiente.

2.2.2 Gesso Acartonado

De acordo com Taniguti (1999), o termo *Drywall* é empregado nos Estados Unidos e é utilizado no Brasil para se referir as placas de gesso acartonado.

Abragesso apud Vasconcelos (2003) descreve o gesso acartonado como chapas produzidas por um processo industrializado a partir da gipsita natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cartão duplex reciclado. A resistência à compressão é conferida pelo gesso enquanto a resistência à tração é conferida pelo cartão. A placa comum é nomeada como placa Standard (ST).

Marcos Losso e Elvira Viveiros (2004) informam que há no mercado placas modificadas, como as indicadas na Figura 13, com adição de aditivos ao gesso que conferem características específicas como resistência ao fogo (RF) e resistência a umidade (RU).



Figura 13 – Tipos de placas de gesso acartonado
Fonte: Ferreira (apud Placo 2003).

No Quadro 7 estão expostas as características físicas que são encontradas nas chapas dos três principais fabricantes brasileiros.

Fabricante	Espessura (mm)	Largura (m)	Comprimento (m)	Resistência à flexão transversal (kN)	Resistência à flexão longitudinal (kN)	Densidade superficial da massa (kg/m^2)
Knauf	12,5	1,20	1,80 a 3,00	0,21	0,60	8,5 a 12,0
Lafarge	12,5	1,20	1,80 a 3,00	0,21	0,55	8,0 a 12,0
Placo	12,5	1,20	1,80 a 3,00	n/d	n/d	n/d

Quadro 7– Características físicas das chapas de gesso acartonado

Fonte: Losso e Viveiros (2004).

As chapas de gesso possuem variedades nas dimensões de acordo com cada fabricante como apresentado no Quadro 8.

Fabricante	Espessura (mm)	Largura (m)	Comprimento (m)
Knauf	9,5 (C)	120	250 a 400
	12,5 (A, C, F)	120	250 a 400
	15 (C, F)	120	250 a 400
	18 (C, F)	120	250 a 400
	25 (C)	120	250 a 400
Lafarge	6 (C)	120	300
	9,5 (C)	120	200,250 e 260
	12,5 (C)	120	200,240,250,280,300,320,360
	15 (C, F)	120	250 e 300
	18 (A, C)	120	250,260,280,300
	23 (C)	120	250
Placo do Brasil	9,5 (C)	120	240
	12,5 (A, C, F)	60 e 120	180,200,240,280,300
	15 (A, C, F)	120	250
A: Chapa de gesso resistente a água; C: chapa de uso comum; F: chapa resistente ao fogo			

Quadro 8 – Dimensões das chapas de gesso acartonado fabricadas no Brasil

Fonte: Vasconcelos (2013).

A Norma de Desempenho estabelece níveis de redução sonora mínimo, intermediário e superior para paredes que separam unidades autônomas (dois apartamentos, por exemplo) e paredes que separam unidades das áreas comuns (entre sala ou quarto de apartamento e área externa). No Quadro 9 são apresentados os níveis de redução sonora:

Parâmetro		Elemento	Desempenho		
			MÍN	INT	SUP
Diferença padronizada de nível ponderada	DnT,w	Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40 dB	≥ 45 dB	≥ 50 dB
		Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45 dB	≥ 50 dB	≥ 55 dB
		Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40 dB	≥ 45 dB	≥ 50 dB
		Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 30 dB	≥ 35 dB	≥ 40 dB
		Parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45 dB	≥ 50 dB	≥ 55 dB
		Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall (DnT,w) obtida entre as unidades	≥ 40 dB	≥ 45 dB	≥ 50 dB
Obs. Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos					
Nota:					
1. O índice (DnT,w) representa o isolamento aos ruídos aéreos medidos no campo (obra), assim como o índice Rw medido em laboratório do mesmo sistema. Geralmente, apresentam valores diferentes decorrentes das condições estruturais e executivas.					

Quadro 9 – Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações verticais internas

Fonte: Associação brasileira para a qualidade acústica (2013).

Uma parede *drywall* com 120 mm de espessura, composta por estrutura com perfis de aço galvanizado de 70 mm de largura com duas chapas de cada lado e lã mineral no interior, como exemplificado na Figura 14, isola de 50 a 52 decibéis e, assim, atende aos níveis mínimo e intermediário em praticamente todos os casos (FILHO, 2010).



Figura 14 – Parede de 120 mm

Fonte: Associação Brasileira de *Drywall* (2015).

Já uma parede como a mostrada na Figura 15, com 200 mm de espessura, com dupla estrutura separada, duas chapas de cada lado e lã mineral no interior, atende com folga ao nível superior em qualquer situação, pois isola de 64 a 66 decibéis (FILHO, 2010).

Exigências ainda maiores podem ser atendidas com paredes *drywall*, como ocorre com a separação entre salas de cinema múltiplas instaladas desde o final da década passada em shopping centers de todo o país, praticamente todas elas executadas em *drywall* (FILHO, 2010).

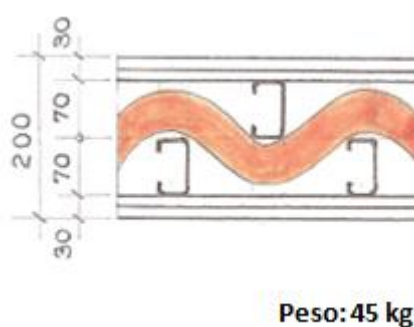


Figura 15 – Parede de 200 mm

Fonte: Associação Brasileira de *Drywall* (2015).

A Norma de Desempenho apresenta também o índice de redução sonora ponderado (R_w) de fachadas e de componentes construtivos utilizados na vedação entre ambientes. Nos Quadros 10 e 11 estão apresentados esses dados.

Classe de ruído	Localização da habitação	Rw dB (A)	Nível de desempenho
L	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
LI	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
LII	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S
Nota: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo (DnT,w) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (Rw). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN12354)			
*Rw com valores aproximados			

Quadro 10 – Índice de redução sonora ponderado (Rw) de fachadas

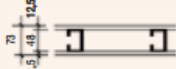


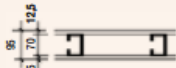




Fonte: Associação brasileira para a qualidade acústica (2013).

Elemento	Rw dB (A)	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) no caso de pelo menos um dos ambientes ser 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 home theater, 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
Nota: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo (DnT,w) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (Rw). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISSO 15712 e EN12354)		
*Rw com valores aproximados		

Quadro 11 – Índice de redução sonora ponderado (Rw) de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Fonte: Associação brasileira para a qualidade acústica (2013).

A Associação Brasileira de *Drywall* possui diversos manuais para o esclarecimento das propriedades desse material. No Quadro 12 estão apresentados as características referentes ao desempenho acústico com os respectivos índices de redução sonora (R_w) para diferentes configurações.

Utilização	Corte da parede e designação	Distância entre montantes (mm)	Altura limite da parede (m)		Quantidade de chapas	Espessura das chapas (mm)	Isolamento acústico R_w (dB)		Resistência ao fogo (minutos)		Peso da parede (kg/m ²)
			Montantes				Isolante		Chapas		
			Simples	Duplo			sem	com	STouRU	RF	
Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço	 73/48/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR	600	2,50	2,90	2	12,5	36dB	-	CF 30	CF 45	22
		400	2,70	3,25							
Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 73/48/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	2,50	2,90	2	12,5	-	44dB	CF 30	CF 45	23
		400	2,70	3,25							
Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 98/48/600/MS/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,50	4	12,5	-	50dB	CF 60	CF 90	43
		400	3,20	3,80							
Paredes internas à unidade Cozinha/sala Cozinha/área de serviço	 95/70/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR	600	3,00	3,60	2	12,5	38dB	-	CF 30	CF 45	22
		400	3,30	4,05							
Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 95/70/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,00	3,60	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 45	23
		400	3,30	4,05							
Paredes entre unidades habitacionais autônomas	 120/70/600/MS/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	3,70	4,40	4	12,5	-	51dB	CF 60	CF 90	43
		400	4,10	4,80							
Paredes internas à unidade Dormitório/sala Dormitório/dormitório Dormitório/banheiro Banheiro/banheiro	 115/90/600/MS/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50	600	3,50	4,15	2	12,5	-	45dB	CF 30	CF 45	22
		400	3,85	4,60							
Paredes entre unidades habitacionais autônomas e áreas comuns de permanência de pessoas e atividades de lazer e esportivas: home theater, salão de jogos, salão de festas, etc.	 193/70/600/MS/DES/2ST12,5+2ST12,5/BR/1LM50	600	2,90	3,40	4	12,5	-	61dB	CF 60	CF 90	45
		400	3,20	3,70							

Quadro 12 – Padrões de desempenho das paredes *drywall* mais comuns

Fonte: Luca (2011).

As indicações das classes de transmissão sonora de paredes com diversos componentes para uma melhor comparação com o *drywall*, estão indicadas no Quadro 13, a seguir:

Configuração da parede	Espessura (cm)	Classe de Transmissão Sonora
Blocos de concreto celular revestido com massa corrida	10	34
Gesso acartonado com chapas simples, montantes simples, espaço interno sem enchimento	7,3 (1,25+4,8+1,25)	37
Blocos cerâmicos de vedação, revestido com argamassa	12,5	41
Gesso acartonado, chapas simples, montante simples, espaço interno com enchimento de lã de vidro de 16kg/m ³	10 (1,25+7,5+1,25)	49
Gesso acartonado, chapas duplas, montante simples, espaço interno com enchimento de lã de vidro de 16kg/m ³	14 (2,5+9,0+2,5)	62

Quadro 13 – Propriedades acústicas de diversos componentes de paredes

Fonte: Losso e Viveiros apud Baring (2000).

Na parede de alvenaria comum, as vibrações encontram caminho através da matéria homogênea dos tijolos maciços ou através das pontes acústicas entre as faces da parede, formadas pelo arcabouço dos furos internos aos tijolos. Na parede de gesso acartonado, as referidas pontes acústicas são poucas, apenas os contatos entre as suas faces, propiciados pela estrutura interna, os montantes, colocados geralmente de 60 cm em 60 cm. Como citado no item 2.1.10 os grandes ocos internos dificultam em muito a passagem das vibrações e, se neles for colocada lã de vidro ou lã de rocha, haverá significativa redução da energia vibratória (BARING, 2000).

Os resultados de um estudo realizado pelo IPT para dois fabricantes de gesso, em 1997 e 1998, e um estudo de desempenho acústico realizado pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná para uma construtora de Curitiba, em 1996, estão apresentados nos quadros a seguir. No Quadro 14 estão apresentados os resultados de divisórias de gesso acartonado sem o uso de isolantes acústicos, enquanto as divisórias apresentadas no Quadro 15 possuem o isolante na sua composição.

Tipologia da divisória	Isolamento Sonoro (dB)		
	IPT (1997)	IPT (1998)	PUC (1996)
A) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 60cm, coberta com uma chapa de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	37	36	39,5
B) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 60cm, coberta com duas chapas de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	44	42	46,8
C) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 40cm, coberta com uma chapa de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	*	36	*

Quadro 14 – Resultados de ensaios nas divisórias de gesso acartonado

Fonte: IPT, 1997; IPT, 1998; PUC, 1996 apud TANIGUTI (1999).

Tipologia da divisória	Isolamento Sonoro (dB)		
	IPT (1997) (1)	IPT (1998) (1)	PUC (1996) (2)
A) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 60cm, coberta com uma chapa de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	44	43	43,5
B) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 60cm, coberta com duas chapas de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	50	49/50	50
C) Divisória com montantes metálicos de 48mm espaçados a cada 40cm, coberta com uma chapa de gesso acartonado de 13mm em ambas as faces da divisória.	*	43	*
D) Divisória com montantes metálicos de 70mm espaçados a cada 60cm, coberta com duas chapas de gesso acartonado de 13mm em cada uma das faces da divisória	61	*	*
(1) Lã de vidro com 50mm de espessura e densidade de 16kg/m ³			
(2) Lã de vidro com 90mm de espessura e densidade de 45kg/m ³			

Quadro 15 – Resultados de ensaios nas divisórias de gesso acartonado com emprego de isolante acústico

Fonte: IPT, 1997; IPT, 1998; PUC, 1996 apud TANIGUTI (1999).

2.2.3 MDF

O MDF corresponde à sigla em inglês “*Medium Density Fiber*” ou painel de fibra de média densidade, sendo também conhecido como chapa de fibra de média densidade (BELINI, 2007).

O MDF é produzido a partir de fibras de madeira, aglutinadas com resinas sintéticas através de temperatura e pressão. Possuindo consistência similar à da madeira maciça, o MDF permite acabamentos do tipo envernizamento, pinturas em geral, revestimentos com papéis decorativos, lâminas de madeira e PVC (MACEDO; ROQUE, 1997).

De acordo com a norma brasileira NBR 15316-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006 apud Belini, 2007), quando o colchão de fibras utilizado na fabricação do MDF está na linha de produção, ele tem menos de 20% de teor de umidade e a chapa tem densidade maior ou igual a 450 kg/m³. As chapas são produzidas sob altas temperaturas e pressões e com a adição de um aditivo sintético.

Segundo Belini (2007) as chapas são classificadas em quatro diferentes categorias:

- a) HDF (*High Density Fiberboard*): densidade $\geq 800\text{kg/m}^3$
- b) *Standard*: densidade > 650 e $< 800\text{ kg/m}^3$
- c) *Light*: densidade $\leq 650\text{ kg/m}^3$
- d) *Ultra light*: densidade $\leq 550\text{ kg/m}^3$

O MDF é um produto homogêneo, uniforme, estável, de superfície plana e lisa que oferece boa trabalhabilidade, alta usinabilidade - para encaixar, entalhar, cortar, parafusar, perfurar e moldurar - economia quanto à redução no uso de tintas, tingidores, laca e vernizes, economia no consumo de adesivo por metro quadrado, além de apresentar ótima aceitação para receber revestimentos com diversos acabamentos (YOUNGQUIST apud CAMPOS; LAHR, 2004).

A utilização de painéis MDF embute a grande vantagem da homogeneidade nas características tecnológicas e de aparência, obtendo-se produtos de diferentes dimensões e aplicações, com possibilidade de adequações nos processos de

confeção visando performance requerida ao seu uso final. Como exemplos, podem ser obtidas variações em densidade básica das chapas e nos valores de propriedades tecnológicas, visando usos específicos, e a incorporação de aditivos, conferindo características especiais, como resistência à umidade para a utilização como substrato de pisos laminados (BELINI, 2007).

2.3 CÂMARAS ACÚSTICAS

Bez (1983, p.5) define que “existem, basicamente, dois meios acústicos que podem ser usados para medir o nível de potência sonora: um é o campo livre e o outro é o campo difuso” O primeiro trata da câmara anecóica, na qual as paredes são projetadas de maneira a não permitir a reflexão de ondas – daí o nome, anecóica significa “sem eco”. O autor ainda fala que “campo livre é um campo sem nenhuma reflexão de obstáculos”, neste caso, a fonte sonora emite a onda, e esta é absorvida pela parede. Uma câmara anecóica consiste principalmente de uma caixa interna e uma caixa externa, esta serve para garantir o isolamento do exterior, já a caixa interna é revestida com diversos materiais com a finalidade de reduzir ao máximo a reflexão das ondas pelas paredes (PIEDRAHITA e FAJARDO, 2012). Heleno (2006, p.7) destaca que uma câmara anecóica necessita de elevada blindagem a interferências de ruídos externos, da ordem de 100dB, já que esse tipo de câmara é utilizado para medições de alta sensibilidade e com baixos níveis de sinal.

Já o campo difuso, que contempla as câmaras reverberantes, tem como característica o grande número de reflexões em todas as direções, dessa maneira a densidade média de energia sonora é uniforme em todo campo. A câmara reverberante é construída de forma que suas superfícies sejam “rígidas e reflectivas” (BEZ, 1983).

Além das diferenças conceituais e de funcionamento das câmaras, uma diferença prática é evidente: o custo de uma câmara anecóica excede em muito o de uma câmara reverberante. O autor ainda destaca que, por mais que a medição no primeiro tipo de câmara possa ser mais exata, o método de medição da câmara reverberante é mais fácil de executar, além de que:

“[...] muitos equipamentos que existem na pratica estão instalados em salas que podem ser consideradas como reverberantes; d) tem sido mostrado que a potência sonora em um campo difuso, sob determinadas condições, é praticamente igual à potência sonora no campo livre. Algumas condições que influenciam a precisão da medida em câmaras reverberantes são: tomar as medidas afastadas no mínimo $1/2 \cdot X$ da parede da sala, onde X é o comprimento de onda da frequência mais baixa de interesse; usar um mecanismo transversal para o microfone; colocar absorvedores de baixa frequência, colocar difusores estacionários; colocar difusores rotativos, etc” (BEZ, 1983).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo é explicado como foi executado o trabalho, de forma que possa ser reproduzido, evitando que possíveis erros sejam repetidos.

3.1 MONTAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para realização do ensaio foram montados seis diferentes corpos de prova que serão nomeados como a seguir:

- Corpo de prova 1 - MDF 12mm + MDF 12 mm
- Corpo de prova 2 - MDF 12mm + lã de vidro + MDF 12 mm, apresentado na Figura 16.

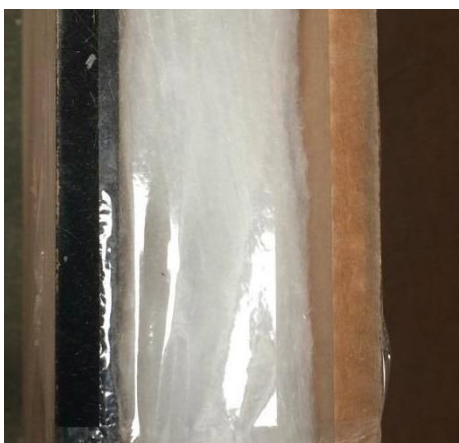


Figura 16 - MDF + lã de vidro

Fonte: Autoras (2016).

- Corpo de prova 3 - MDF 12mm + lã de rocha + MDF 12 mm, apresentado na Figura 17.



Figura 17 - MDF + lã de rocha

Fonte: Autoras (2016).

- Corpo de prova 4 - *Drywall* 12,5mm + *Drywall* 12,5mm
- Corpo de prova 5 - *Drywall* 12,5mm + lã de vidro + *Drywall* 12,5mm, apresentado na Figura 18.



Figura 18 – *Drywall* + lã de vidro

Fonte: Autoras (2016).

- Corpo de prova 6 - *Drywall* 12,5mm + lã de rocha + *Drywall* 12,5mm, apresentado na Figura 19.



Figura 19 - *Drywall* + lã de rocha

Fonte: Autoras (2016).

Os corpos de prova consistem de duas chapas de MDF ou *Drywall* sobrepostas com um tipo de lã entre elas, ou somente duas placas.

As placas de *Drywall* possuem espessura 12,5mm e as placas de MDF 12mm. As dimensões de cada chapa é de 1,50x1,20m. A lã de vidro foi costurada e possui dimensão 1,50x1,20m. A densidade da lã é 40kg/m³ com espessura de 50mm. Foi adquirido o rolo de lã de rocha com 8,00 x 1,20m, que posteriormente foi cortado nas mesmas dimensões das placas. O material possui densidade 32kg/m³ e espessura de 50mm. Optou-se por manter constante a espessura das lãs para o

ensaio, de forma a comparar os corpos de prova com as mesmas espessuras.

Os corpos de prova foram unidos utilizando-se fita adesiva.

3.2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE CONTROLADO

O ambiente controlado utilizado nas medições foi construído por Ferreira (2010). A seguir estão apresentadas as características construtivas e do ambiente.

Para análise experimental foi utilizada uma câmara em concreto e paredes opostas não paralelas para evitar a formação de ondas estacionárias em cada ambiente de medição (FERREIRA, 2010). As paredes e a laje são levemente inclinadas porque quando se faz as paredes não paralelas, cria-se um campo difuso que distribui uniformemente a energia sonora em todo o ambiente (GERGES apud FERREIRA, 2010).

A norma ISO 140-3 que recomenda o volume mínimo de 50 m³ para cada câmara e que a diferença de volume das câmaras seja, no mínimo, de 10% (FERREIRA, 2010).

As dimensões do ambiente controlado utilizado são 2,5 x 2,5 x 2,5 m para a sala de recepção, totalizando 15,6 m³ e 1,5 x 2,5 x 2,5 m para a sala de emissão, com 9,37 m³ de volume. A diferença entre as duas câmaras supera os 10% citados em norma concluindo que o volume das câmaras utilizadas para essas medições não segue a ISO 140-3. Nas Figuras 20 e 21 é exposto a planta e os cortes do ambiente, respectivamente.

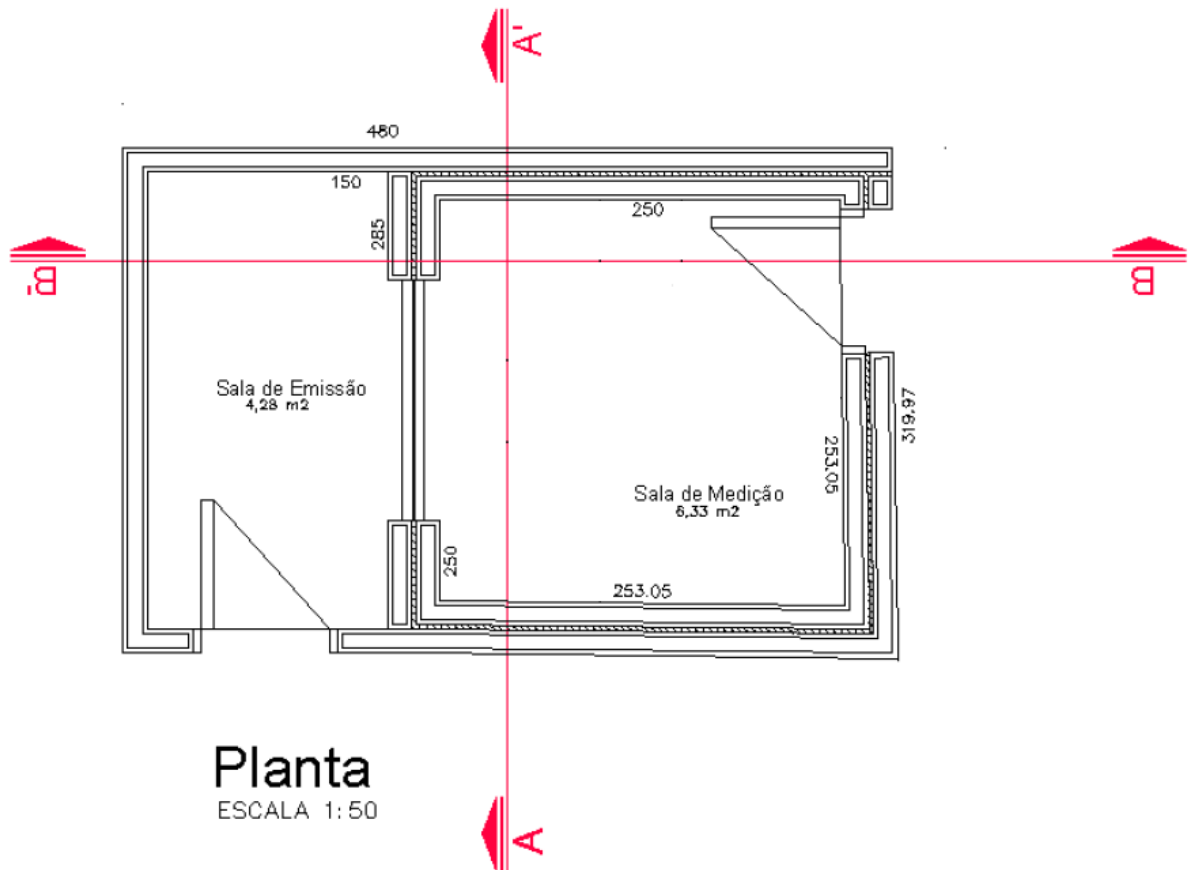


Figura 20 - Planta do ambiente controlado

Fonte: FERREIRA (2010)

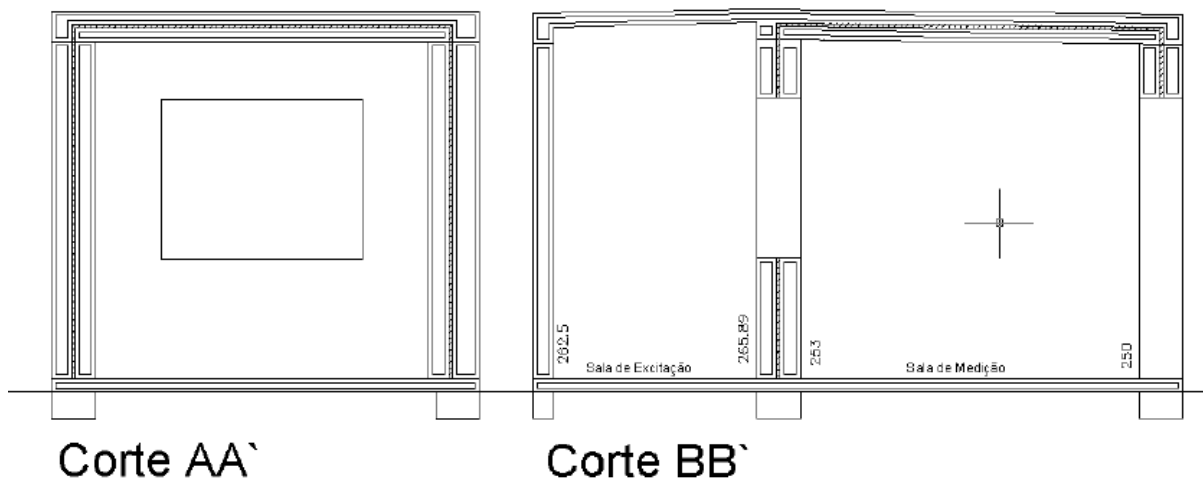


Figura 21 - Cortes do ambiente controlado

Fonte: FERREIRA (2010)

As paredes da sala de recepção são duplas, compostas por blocos cerâmicos de seis furos com 14 cm cada uma. A espessura de 2,5 cm entre os blocos é preenchida com lã de vidro de densidade 60 kg/m³, envolvida por um plástico escuro. Os lados que ficam expostos, de cada uma das paredes, são

chapiscados, emboçados, rebocados e pintados. Internamente as paredes são revestidas com espuma absorvente de espessura 50 mm para diminuição do tempo de reverberação (FERREIRA, 2010). Na Figura 22 é apresentado o processo construtivo.



Figura 22 - Paredes do ambiente

Fonte: FERREIRA (2010)

O teto da sala de medição também possui, entre duas lajes pré-moldadas, lã de vidro com a mesma densidade utilizada no preenchimento entre as paredes. O piso da sala é composto por cimento, cal, areia e pequenos pedaços de borracha que substituem a brita e evitam a passagem de vibração e, por cima, uma camada de argamassa com espessura 1 cm para dar acabamento. Para melhorar a absorção do ruído o piso é revestido com carpete de náilon com espessura de 3 mm (FERREIRA, 2010). Na Figura 23 é mostrado o detalhamento da laje.



Figura 23 - Laje do ambiente

Fonte: FERREIRA (2010)

A abertura entre a sala de medição e a sala de emissão utilizada para a fixação dos corpos de prova é de 1,20 x 1,50 m, como mostrado na Figura 24. Um perfil de alumínio maciço circunda esse espaço (FERREIRA, 2010).



Figura 24 - Abertura entre as salas

Fonte: FERREIRA (2010)

O índice de redução de Ruído (R) é calculado com a norma ISO140-3 levando em consideração o fenômeno da reverberação e não somente a diferença dos níveis de pressão sonora das duas salas (FERREIRA, 2010).

Segundo Ferreira (2010), em um estudo semelhante realizado por Tadeu e Mateus (2001) foram utilizadas câmaras de recepção com dimensões 4,0 x 2,7 x 2,7 m (29,16 m³) e câmaras de emissão com 3,0 x 2,7 x 2,7 m (21,87 m³). Os autores utilizaram a norma portuguesa NP-2073 para o cálculo da redução de ruído, a fórmula é expressa na Equação 3.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{10 \times T_r}{0,16 \times V} \right) \quad (7)$$

L_1 – Nível médio de pressão sonora na câmara de emissão (dB)

L_2 – Nível médio de pressão sonora na câmara de recepção (dB)

V – Volume da câmara de recepção

T_r – Tempo de reverberação médio (s) para uma dada frequência

3.3 METODOLOGIA DE ENSAIO

Foram marcados três pontos na sala de medição, com no mínimo 1,0 m de distâncias das paredes, como determina a norma NBR 10151/1987. Na Figura 25 é apresentado o croqui dos três pontos de medição.

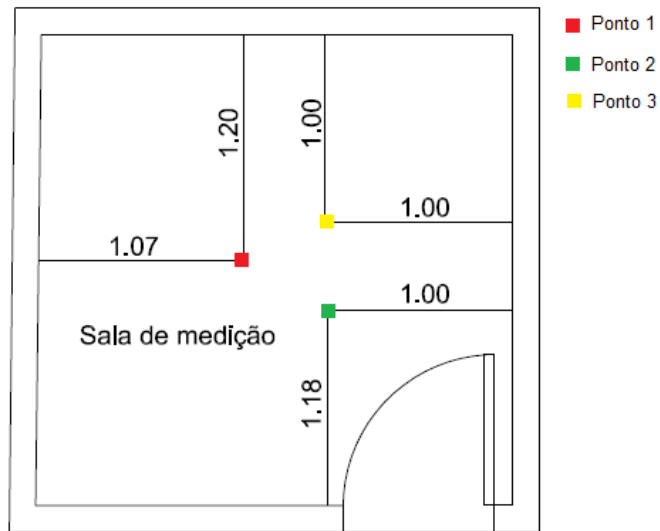


Figura 25 - Pontos de medição

Fonte: Autoras (2016).

O equipamento foi posicionado em um tripé a uma altura de 1,25 m no ponto 1 e 1,35 m nos pontos 2 e 3. Na Figura 26 é exibido o tripé posicionado no ponto 1 e o equipamento de medição.

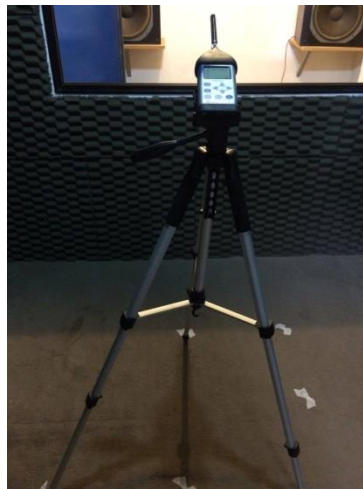


Figura 26 - Tripé e equipamento de medição

Fonte: Autoras (2016).

Para a emissão dos ruídos foi utilizado o *software* Audacity, produzindo um ruído digital englobando as frequências de 20Hz a 2000Hz, foi emitido o ruído rosa em que todas as bandas de frequência contribuem com a mesma energia. O ruído emitido teve duração de 50 segundos e o teste foi realizado com a medição de 30 segundos.

Como analisador de frequência foi utilizado o equipamento SVAN 953, exibido na Figura 27. O aparelho é da marca *Svantek* e é fabricado na Polônia.



Figura 27 - Analisador, microfone e calibrador

Fonte: Autoras (2016).

O analisador de frequência foi programado para demorar 10 segundos antes do início da medição, dando tempo assim de ligar o analisador, sair da sala e ligar a fonte sonora sem interferência na análise.

O tempo de reverberação medido na sala é de aproximadamente 3s, portanto a onda medida já era estacionária (FERREIRA, 2010). Esse método é utilizado para eliminar interferências externas e garantir uniformidade na captação do ruído.

Três parâmetros (Db(A), dB(C) e linear) diferentes podem ser medidos simultaneamente e com padrões independentes, aferindo cada um deles o NPS. Nas medições foi utilizado o filtro em bandas de oitava de frequência com centro de 31,5Hz a 16.000Hz.

O analisador de frequência foi calibrado com o calibrador CAL150 da marca *Larson Davis*, fabricado nos Estados Unidos. Foi também utilizado o adaptador ADP024 para microfone de $\frac{1}{4}$ de polegada, também fabricado pela *Larson Davis*, já que o encaixe do calibrador é para microfone de $\frac{3}{8}$ de polegada.

O nível de pressão sonora foi calibrado em 94 dB, tendo 20 μ Pa como referência de medição de ruído, e a frequência em 1.000 Hz. Quando a temperatura do ambiente a ser medido está entre -10°C e 50 °C, e umidade relativa do ar entre 10% e 90%, a calibração do nível de pressão sonora pode ter variações menores que $\pm 0,5$ dB e, da frequência, menores que $\pm 2\%$, atendendo às normas ANSI S1.4-1984, *Specification for Acoustic Calibrators*, e IEC 60.942-1997 *Class 2, Sound Calibrators*, para um calibrador tipo 2.

A princípio a câmara foi lacrada e nenhum ruído foi emitido e desta forma retirados valores do ruído de fundo. Em seguida foi feita uma medição, em cada ponto, com o vão livre assim determinando os valores de referência. O nível de emissão sonora foi de 105 dB. Esse valor foi escolhido para evitar a interferência do ruído de fundo nas medições.

Dando continuidade ao teste os corpos de prova foram, um a um, encaixados no perfil de alumínio, e apresentados nas Figuras 28 e 29.



Figura 28 - Encaixe na câmara de medição

Fonte: Autoras (2016).



Figura 29 - Encaixe na câmara de emissão

Fonte: Autoras (2016).

As cavidades presentes na câmara de recepção preenchidas com lã de rocha como mostrado na Figura 30. Para em sequência serem feitas as medições nos três pontos.



Figura 30 - Preenchimento dos vãos

Fonte: Autoras (2016).

Os resultados finais configuram as médias aritméticas dos resultados em cada frequência, sendo feito o tratamento dos dados com a confiança de 68%. Neste tratamento foram calculados a média e o desvio padrão e definido um intervalo de dados entre a média menos o desvio padrão e a média mais o desvio padrão. Após

a obtenção desse intervalo os valores medidos são verificados e os dados espúrios, que estão fora desse intervalo, são retirados. Para a verificação da confiança é dividido o número de dados restantes pelo número total de dados, espera-se encontrar o valor próximo a 68%. Todas as frequências obtiveram a confiança de 68% no primeiro intervalo calculado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CÁLCULO DAS FREQUÊNCIAS CRÍTICAS E NATURAIS PELO MÉTODO ANALÍTICO

Para o cálculo das frequências críticas e naturais foram utilizadas as metodologias apresentadas nas sessões 2.1.12 e 2.1.13. Essas equações são utilizadas para painéis simples e foi utilizada a média da densidade dos materiais utilizados. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Frequências críticas pelo método analítico

Fonte: Autoras (2016).

Corpo de prova	fc (Hz)
CP1	696,34
CP2	239,88
CP3	237,14
CP4	1.325,79
CP5	468,34
CP6	463,17

Tabela 2 - Frequências naturais pelo método analítico

Fonte: Autoras (2016).

Corpo de prova	Frequências naturais (Hz)				
	f11	f12	f21	f13	f23
CP 1	47,64	103,42	134,80	196,39	283,54
CP 2	138,30	300,22	391,30	570,08	823,07
CP 3	139,90	303,69	395,82	576,67	832,59
CP 4	25,02	54,32	70,80	103,15	148,92
CP 5	70,84	153,77	200,42	291,99	421,58
CP 6	71,63	155,49	202,65	295,25	426,27

4.2 MEDIÇÕES E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A metodologia utilizada nos cálculos está explicada no capítulo 3.

Foi estipulado como referência o NPS da sala de medição com o vão livre,

ou seja, sem corpos de prova na abertura entre as salas de medição e emissão. Esses valores estão disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3 - NPS de referência, em dB(A)

Fonte: Autoras (2016).

Vão livre										
Emissão (dB(A))	Frequência (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
105	102,61	92,53	89,72	94,79	98,92	98,93	90,88	86,95	87,21	76,24

Os NPS's dos corpos de prova estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – NPS, em dB(A).

Fonte: Autoras (2016).

CP	Frequência (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
1	64,44	73,09	72,13	75,54	78,08	75,92	61,64	49,78	44,01	33,35
2	65,41	73,47	69,98	71,58	74,76	73,06	59,93	47,95	48,29	34,23
3	63,62	72,25	71,39	69,82	75,05	73,62	57,18	43,80	39,58	32,73
4	68,81	74,62	73,45	79,74	83,41	82,08	70,70	60,16	56,99	40,25
5	67,72	74,98	70,43	73,87	77,71	78,14	67,16	59,82	60,49	45,04
6	63,25	73,77	72,60	70,58	74,34	75,15	62,84	55,63	55,29	37,01

Os valores foram corrigidos de acordo com o ruído de fundo, a metodologia utilizada está descrita na seção 2.1.4. Os valores corrigidos estão em negrito e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - NPS de referência corrigido, em dB(A).

Fonte: Autoras (2016).

CP	Frequência (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
1	64,44	73,09	72,13	75,54	78,08	75,92	61,64	49,78	44,01	0,00
2	64,44	73,09	72,13	75,54	78,08	75,92	61,64	49,78	44,01	0,00
3	63,62	72,25	71,39	69,82	75,05	73,62	57,18	43,80	39,58	32,73
4	68,81	74,62	73,45	79,74	83,41	82,08	70,70	60,16	56,99	39,59
5	67,72	74,98	70,43	73,87	77,71	78,14	67,16	59,82	60,49	45,04
6	63,25	73,77	72,60	70,58	74,34	75,15	62,84	55,63	55,29	35,47

Os valores zero significam que o ruído de fundo é significativamente alto em relação à medição e que os corpos de prova não podem ser analisados. A

frequência em que isso ocorreu foi de 16000Hz, que é pouco presente no ruído urbano, por esse motivo não foram realizadas novas medições pois o resultado não interferindo no objetivo deste trabalho.

Como pode se observar foram necessárias poucas correções, em concordância com o fato de a emissão ter sido alta o suficiente para não haver influência do ruído de fundo.

Utilizando a Equação 7 foram calculados os índices de redução de ruído (R) para cada corpo de prova, os resultados estão exibidos na Tabela 6. Da mesma maneira, com os dados calculados foram plotados gráficos do índice de redução de ruído para cada corpo de prova.

Tabela 6 – Índices de redução de ruído, em dB(A).

Fonte: Autoras (2016).

CP	Frequência (Hz)									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
1	51,36	42,71	43,67	40,26	37,72	39,88	54,16	66,02	71,79	0,00
2	50,39	42,33	45,82	44,22	41,04	42,74	55,87	67,85	67,51	0,00
3	52,17	43,55	44,41	45,98	40,75	42,18	58,61	72,00	76,22	83,07
4	46,99	41,17	42,34	36,05	32,39	33,72	45,09	55,64	58,81	76,21
5	48,08	40,82	45,36	41,93	38,09	37,66	48,64	55,98	55,31	70,76
6	52,55	42,03	43,20	45,22	41,45	40,65	52,96	60,17	60,51	80,33

Para a comparação com resultados existentes na literatura, foi calculado o coeficiente de redução sonora. A Fórmula 4 foi utilizada para este cálculo e é explicada no item 2.1.11. A Tabela 7 com esses coeficientes está apresentada a seguir:

Tabela 7 - Coeficientes de redução sonora

Fonte: Autoras

CP	Frequência (Hz)										NRC
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
1	0,49	0,41	0,42	0,38	0,36	0,38	0,52	0,63	0,68	0,00	0,474
2	0,48	0,40	0,44	0,42	0,39	0,41	0,53	0,65	0,64	0,00	0,484
3	0,50	0,41	0,42	0,44	0,39	0,40	0,56	0,69	0,73	0,79	0,532
4	0,45	0,39	0,40	0,34	0,31	0,32	0,43	0,53	0,56	0,73	0,446
5	0,46	0,39	0,43	0,40	0,36	0,36	0,46	0,53	0,53	0,67	0,460
6	0,50	0,40	0,41	0,43	0,39	0,39	0,50	0,57	0,58	0,77	0,494

4.3 COMPARATIVO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS COM OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na análise dos corpos de prova deste trabalho foram utilizadas bandas de 1/1 oitava de frequência, as bandas centrais e as faixas de abrangência estão apresentadas no Quadro 16.

Frequência Inferior (Hz)	Frequência central (Hz)	Frequência superior (Hz)
44	63	88
88	125	177
177	250	355
355	500	716
716	1000	1420
1420	2000	2840
2840	4000	5680
5680	8000	11360
11360	16000	22720

Quadro 16 - Faixas de frequência para 1/1 de oitava

Fonte: GERGES (1992)

Nos gráficos apresentados nas Figuras 30 a 36 têm-se os resultados obtidos experimentalmente e serão utilizados para uma comparação com os valores obtidos analiticamente.

As frequências naturais teóricas para o corpo de prova 1 são muito próximas umas das outras nas baixas frequências e se acumulam na banda 63Hz e 125Hz, a diferença nos intervalos de banda são muito sutis, por esse motivo alguns dos valores recaem na banda 125Hz. O gráfico apresentado na Figura 30 corrobora o resultado analítico, sendo a frequência de ressonância presente na banda de 63Hz e a frequência crítica em 500Hz.

No corpo de prova 4 as frequências naturais em baixa frequência também se acumulam na banda 63Hz em acordo com o valor analítico que aponta a mesma banda e está apresentado no gráfico da Figura 33. A frequência crítica corresponde a banda de 500Hz no gráfico e 1000Hz nos cálculos, novamente essa diferença pode ser explicada pela proximidade dos valores entre as bandas.

Além da proximidade dos valores das bandas, outros motivos que podem ter colaborado para as diferenças são: simplificação para o uso da equação de placas simples, diminuição da espessura da lã pela pressão exercida ao encaixar os corpos de prova no vão e a utilização de lã de rocha para a fixação dos corpos de prova no vão. A lã de rocha utilizada pode alterar as condições de contorno do ensaio, essa lã pode trazer amortecimento e impactando assim, no uso da equação de placas simples onde o corpo de prova deve ser fixo em todos os cantos.

Deve-se salientar outra modificação das condições de contorno: os ensaios foram realizados em um ambiente controlado com dimensões inferiores às câmaras acústicas recomendadas pela norma. Essas diferenças nas medições podem causar pequenas alterações nos resultados.

Já nos gráficos das Figuras 31, 32, 34 e 35 nos corpos de prova que contém as lãs minerais, observa-se que as frequências críticas aproximam-se das frequências naturais (ou de ressonância) devido ao aumento do amortecimento causado pelas lãs.

Mesmo com o uso das simplificações e com as alterações das condições de contorno foram encontrados resultados que corroboram com o gráfico de placas simples, apresentado na Figura 3.

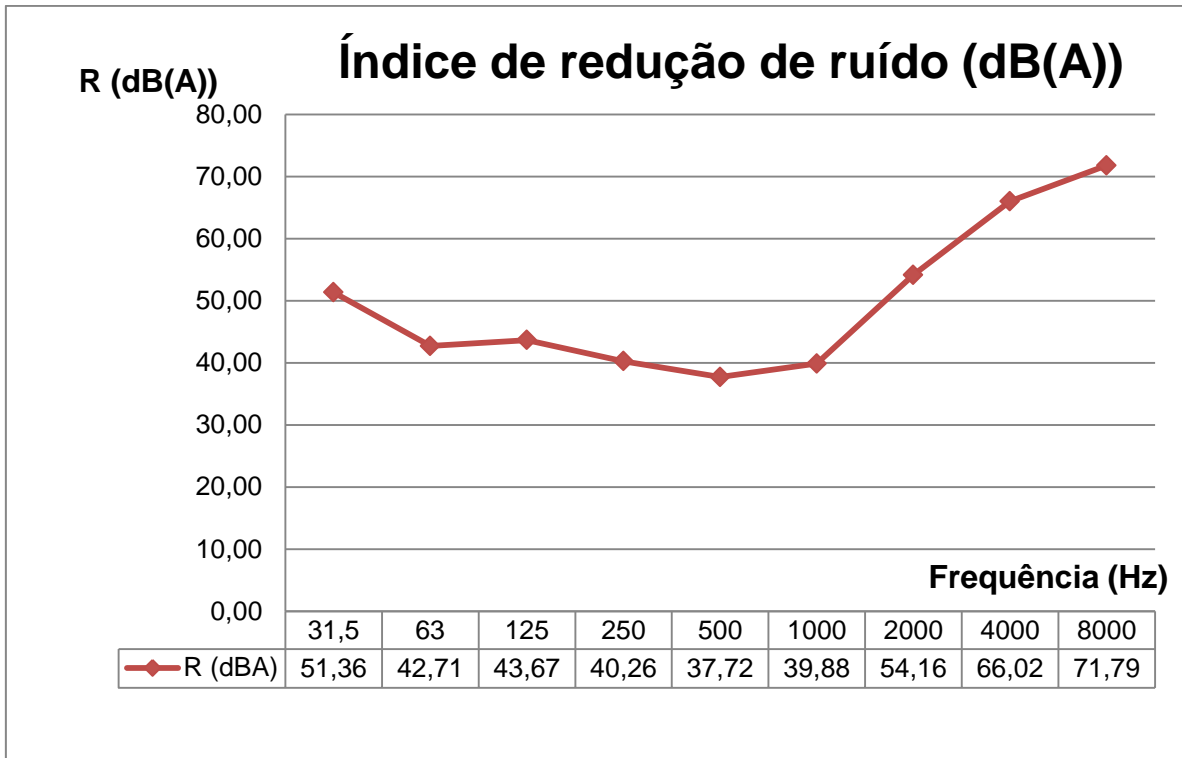


Figura 30 - Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 1

Fonte: Autoras (2016).

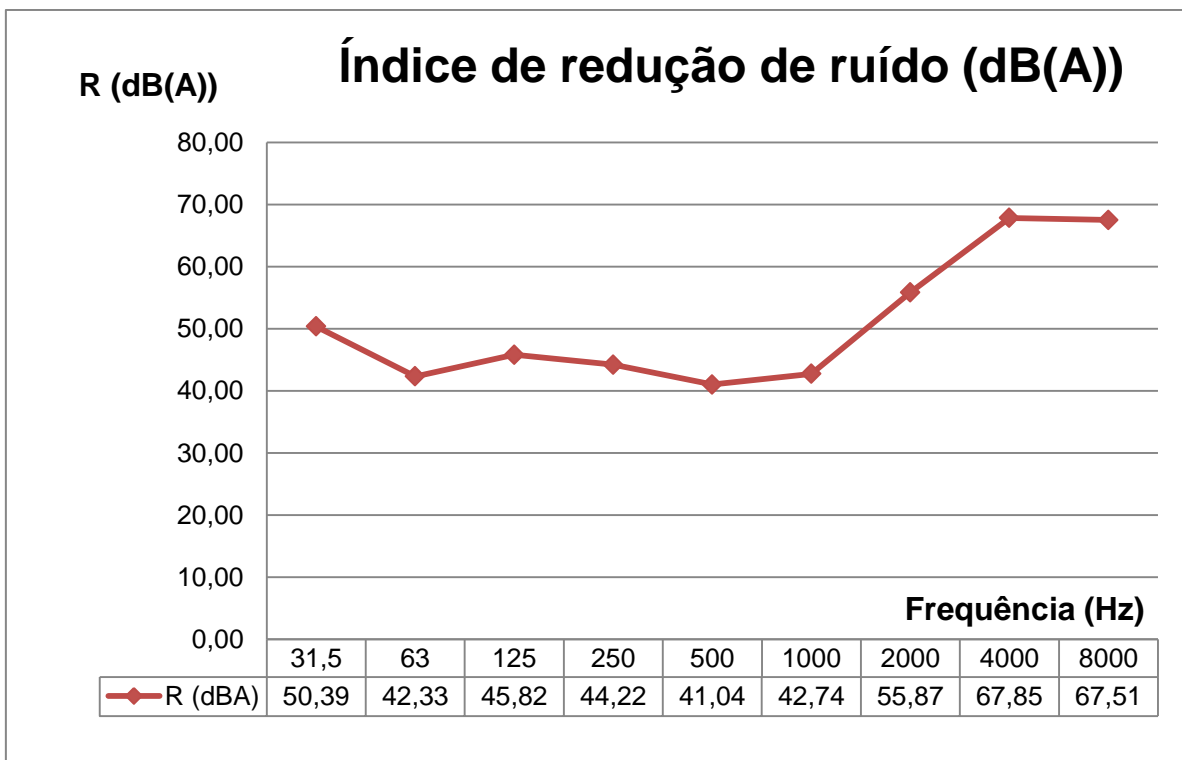


Figura 31 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 2

Fonte: Autoras (2016).

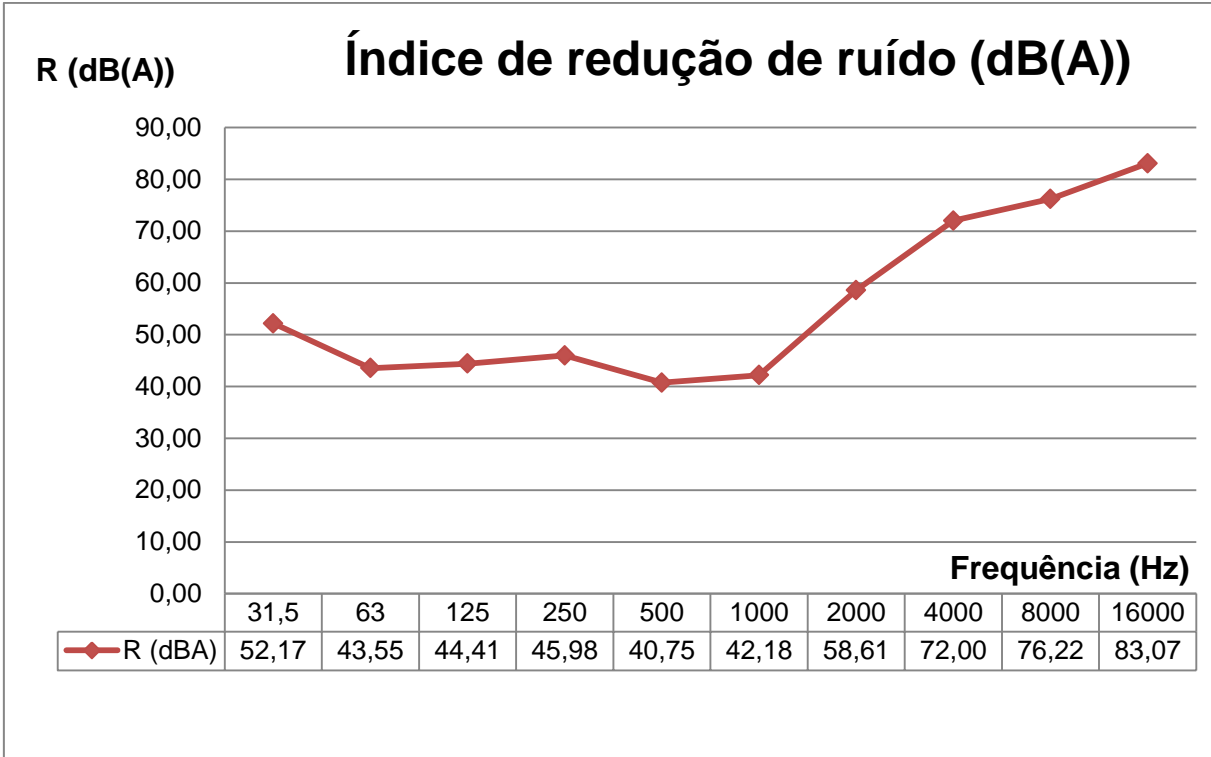


Figura 32 - Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 3

Fonte: Autoras (2016).

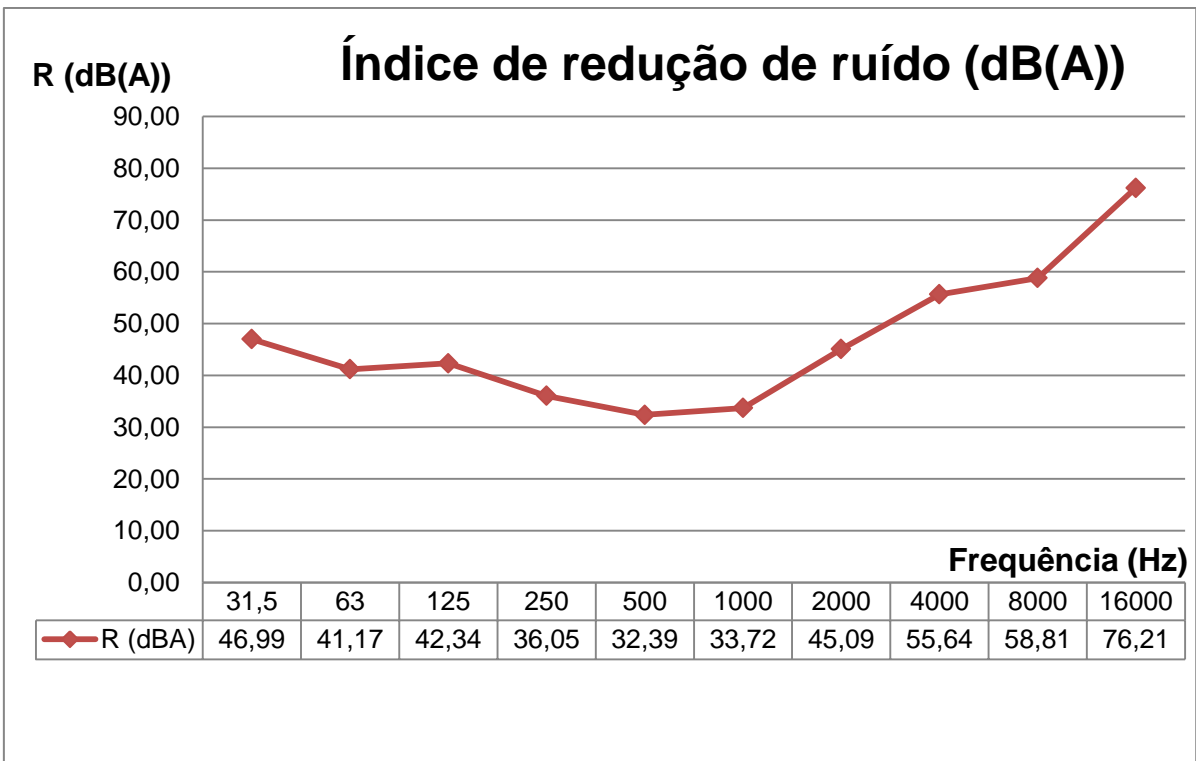


Figura 33 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 4

Fonte: Autoras (2016).

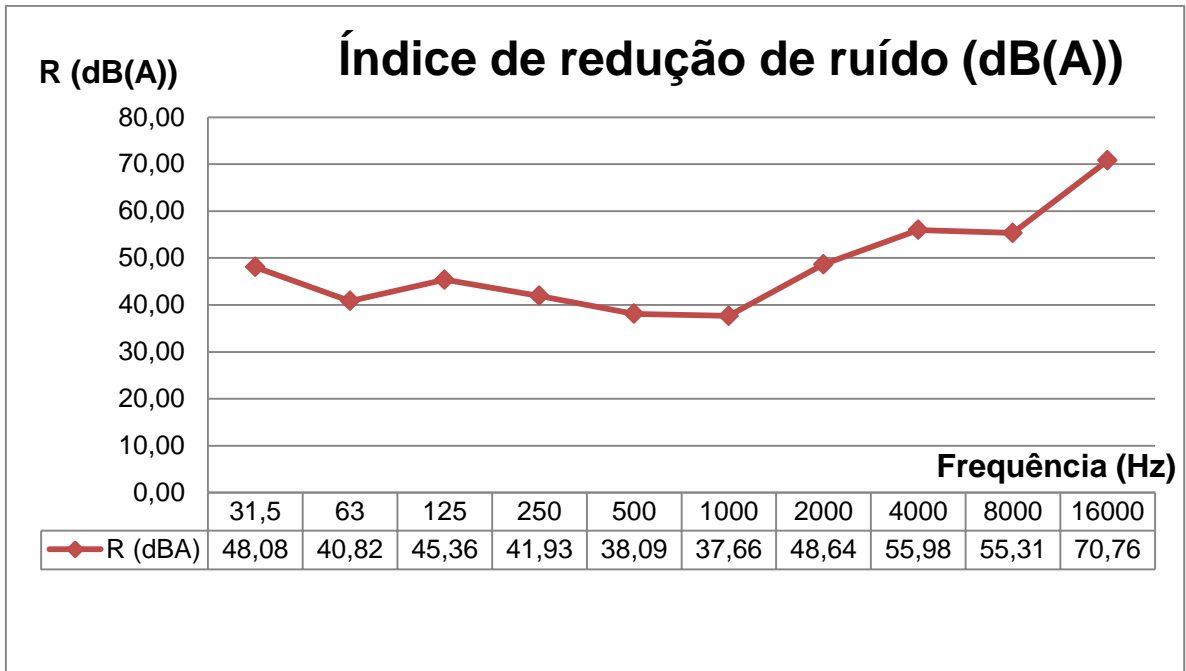


Figura 34 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 5

Fonte: Autoras (2016).

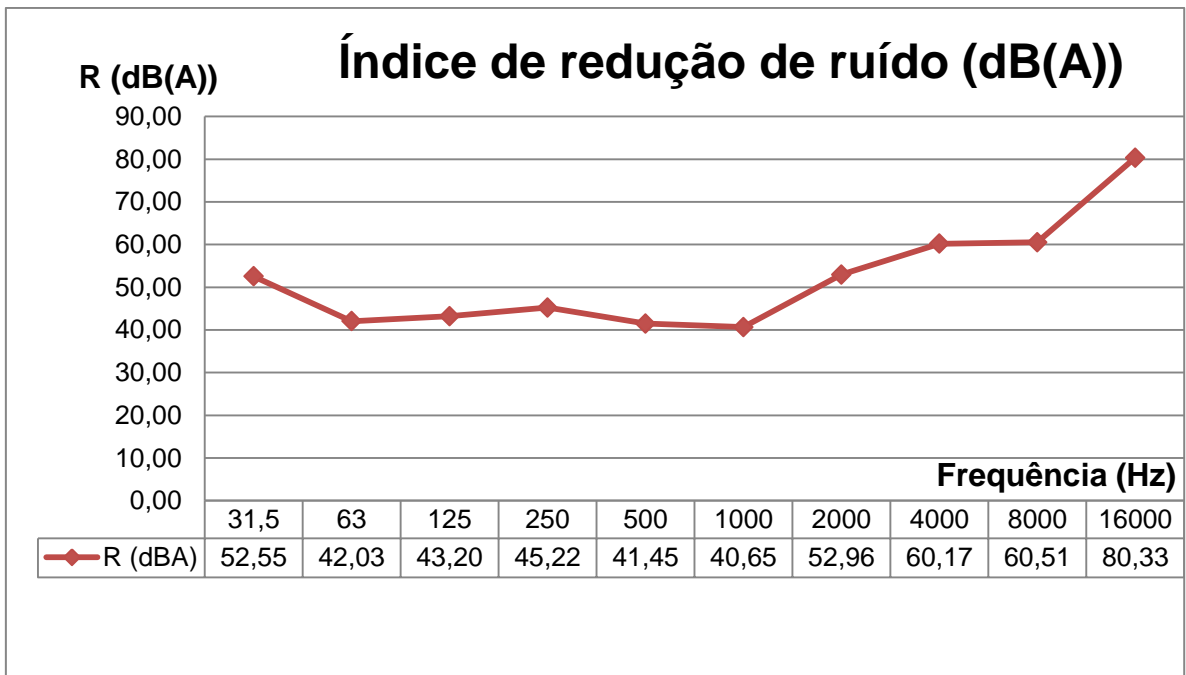


Figura 35 – Índice de redução, em dB(A), para o corpo de prova 6

Fonte: Autoras (2016).

4.4 COMPARATIVO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS E VALORES EXIGIDOS EM NORMA

4.4.1 Comparação com valores exigidos em campo

No Quadro 9 são exibidos os níveis de redução sonora mínimos para paredes que separam unidades autônomas e paredes que separam unidades das áreas comuns. Esses níveis são medidos em campo e apresentados com o símbolo $D_{nT,w}$. Deve-se levar em consideração que geralmente os valores medidos em campo e em laboratório apresentam valores diferentes decorrentes das condições estruturais e executivas.

Todos os corpos de prova ensaiados cumprem o desempenho mínimo de 30 dB(A) esperado para parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos.

Para as paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório; parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual e conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall somente superaram o valor mínimo de 40 dB(A) os corpos de prova 2, 3 e 6.

As paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório e parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas exigem 45 dB(A) e nenhum dos corpos de prova atingiu esses resultados.

4.4.2 Comparação com valores exigidos em testes de laboratório

No Quadro 10 são exibidos os índices de redução sonora ponderado (R_w) para fachadas e no Quadro 11 para vedações entre ambientes.

No caso das fachadas para as classes de ruído I e II que correspondem a habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas e

habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III, todos os corpos de prova apresentam o desempenho mínimo. Já para a classe III, habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação, o corpo de prova 4 não apresentou o índice de redução mínimo exigido.

Para as paredes internas o corpo de prova 4 não possui resultado mínimo satisfatório para nenhuma das categorias. Para parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos, o nível mínimo exigido de 35 dB(A) é cumprido pelos corpos de prova 1, 2, 3, 5 e 6. Para o restante das paredes o mínimo R_w exigido é de 45 dB(A) ou 50 dB(A), nenhum corpo de prova possui desempenho superior ao mínimo exigido.

4.5 COMPARATIVO DE RESULTADOS ENTRE OS MATERIAIS ENSAIADOS

Para uma melhor compreensão do desempenho acústico, todos os corpos de prova estão incluídos, em um mesmo gráfico, frequência a frequência, com os valores dos índices de redução de ruído.

Nas frequências de 125Hz a 4000Hz os corpos de prova contendo as lãs possuíram maior índice de redução de ruído em comparação aos corpos sem as lãs.

O desempenho dos corpos de prova utilizando MDF foi notavelmente superior entre as frequências 2000Hz e 16000Hz.

Entre as baixas frequências os valores foram próximos, não sendo apresentada nenhuma diferença significativa no desempenho.

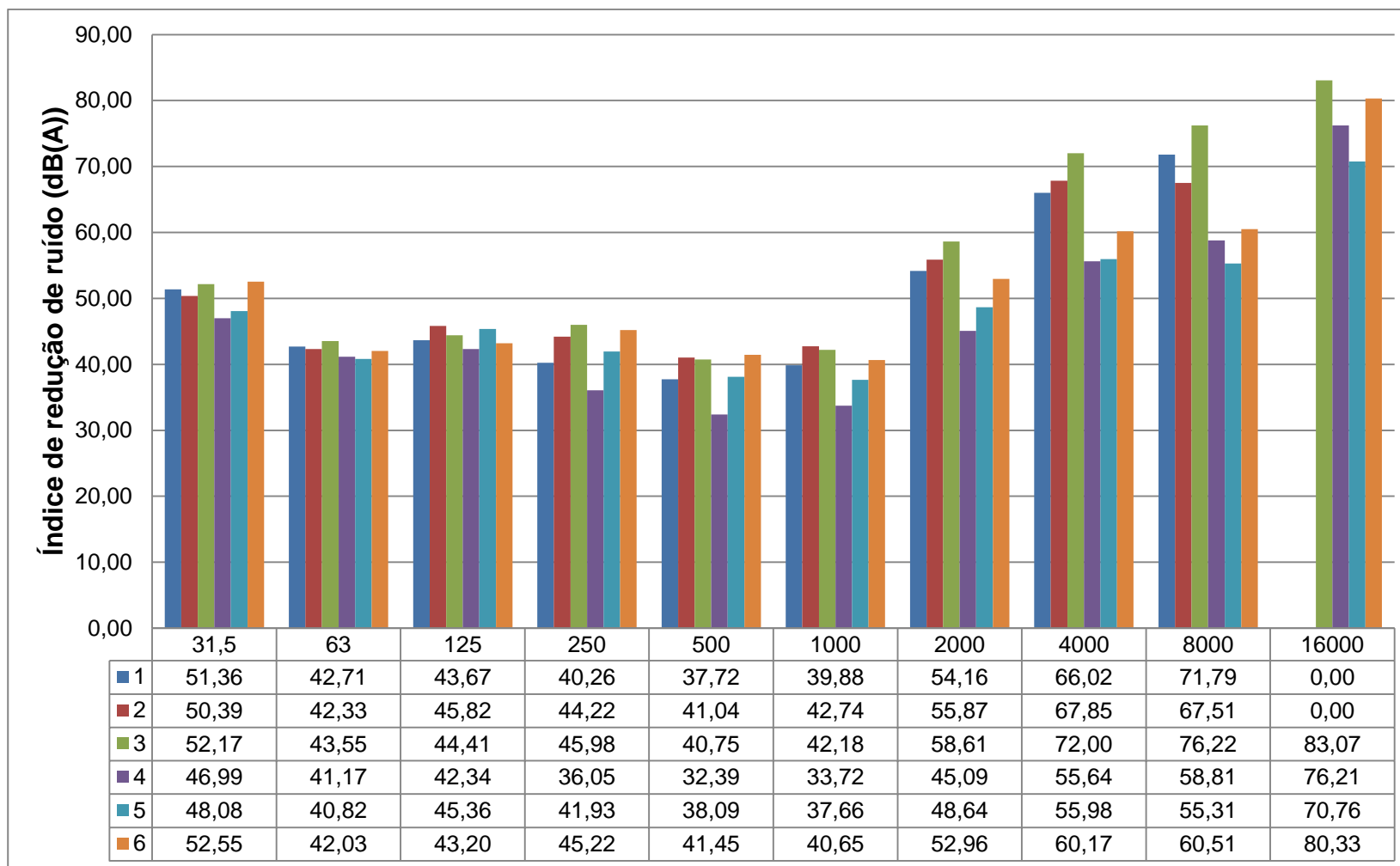


Figura 36 - Resultados experimentais do Índice de redução de ruído para cada corpo de prova

Fonte: Autoras (2016).

5 CONCLUSÃO

Os materiais empregados neste estudo são comumente utilizados como sistemas de divisórias em edificações, desta forma analisar seu desempenho acústico se faz tão importante. No entanto, durante a concepção do trabalho pode-se verificar a reduzida quantidade de informações relacionadas ao desempenho acústico destes materiais, havendo poucos parâmetros para comparações com resultados anteriores.

Na apresentação dos resultados foi possível observar a diminuição do NPS de acordo com cada corpo de prova e em cada frequência, tornando assim viável a detecção do material desejado de acordo com as frequências de interesse, cumprindo assim, o objetivo deste trabalho.

O uso de lãs minerais como isolante acústico é amplamente empregado no Brasil e os resultados desse trabalho confirmam que o índice de redução acústica foram superiores nos corpos de prova em que as lãs foram utilizadas. Quando comparados os índices de redução acústica, os corpos de prova que contém a lã possuem melhor desempenho acústico, pois a presença de lãs favorece o amortecimento, além do aumento de massa.

As curvas do índice de redução de ruído permitem a detecção das três regiões apresentadas na Figura 3, sendo identificáveis: o controle pela rigidez, a lei das massas e o controle pelo amortecimento. Identificam-se também as frequências naturais e as frequências crítica dos painéis. Foram apresentadas curvas em que as duas frequências quase chegam a coincidir restando assim apenas uma frequência em que ocorre a ressonância.

Observando as curvas obtidas nos ensaios percebe-se também que quanto mais alta a frequência, mais fácil de ser isolada. Nota-se também que ao chegar em uma frequência média, o Índice de Redução do Ruído tende a uma leve queda, ocorrida porque a frequência incidente está próxima a frequência de ressonância do material.

Quanto ao isolamento dos sistemas, verificou-se que atendem de forma satisfatória como divisórias internas de edificações, proporcionando uma vedação eficiente no sistema. Os resultados utilizados para comparação foram obtidos em câmaras acústicas com o volume total, enquanto os dados deste trabalho foram

obtidos em um ambiente reduzido. Ainda assim chegou-se a valores satisfatórios.

Como apontado anteriormente, podem ter ocorrido diferenças nos resultados devido à diminuição da espessura da lã pela pressão exercida ao encaixar os corpos de prova, não atendimento à norma no tocante ao volume do ambiente controlado e considerou-se o painel engastado em todas as bordas, mas tal condição de contorno pode ter sido alterada pela utilização de lã de rocha na fixação dos corpos de prova. Outras possibilidades de erro são a utilização de equações para painéis simples ou pela linha de intervalo tênue entre as bandas de frequência. Apesar das observações acima os resultados obtidos estão de acordo com os esperados.

Os resultados apresentados nesse estudo podem ser utilizados na prática para projetos de conforto acústico, em diversos ambientes. Para este uso deve ser realizado um estudo considerando-se a diferença de custo entre os materiais estudados. Oportunidades como essa indicam que este trabalho pode ser continuado no desenvolvimento de novas pesquisas como:

- Comparação de MDF's com diferentes espessuras;
- Comparação de chapas de *drywall* com diferentes espessuras;
- Comparação com diferentes números de placas de MDF ou *drywall*;
- Comparação entre diferentes densidades de lãs minerais, e;
- Estudo de custo benefício dos materiais utilizados;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

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

ALVES, Joner Oliveira. **Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos**. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 203-207, jul.–set. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. **Associação Brasileira do Drywall**. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica sobre a norma de desempenho**. Disponível em: <http://www.gypsum.com.br/shared/manual_proAcustica.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2015.

BARING, João Gualberto de Azevedo. **A qualidade acústica dos edifícios e a contribuição das paredes de gesso acartonado**. *Revista Técnica*. p. 69-73. set/out-2000.

BELINI, Ugo Leandro. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-05062007-133218/>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

BEZ, Humberto Nocetti. **Qualificação de câmara reverberante para medida de potência sonora e avaliação da qualidade acústica de um aparelho de ar condicionado**. 1983. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/75083/180863.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

BISTAFA, Sylvio. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 2. Ed – Blucher, 384 p., 2011.

BUCK, R. L.: **Man-made vitreous fibers**. Norfolk: Navy Environmental Health Center. Technical Manual NEHCTM6290.91-1, Rev. A, 1997.

CAMPOS, Cristiane Inácio de; LAHR, Francisco Antônio Rocco: **Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído**. *Matéria*, vol. 9, n. 1, 2004.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2. ed., Brasília: Thesaurus, 2010.

- COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica técnica**. 1. ed., 127 p., São Paulo, Blucher, 2003.
- FERREIRA, Cleber Gomes: **Estudo comparativo do desempenho dos sistemas de paredes e forros com gesso acartonado**. São Paulo, 2007.
- FERREIRA, Eduardo Bellini; ZANOTTO, Edgar Dutra; SCUDELLER, Luis Augusto Marconi: **Nano vitrocerâmica da escória de aciaria**. Química nova, Brasil, v. 25, n. 5, p. 731-735, 2002.
- FERREIRA, Paola Diamante. **Análise do desempenho acústico de vidros de diferentes tipos e combinações, em ambiente controlado, em banda de 1/1 oitava de frequência**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2010.
- FILHO, Luiz Antônio Martins: **Sistema *drywall* atende à norma de desempenho**. 2010. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/artigos.php/3/45/sistema-drywall-atende-a-norma-de-desempenho>>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: Fundamentos e controle**. Florianópolis: NR Editora. 2000.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física**. V. 2, 8. ed., LTC, 295p., 2009.
- HELENO, Evandro Fernandes. **Avaliação de câmaras reverberantes através do método numérico TLM**. USP, São Paulo, 2006.
- HOSKING, Jamie; MUDU, Pierpaolo; DORA, Carlos. **Health co-benefits of climate change mitigation - Transport sector - Health in the green economy**. 144 p., 2011.
- LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira: **Gesso acartonado e isolamento acústico: Teoria versus prática no Brasil**. I Conferência latino-americana de construção sustentável X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído 18-21 julho 2004, São Paulo.
- LUCA, Carlos Roberto de. **Desempenho acústico em sistemas de *drywall***. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/>>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- MACEDO, Angela Regina Pires; ROQUE, Carlos Alberto Lourenço. **Painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 6, p. 117-132, set. 1997.
- MASINI, Henrique Forlani; TEODORO, Elias Bitencourt. **Medição automática do coeficiente de absorção acústica de materiais**. 2008.
- MÉNDEZ, Antonio Miguel. **Acustica Architectonica**. 1. ed., 238 p., Buenos Aires (UMSA) 1994.
- MOSCATI, Sandra Rachel. **Desempenho acústico de templos e igrejas: subsídios à normalização**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo,

2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-06062013-143321/>>. Acesso em: 22 out. 2015.

NOCETI FILHO, Sidnei; DALCASTAGNÊ, André Luís. **Geração de Ruído Rosa a partir de Ruído Branco**. SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ÁUDIO, 2002, Belo Horizonte. Anais do I SemEA. 2002

OLIVEIRA, Kamila Almeida: **Características e classificação dos resíduos de lã de rocha para a utilização em indústria cimenteira**. 2013. Disponível em: <http://200.18.15.27/bitstream/1/2438/1/Kamila%20Almeida%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 29 de out. de 2015.

PATRAQUIM, Ricardo Jorge; LUZ, Paulo F. C.; PATRÍCIO, Jorge Viçoso: **A utilização da madeira no condicionamento acústico**. Out. 2006.

PAZ, Elaine Carvalho da; FERREIRA, Andressa Maria Coelho; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. **Estudo comparativo da percepção do ruído urbano**. Rev. Saúde Pública, São Paulo , v. 39, n. 3, p. 467-472, jun. 2005 . Disponível em: <http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-8910200500030019&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 28 out. 2015.

PAIXÃO, Dinara Xavier. **Caracterização do Isolamento Acústico de Uma Parede de Alvenaria Utilizando Análise Estatística de Energia (SEA)**. UFSC, Florianópolis, 2002.

PETIAN, Andréa. **Incômodo em relação ao ruído urbano entre trabalhadores de estabelecimentos comerciais no município de São Paulo**. 2008. Tese (Doutorado em Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-12012009-171046/>>. Acesso em: 23 de out. de 2015.

PIEDRAHITA, Y.; FAJARDO, F.. **Construcción de una cámara anecoica para la caracterización de la pérdida de transmisión sonora**. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo , v. 34, n. 4, p. 1-9, Dec. 2012 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172012000400005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 jun. 2016

RADAVELLI, Ferrer Graziella. **Avaliação experimental da perda de transmissão sonora em paredes externas de *Light steel frame***. 2014. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Dissertacao_Graziella_Radavelli.pdf>. Acesso em 11 de abril de 2016.

ROCKFIBRAS. Disponível em: <http://www.rockfibras.com.br/produtos_LR_super_flocos.html>. Acesso em: 29 de out. de 2015.

SCHVARSTZHaupt, Cristiane Cassol; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; NUNES, Maria Fernanda de Oliveira. **Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada com esquadrias de PVC com persiana e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório**. Ambient. constr., Porto Alegre , v. 14, n. 4, p. 135-145, Dec. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?scrip>

t=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 28 de out. de 2015.

SEIP, Clare Elizabeth. **Multipurpose room interior noise control for owners and facility managers**, B.S., Kansas State University, 2007.

SIMÕES, Maia Flávio. **Procel edifica – Eficiência energética em edificações: Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro, agosto de 2011.

TANIGUTI, Eliana Kimie: **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. São Paulo, 1999.

TOLLSTADIUS, Larissa. **Conforto ambiental II: Conceitos Físicos do Som e o Ruído**. Faculdade Maurício de Nassau. Recife, s.d.

VAMAPAL. Disponível em: <<http://www.vamapal.com.br/manta-plastificada/>>. Acesso em: 29 out. de 2015.

VASCONCELOS, Greice Tanus dos Santos. **Associação Brasileira dos Produtores de Gesso Acartonado**. Disponível em: <<http://www.abragesso.org.br>>. Acesso em: 10 out. 2003.

VIANNA, Karina Mary de Paiva. **Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população**. 2014. Tese (Doutorado em Epidemiologia) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6132/tde-01122014-100623/>>. Acesso em: 22 out. 2015.