UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE HABITAÇÃO POPULAR EXECUTADA COM RESÍDUOS DE PNEUS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Benoine Josué Poll

Santa Maria, RS, Brasil
2009

ANÁLISE DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE HABITAÇÃO POPULAR EXECUTADA COM RESÍDUOS DE PNEUS

por

Benoine Josué Poll

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Profª. Drª. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, RS, Brasil
2009

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

A Comissão Examinadora, abaixo-assinado,
aprova a Dissertação de Mestrado

ANÁLISE DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE HABITAÇÃO POPULAR EXECUTADA COM RESÍDUOS DE PNEUS

elaborada por
Benoine Josué Poll

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dinara Xavier da Paixão, Profª. Drª.
(Presidente/Orientadora)

Erasmo Felipe Vergara Miranda, Prof. Dr. (UFSM)

Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, queridos guardiões.

A minha esposa Graça pela motivação e incentivo constantes, e pelo amor aos meus filhos Estevan, Luana e Filipe

Ao professor Dr. Eduardo Rizzatti, amigo, incentivador e responsável pelo meu ingresso no curso de Pós-Graduação.

A professora Dinara Xavier da Paixão, pela oportunidade, confiança e dedicação na orientação do trabalho.

Ao professor José Mario Doleys Soares, Coordenador do Projeto FINEP/FATEC, pelas valiosas informações sobre o Projeto Habitacional, e fornecimento do material para análise.

A todos os colegas, que de uma forma ou de outra me incentivaram, ajudaram e colaboraram durante todo período do mestrado.

Aos bolsistas do curso de Engenharia Civil da UFSM, Alisson Donde e Jordan Pimentel, e ao funcionário do LATA, Juraci José Bortoluzzi, pela colaboração nas medições acústicas em laboratório.

O que me impulsiona é a curiosidade
do que se esconde atrás da
Montanha.

Eu

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ANÁLISE DA ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE HABITAÇÃO POPULAR EXECUTADA COM RESÍDUOS DE PNEUS

AUTOR: BENOINE JOSUÉ POLL
ORIENTADORA: PROFª. DRª. DINARA XAVIER DA PAIXÃO
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2009.

Neste presente trabalho avalia-se o isolamento acústico de uma parede executada com placas pré-moldadas, construídas com material reciclável (borracha de pneus), empregada em edificações populares, há quase duas décadas, na cidade de Santa Cruz do Sul - RS. O sistema construtivo é executado em parte com a utilização de mão de obra carcerária, cujas placas são produzidas na Penitenciária e pela autoconstrução de residências com áreas de 40,00 e 60,00 m^2 com sistema de mutirão. Na área de acústica, executaram-se ensaios em laboratório, detectando-se baixa isolação sonora, pois as placas são finas e apenas encaixadas, sem rejunte ou revestimento. Observaram-se, no entanto, resultados de 40 dB no isolamento sonoro do conjunto, com o rejunte e a colocação de um revestimento de madeira internamente, conforme emprego usual dos moradores. O custo constitui um dos itens prioritários para viabilidade do programa, mas medidas como o uso de argamassa de vedação, entre as placas e junto aos pilares de concreto da estrutura, deverão ser adotadas para melhorar o isolamento acústico da edificação.

Palavras-chave: Desempenho Acústico; Isolamento Sonoro; Edificações Populares.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

ANALYSIS OF ACOUSTIC ISOLATION IN WALL OF POPULAR HABITACION EXECUTED WITH RESIDUES OF TIRES

AUTHOR: BENOINE JOSUÉ POLL
ADVISER: PROFª. DRª. DINARA XAVIER DA PAIXÃO
Date and Place: Feb 26, 2009, Santa Maria.

The present work evaluates the acoustic isolation of a wall of plates pre-molded, constructed with recycled material (rubber of tires), used in popular constructions the two decades, in the city of Santa Cruz do Sul - RS. The constructive system is elaborated in part with hand of jail workmanship (plates are produced in the Prison) and by housing building with 60,00 and 40,00 m^2 of area using the system of collective mobilization. The social reach of the project achieved an international awarding. In a joint work, supported for the FINEP and Municipal City hall of Santa Cruz of the South, the UFSM and the UNISC are searching the improvement of this constructive system. Tests in laboratories had been implemented in acoustic areas, detecting low sonorous isolation, given that the plates are thin and they don't fit properly, without adhesive or covering. They realized, however, the following result of Rw = 40 dB, with adhesive and with the installation of the wooden internal covering, according as usual job of the inhabitants. The cost constitutes one of the priorities item for the viability of the program, but measured as the use of isolate mortar among the plates and next the pillars of concrete of the structure, it will have to be taken to improve the acoustic isolation of the construction.

Key-words: Acoustic Performance; Isolation of the sound; Popular Constructions.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Bairro Residencial Mãe de Deus 29
FIGURA 2 – Bairro Gloria 29
FIGURA 3 – Bairro Ohland 30
FIGURA 4 – Bairro Aliança 30
FIGURA 5 – Detalhe do Painel pré-moldado e sistema de fixação 31
FIGURA 6 – Alicerce nivelado e vigas baldrame em concreto 32
FIGURA 7 – Colocação das colunas e execução do contrapiso e do madeiramento da cobertura 32
FIGURA 8 – Montagem dos painéis e detalhe da janela..... 33
FIGURA 9 – Conclusão da cobertura e fechamento final dos painéis 33
FIGURA 10 – Reflexão, absorção e transmissão do som 41
FIGURA 11 – Curva típica de Índice de Redução Sonoro para paredes simples .. 44
FIGURA 12 – Efeito da coincidência 47
FIGURA 13 – Diminuição na densidade das partições através dos séculos 50
FIGURA 14 – Detalhamento da Câmara Reverberante para transmissão sonora da UFSM 56
FIGURA 15 – Fonte sonora, Microfone rotativo, Calibrador e Analisador 57
FIGURA 16 – Limpeza da superfície do pórtico e colocação da vedação de borracha 60
FIGURA 17 – Preparo das colunas de concreto (ajustes no comprimento para adequar a altura do pórtico) 60
FIGURA 18 – Montagem das colunas de concreto da estrutura 61
FIGURA 19 – Colocação das placas com fixação através das guias de madeira 61

FIGURA 20 – Parede pronta vista pelo lado da Câmara de Emissão e da Câmara de Recepção respectivamente 62
FIGURA 21 – Parede vista pela Câmara de Emissão, com painéis somente encaixados 64
FIGURA 22 – Parede vista pela Câmara de Emissão, painéis com vedação em fita adesiva 64
FIGURA 23 – Parede vista pela Câmara de Recepção, painéis argamassados e rejuntados 65
FIGURA 24 – Parede vista pela Câmara de Recepção, parede com revestimento de lambri 65
FIGURA 25 – Parede vista pela Câmara de Emissão, com janela inserida 66
FIGURA 26 – Parede vista pela Câmara de Recepção, com janela 66
FIGURA 27 – Ensaio da parede simples, com painéis apenas encaixados 68
FIGURA 28 – Ensaio com vedação das juntas pelo lado externo através de fita crepe 69
FIGURA 29 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados 70
FIGURA 30 – Ensaio com painéis argamassados, rejuntados e com revestimento interno de lambris de madeira 71
FIGURA 31 – Ensaio da parede com inserção de janela 72
FIGURA 32 – Gráfico comparativo entre os ensaios E1 a E5 73
FIGURA 33 – Ensaio de parede simples, com painéis somente encaixados 74
FIGURA 34 – Ensaio com painéis vedados com fita crepe 75
FIGURA 35 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados 76
FIGURA 36 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados e revestimento com lambri de pinus 77
FIGURA 37 – Ensaio da parede, com inserção de janela 78
FIGURA 38 – Gráfico comparativo entre os ensaios E6 a E10 79
FIGURA 39 – Gráfico comparativo entre os ensaios E1 e E6 80
FIGURA 40 – Gráfico comparativo entre os ensaios E2 e E7 81
FIGURA 41 – Gráfico comparativo entre os ensaios E3 e E8 82
FIGURA 42 – Gráfico comparativo entre os ensaios E4 e E9 83
FIGURA 43 – Gráfico comparativo entre os ensaios E5 e E10 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade do som em diferentes meios 36
Tabela 2 – Isolamento acústico de paredes diversas 51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Velocidade de Propagação do Som..... 36
Equação 2 – Nível de Pressão Sonora 37
Equação 3 – Tempo de Reverberação 38
Equação 4 – Índice de Redução Sonora 41
Equação 5 – Coeficiente de Transmissão de um elemento 42
Equação 6 – Diferença de Nível 42
Equação 7 – Índice de Redução Sonora 43
Equação 8 – Índice de Transmissão Sonora 43
Equação 9 – Lei da Massa 44
Equação 10 – Perda de Transmissão de campo 44
Equação 11 – Região controlada pela rigidez 45
Equação 12 – Região controlada pela ressonância 48
Equação 13 – Índice de Redução Sonora 49
Equação 14 – Diferença de Nível 58
Equação 15 – Diferença de Nível Normalizada 59

LISTA DE SÍMBOLOS

D	Diferença de Nível [dB]
R	Índice de redução sonora
NPS	Nível de pressão sonora [dB]
S	Área de seção transversal, área de superfície [m^2]
α	Coeficiente de absorção sonora
τ	Coeficiente de transmissão sonora
W	Potência sonora [dB]
ρ	Densidade [Kg/m^3]
P	Pressão sonora [N/m^2]
TR	Tempo de reverberação
m	Massa ou Densidade superficial [Kg/m^2]
f	Freqüência em ciclo por segundo [Hz]
V	Volume [m^3]
c	Velocidade do som [m/s]
C	Coeficiente de amortecimento

SUMÁRIO

RESUMO 5
ABSTRACT 6
LISTA DE FIGURAS 7
LISTA DE TABELAS 9
LISTA DE EQUAÇÕES 10
1 INTRODUÇÃO 16
1.1 Objetivos 17
1.1.1 Objetivo geral 17
1.1.2 Objetivos específicos 17
1.2 Justificativa 18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1 Considerações sobre edificações populares 20
2.1.1 O direito à moradia 20
2.1.2 A habitação popular no Brasil 21
2.1.2.1 Breve histórico 21
2.1.2.2 Atual política habitacional 22
2.1.3 Sistemas construtivos pré-fabricados 23
2.1.4 Sistemas construtivos auto-sustentáveis 23
2.2 Reciclagem de pneus 24
2.2.1 Pneus inservíveis 25
2.2.2 Utilização de pneus na construção civil 26
2.2.3 Utilização de raspas de pneus como agregado em concretos e argamassas 26
2.3 O sistema construtivo em estudo 27
2.3.1 Programa de implantação 27

2.3.2 Componentes do Sistema 30
2.3.3 Processo de montagem das unidades residenciais 32
2.4 Considerações sobre som, ruído e isolamento 34
2.4.1 Som 34
2.4.2 Ruído 35
2.4.3 Propagação do som 35
2.4.4 Velocidade do som 35
2.4.5 Freqüência 36
2.4.6 Nível de pressão sonora (NPS) 37
2.4.7 Reverberação 37
2.4.8 Tempo de reverberação 38
2.4.9 Ruído de fundo 38
2.5 Isolamento acústico 39
2.5.1 Tipos de Isolamento acústico 39
2.5.2 Cálculos com decibel 40
2.5.3 Índice de redução sonora ponderado – **Rw** 40
2.5.4 Isolamento de ruídos aéreos 41
2.5.5 Transmissão sonora 42
2.5.6 Índice de transmissão sonora em paredes simples 42
2.5.7 Índice de redução sonora em parede vibrante 44
2.5.8 Região controlada pela rigidez 44
2.5.9 Região controlada pela ressonância 45
2.5.10 Região controlada pela massa 45
2.5.11 Região controlada pela coincidência 46
2.5.12 Índice de redução sonora – **R** 47
2.6 Isolamento acústico segundo a Norma ISO-140 48
2.6.1 ISO-140 – Parte 3 49
2.7 Isolamento acústico em fechamentos simples 49
2.8 Isolamento acústico em fechamentos leves e duplos 51
2.9 Isolamento acústico com elementos duplos ou mistos 52
3 METODOLOGIA 55
3.1 Características das Câmaras de Transmissão Sonora da UFSM 55

3.2 Descrição dos equipamentos utilizados 56
3.3 Procedimentos gerais observados 57
3.4 Medições em laboratório 58
3.5 Colocação de junta flexível 59
3.6 Sequência e procedimentos de montagem dos painéis 59
4 MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS 62
4.1 Considerações gerais sobre os ensaios realizados 63
4.2 Ensaios com painéis de 30 mm de espessura 67
4.2.1 Ensaio 1 67
4.2.2 Ensaio 2 68
4.2.3 Ensaio 3 69
4.2.4 Ensaio 4 70
4.2.5 Ensaio 5 71
4.2.6 Análise dos resultados dos ensaios E1 a E5 72
4.3 Ensaios com painéis de 50mm de espessura 73
4.3.1 Ensaio 6 74
4.3.2 Ensaio 7 75
4.3.3 Ensaio 8 75
4.3.4 Ensaio 9 76
4.3.5 Ensaio 10 77
4.3.6 Análise dos resultados dos ensaios E6 a E10 78
4.4 Análise comparativo entre os painéis de 30 e 50 mm 80
4.4.1 Comparação entre os resultados dos ensaios E1 (30 mm) e E6 (50 mm) – para parede executada com painéis simplesmente encaixados 80
4.4.2 Comparação entre os resultados dos ensaios E2 (30mm) e E7 (50mm) – parede executada com painéis vedados com fita crepe 81
4.4.3 Comparação entre os resultados dos ensaios E3 (30mm) e E8 (50mm) – parede executada com painéis argamassados e rejuntados 82
4.4.4 Comparação entre os resultados dos ensaios E4 (30mm) e E9 (50mm) – parede executada com painéis argamassados, rejuntados e revestidos com lambri 83
4.4.5 Comparação entre os resultados dos ensaios E5 (30mm e E10 (50mm) – parede executada com painéis argamassados, rejuntados, revestidos com lambri e com inserção de janela de madeira 84

5 CONCLUSÃO 85
5.1 Sugestões para novos trabalhos 86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87

1 INTRODUÇÃO

A carência habitacional crescente no Brasil e praticamente no mundo todo, tem exigido, cada vez mais, a busca de alternativas de novos sistemas construtivos, que permitam construções com maior economia e rapidez na execução, para atender a demanda de programas habitacionais destinados às populações de baixa renda.

Sistemas pré-moldados, onde são utilizados elementos/módulos cada vez maiores e mais leves, produzidos em série, têm sido largamente utilizados. Como em todo processo industrial, busca-se a redução de custos, através da racionalização da mão-de-obra, minimização do desperdício dos materiais componentes, além da reutilização de formas e moldes.

A utilização, cada vez maior de novos sistemas construtivos implica na necessidade da adoção de critérios de monitoramento e avaliação dos materiais componentes, também mais intensa, especialmente com relação a sua adequação ao fim a que se destinam, ou seja, a habitação humana.

Este controle passa pela correta avaliação da qualidade de seus componentes, os quais devem atender níveis mínimos de conforto e habitabilidade para o futuro morador.

A tipificação do item conforto inclui, além de isolamento térmico, salubridade, resistência, entre outra considerações, o conforto acústico da edificação, visto que o bom isolamento sonoro de suas paredes e elementos vedantes é de fundamental importância para o bem estar, sendo responsável direto pela preservação da privacidade e descanso de seus moradores.

O conceito de habitabilidade inclui, além de uma boa edificação (em seu aspecto técnico/construtivo), a sua correta inserção ao meio ambiente ao qual ela faz parte, ou seja, o entorno urbano no sentido mais amplo, determinante para uma boa relação do homem com o meio em que vive.

Esta relação também deve ser tratada e preparada corretamente para complementação do conjunto: edificação x urbanismo.

A poluição do meio ambiente e suas conseqüências têm se tornado tema de discussão obrigatória em congressos e convenções do mundo. E felizmente, cada vez mais, ações são tomadas com vistas a estancar ou minimizar seus efeitos.

Portanto, todos os procedimentos que vierem a ser adotados nessa direção, são válidos e extremamente importantes.

Este trabalho tem o propósito de contribuir com esse processo, através de medições e análise da isolação acústica de um sistema construtivo pré-moldado inovador, dentro da idéia de que é necessário aprimoramento de novas técnicas, procurando buscar e valorizar a relação do homem com o meio ambiente, incluindo a correta utilização de um dos principais lixos atualmente existentes- os pneus inservíveis.

O novo sistema construtivo utiliza raspas destes pneus descartados como elemento básico, além do aproveitamento de mão de obra carcerária para a execução de componentes para as edificações.

Esta técnica vem sendo utilizada há mais de duas décadas, na execução de edificações residenciais uni-familiares, destinadas à população de baixa renda, na cidade de Santa Cruz do Sul, no estado do Rio Grande do Sul.

Por todos os aspectos citados, o presente trabalho constitui-se em mais uma contribuição, na efetiva busca de aperfeiçoamento de novas técnicas construtivas, especificamente no item “isolamento acústico”, bem como valoriza a necessidade, cada vez maior, de reaproveitamento de materiais descartáveis e inservíveis produzidos em abundância pelo inevitável aumento de consumo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Destaca-se como principal objetivo, avaliar o isolamento acústico, devido ao ruído aéreo, em paredes de habitação popular, construídas com sistema composto por painéis pré-moldados executados com raspas de pneus.

1.1.2 Objetivos específicos

– Medir, em laboratório, o isolamento acústico de parede executada com painéis pré-moldados;
– Avaliar a importância da utilização de rejunte de argamassa entre os painéis;
– Verificar a influência da colocação de revestimento em lambri de madeira sobre a

parede;

- Examinar a interferência no isolamento decorrente da inclusão de uma janela na parede ensaiada;
- Quantificar as diferenças nos índices de isolamento entre paredes com painéis da 30 e 50 mm de espessura;
- Sugerir, com relação ao isolamento acústico, ações que visem o aperfeiçoamento do conjunto.

1.2 Justificativa

A revolução no setor dos transportes, causada pela utilização de pneus de borracha trouxe consigo uma discussão sobre o impacto ambiental, uma vez que a maior parte dos pneus descartados no mundo todo, está abandonada em locais inadequados, causando grandes transtornos para a saúde e a qualidade de vidas humanas.

Durante o período sem legislação a respeito, e segundo estimativas conservadoras da ANIP-Associação Nacional da Indústria Pneumática , que é um órgão criado pelos próprios fabricantes de pneus, para definir formas e critérios de reciclagem, o país acumulou mais de 100 milhões de pneus descartados.

Porém, existe uma discrepância entre as estimativas de um órgão pertencente à própria indústria de pneumáticos, como a ANIP, e os cálculos de alguns órgãos de pesquisa, que destacam a produção de 900 milhões de pneus, desde o início de sua fabricação no Brasil, e indicam a presença de, no mínimo, 400 milhões de pneus descartados, ou seja, mais de dois pneus inservíveis por habitante no Brasil.

Encontrar alternativas para a solução, ou ao menos, minimização desse problema é um desafio, e portanto, todas as ações nesse sentido são plenamente válidas.

Entre várias novas técnicas de aproveitamento de pneus, inclusive inteiros, na edificação de muros de contenção, por exemplo, a utilização de suas raspas como componente de concretos e argamassas na área da construção civil, já é uma realidade bastante promissora.

Urge-se pensar sobre o aperfeiçoamento de um sistema construtivo que utiliza as raspas de pneus como elemento básico em sua concepção,

especificamente com relação ao conforto acústico, que se constitui, entre outros, em um item de fundamental importância, na busca do aprimoramento na construção do habitat humano e qualidade do bem-morar, desde as edificações mais simples, até as construções mais sofisticadas.

Considerando-se que uma edificação para atender níveis mínimos de qualidade deve ser o resultado de um somatório de quesitos, tais como, durabilidade, solidez, conforto térmico e acústico, este trabalho se propõe a contribuir com o aperfeiçoamento específico do item isolamento acústico, por meio de medições e análise de resultados em testes de laboratório de uma situação real e em uso corrente.

A preocupação com a poluição do meio ambiente através de resíduos dos mais variados tipos, bem como sua destinação, no presente caso- os pneus inservíveis, também merece atenção, visto que, cada vez mais são necessários projetos e ações que busquem a minimização do problema.

Por ser um tema instigante e atual, além das razões citada acima, justifica-se o tema de estudo proposto e desenvolvido, na tentativa de proporcionar uma contribuição significativa à questão, tanto com relação a aspectos técnicos do sistema construtivo em estudo, como sua relevância na discussão de novos conceitos sobre a relação do homem com o ambiente em que vive.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho refere-se a um sistema construtivo, que utiliza componentes inéditos, ou seja, placas pré-fabricadas confeccionadas a partir da utilização de resíduos de pneus em sua composição. Por tratar-se de um tema bastante recente, e com escassa bibliografia, buscaram-se referências em artigos, teses e dissertações sobre isolamento acústico e sistemas construtivos similares tais como: painéis pré-moldados de concreto e outros materiais agregados.

Os requisitos básicos para elaboração desse trabalho foram buscados nas Normas Brasileiras NBR 10.151/2000 e 10.152/1987, que determinam níveis de ruído para conforto acústico no interior e no exterior das edificações, bem como nas recomendações da ISO-140, que é um conjunto de doze normas técnicas sobre o isolamento acústico das edificações e seus componentes.

2.1 Considerações sobre edificações populares

2.1.1 O direito à moradia

A habitação, juntamente com a alimentação, são necessidades básicas do ser humano. Para cada indivíduo desenvolver sua capacidade e se integrar socialmente, é fundamental que ele possua uma morada. Trata-se de questão relacionada à própria sobrevivência, pois dificilmente se conseguiria viver por muito tempo exposto às intempéries climáticas naturais, sem qualquer abrigo. Muitos fatores são determinantes para a questão habitacional, definindo o mínimo desejável. É certo que as soluções alcançadas na pré-história, já não satisfazem os padrões atuais, bem como a habitação minimamente adequada para as áreas rurais não atende ao modo de vida urbano.

A precariedade da habitação é, lamentavelmente, um dos problemas mais graves na sociedade brasileira. A moradia representa um dos custos mais caros nas sociedades contemporâneas submetidas ao sistema capitalista. Em um país com população predominantemente pobre e com capacidade comprometida para investimentos públicos, a habitação popular usualmente apresenta soluções temerárias, não raro improvisadas, muito ruins do ponto de vista da habitabilidade e

mais especificamente em relação a precariedade nos quesitos de conforto térmico e acústico.

Duarte (2005) em seu trabalho sobre isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da historia, faz uma análise qualitativa dos principais eventos que contribuem para a degradação acústica da residência ao longo do tempo e também uma avaliação quantitativa do nível de isolamento de suas paredes. Conclui que as edificações atuais não possuem qualquer parâmetro de qualidade acústica, havendo uma necessidade de maior conscientização de profissionais sobre a importância do isolamento sonoro nas residências.

2.1.2 A habitação popular no Brasil

2.1.2.1 Breve histórico

Os programas governamentais implementados desde 1930 no âmbito dos Institutos de Previdência, da Fundação da Casa Popular e de instituições locais se mostraram ineficientes para atender à demanda exigida.

Assim, após uma relativa estagnação observada nos anos 50, foi criado, em 1964 o Banco Nacional de Habitação (BNH), o qual rompeu com a paralisia do setor da construção civil, estimulando a construção em massa. A arrecadação de recursos foi garantida por diversos mecanismos governamentais, como o FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço e o SBPE – Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo. Essa expansão das atividades levou à introdução, no mercado, de materiais e componentes industrializados. Este ambiente se verificou durante todo o chamado “milagre econômico brasileiro” (entre os anos de 1967 e 1973) e a crise no setor se estabeleceu somente no começo dos anos 80 já que, a partir de 1974, com a criação das Cooperativas de Habitação – COHAB, se deu um incremento das realizações para a faixa social de baixa renda através da intervenção do Estado, revertendo a hegemonia dos financiamentos às classes médias e média alta observados no período de 1969 a 1976. A partir de 1983, o Sistema Financeiro de Habitação praticamente entrou em colapso à medida que suas bases de sustentação iam sendo minadas pelo desemprego e pela queda do nível de renda no país.

Entre 1985 e 2002 ocorreram mudanças constantes tanto na estrutura institucional da política de habitação e saneamento – quanto nos programas e recursos. A política urbana não mereceu maiores cuidados, ao contrário, ela é objeto de organismos que emergem e desaparecem desde o regime militar, a partir de 1964.

Em verdade a política urbana tem sido, durante esse tempo todo, fortemente influenciada pelos bancos públicos, responsáveis pelos financiamentos à habitação e ao saneamento.

2.1.2.2 Atual política habitacional

Com a criação do Ministério das Cidades, em 1º de janeiro de 2003, através da Medida Provisória nº 103, posteriormente convertida na Lei nº 10.683, em 28.05.03, a Secretaria Nacional da Habitação, instituiu o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social - SNHIS através da Lei Federal nº 11.124 de 16 de junho de 2005. Esta Lei tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para a população de baixa renda, que compõe a quase totalidade do déficit habitacional do País.

Além disso, esse Sistema centralizou todos os programas e projetos destinados à habitação de interesse social, sendo integrado pelos seguintes órgãos e entidades: Ministério das Cidades, Conselho Gestor do Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social, Caixa Econômica Federal, Conselho das Cidades, Conselhos, Órgãos e Instituições da Administração Pública direta e indireta dos Estados, Distrito Federal e Municípios, relacionados às questões urbanas e habitacionais, entidades privadas que desempenham atividades na área habitacional e agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional.
A referida Lei também instituiu o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS, que em 2006 centralizou os recursos orçamentários dos programas de Urbanização de Assentamentos Subnormais e de Habitação de Interesse Social, inseridos no SNHIS.

O Fundo é composto por recursos do Orçamento Geral da União, do Fundo de Apoio ao Desenvolvimento Social – FAS, dotações, recursos de empréstimos externos e internos, contribuições e doações de pessoas físicas ou jurídicas,

entidades e organismos de cooperação nacionais ou internacionais e receitas de operações realizadas com recursos do FNHIS.

Esses recursos têm aplicação definida pela Lei, como, por exemplo, a aquisição, construção, conclusão, melhoria, reforma, locação social e arrendamento de unidades habitacionais, a produção de lotes urbanizados para fins habitacionais, a regularização fundiária e urbanística de áreas de interesse social, ou a implantação de saneamento básico, infra-estrutura e equipamentos urbanos, complementares aos programas de habitação de interesse social.

2.1.3 Sistemas construtivos pré-fabricados

A pré-fabricação tem participado de modo importante e crescente no provimento de moradias em vários países industrializados. Este tem sido um dos principais meios encontrados para atender a grande demanda de casas em ambientes de alto custo de mão de obra.

Um dos aspectos que contribui para o aumento do valor final da obra é o próprio custo da mão de obra. Em geral este custo, nos países industrializados, é maior nas obras do que nas fábricas. Essa diferença se explica pelas melhores condições e pela continuidade de trabalho nas fábricas. Há também mais produtividade no trabalho nas fábricas, quando comparadas com tarefas semelhantes executadas nas obras A essência da pré-fabricação é a produtividade e muitos países reconhecem que a população crescente não pode ser abrigada pelos métodos tradicionais de construção.

Os ganhos de produtividade possíveis através da pré-fabricação, resultam de condições de trabalho abrigado, organização e mecanização. Trazendo-se o homem, materiais e instruções para a fábrica, oportuniza-se que, por si próprio, ele dobre a produtividade se comparada com o trabalho na obra.

2.1.4 Sistemas construtivos auto-sustentáveis

Pesquisas para reurbanizar cidades em busca da chamada sustentabilidade e do conforto ambiental das unidades construídas estão, aos poucos, aumentando no Brasil.

Grupos de trabalho atuando em temas como conforto ambiental, avaliação

pós-construção e desenvolvimento sustentável entre outros mostram as linhas de pesquisa que as faculdades de engenharia vêm estimulando por meio da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Antac, criada em 1987.

A Antac é uma entidade que reúne professores e pesquisadores de universidades de todo o país, das áreas de engenharia civil e arquitetura e tem por objetivo integrar a comunidade acadêmica envolvida na transformação do ambiente construído em algo confortável e econômico não só do ponto de vista do custo do material, mas também no consumo de energia depois de pronto (ANTAC, 2008).

2.2 Reciclagem de pneus

Segundo o artigo Panorama da Indústria de Pneus no Brasil, elaborado pelo Departamento de Indústria Pesada da Área Industrial do Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES (2007), indústria de pneus no país é concentrada em grandes empresas transnacionais, sendo elas: Goodyear, Pirelli, Bridgestone Firestone, Michelin e Continental. Juntas, as fabricantes possuem 12 plantas no país, a maioria no Estado de São Paulo. Os números da produção e das vendas vêm crescendo ao longo dos últimos anos. Em 2005, foram produzidos cerca de 53 milhões de pneus, com volume de vendas internas de cerca de 38 milhões de unidades, incluídas as importações diretas, e exportações da ordem de 18 milhões de unidades.

Segundo o mesmo artigo, pneus são resíduos de difícil eliminação. Não são biodegradáveis e seu volume torna o transporte e o armazenamento complicados. Apesar de não serem considerados perigosos, sua queima libera substâncias tóxicas e cancerígenas, como dioxinas e furanos. Quando jogados em rios e arroios e até nas cidades, os pneus obstruem a passagem da água e podem causar alagamentos e transtornos à população. Além disso, servem como criatório para mosquitos transmissores de doenças tropicais. As milhares de carcaças abandonadas no Brasil são uma das principais causas da proliferação da dengue.

Em vista disso, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução de número 258 de 26 de agosto de 1999 (BRASIL, 2008 a), alterada pela Resolução nº 301/02, de 21 de março de 2002 (BRASIL 2008 b), estipulou que as empresas fabricantes e os importadores de pneus sejam obrigados a coletar e

dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção estipulada em cronograma próprio já definido em função das quantidades fabricadas ou importadas.

Apesar desta resolução que determinou reciclagem progressiva até 2005, ainda não há uma real mobilização neste sentido. Verificou-se que a destinação dada aos resíduos provenientes da manufatura da borracha, em sua maioria, ainda é os lixões. Esta destinação, além de poluir o meio ambiente, serve como criadouro de insetos transmissores de doenças.

A reutilização dada aos pneus usados, apesar de vir aumentando, ainda é muito pequena. Mesmo que a sociedade de modo geral possa estar bem informada e preocupada com as questões ambientais, motivadas pela preocupação com a degradação da natureza, não existe uma movimentação ou um engajamento coletivo de mudanças. Na verdade, a estagnação é geral, tanto das empresas, quanto do governo e conseqüentemente da população.

2.2.1 Pneus inservíveis

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP, o Brasil produziu 41,3 milhões de pneus por ano. A produção por categorias é assim distribuída: caminhões/ônibus 4,65 milhões, camionetas 3,52 milhões, automóveis 26,2 milhões, motos 3,6 milhões e outros 3,33 milhões. Estima-se que a frota nacional de veículos automotores produza mais de 30 milhões de pneus inservíveis por ano. Quando abandonados em locais inadequados, os pneus servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças e representam um risco constante de incêndio, que contamina o ar com uma fumaça altamente tóxica e deixa um óleo que se infiltra e contamina o lençol freático.

Muitos são os destinos possíveis para os pneus inservíveis, mas o mais comum é serem depositados em aterros sanitários ou estocados em terreno baldio a céu aberto. Estes dois tipos de armazenamento constituem-se nos menos corretos do ponto de vista ambiental.

Uma vez coletados, adequadamente, esses pneus inservíveis, podem ainda ser tratados como por exemplo:

- Empilhados para futura utilização;
- Moídos para redução de volume antes de serem encaminhados aos aterros sanitários;

– Queimados para aproveitamento energético;
– Em pirólise para recuperação de óleos, gases voláteis e carbono;
– Uma grande variedade de usos envolvendo, inclusive, o pneu inteiro;
– Moído e utilizado na fabricação dos mais variados tipos de artefatos.

Esta última destinação permite um sem número de aplicações na indústria e construção de uma forma geral, na indústria naval, esportiva, etc.

Devido às características físicas de um pneu usado (forma, elasticidade, peso, etc.), ele pode ser usado em aplicações diferentes da qual foi concebido originalmente sem qualquer tratamento prévio, inclusive pneus inservíveis inteiros podem ser aproveitados em obras de engenharia (KAMIMURA, 2002).

Podemos considerar que o destino mais adequado em termos ecológicos e ambientalmente correto é aquele que possa gerar um produto comercializável e útil para a sociedade.

Kamimura (2002) identificou vários grupos de pesquisa em universidades e centros de pesquisa brasileiros tratando sobre o aproveitamento de pneus inservíveis, constatando a existência de várias linhas de pesquisa, tais como: incorporação de borracha em compósitos de cimento, incorporação em asfalto, geotecnia, pirólise e combustão de pneus inservíveis.

Existem, ainda, vários estudos em andamento na área da construção civil.

2.2.2 Utilização de pneus na construção civil

Conforme Kamimura (2002) a indústria da construção civil é um mercado em potencial para absorver uma parcela dos pneus inservíveis gerados anualmente, devido a grande quantidade e diversidade de materiais que consome. Inteiros ou triturados, em substituição aos materiais de construção convencionais e, em pó ou em raspas, usados na composição de misturas asfálticas, de concretos e argamassas. A construção civil pode, portanto, contribuir de maneira significativa na diminuição do passivo ambiental, através da utilização dos resíduos, tanto na implantação de conjuntos habitacionais, como na pavimentação de rodovias.

2.2.3 Utilização de raspas de pneus como agregado em concretos e argamassas

Nos últimos anos, diversos estudos e ensaios têm demonstrado a eficácia da

utilização de raspas de pneus como agregado na composição de concretos e argamassas.

Silva, Silva e Dias (2007), através de ensaios comparativos de resistência à compressão em corpos-de-prova de concreto convencional e concreto com adição de 5% de raspas de pneus, concluíram que, embora a perda de aproximadamente 25% da resistência do concreto com adição das raspas, houve uma melhora em sua ductilidade, sugerindo continuidade de estudos para avaliar outras possíveis vantagens.

Mesma constatação obteve Santos (2005), ao comprovar que, com adição de fibras de borracha à massa de concreto, muito embora haja uma diminuição da resistência do concreto à compressão, ocorre um aumento da tenacidade e da resistência ao impacto.

Segre (1999) realizou estudos de tratamento prévio (lavagem) dos resíduos de borracha com produtos químicos, testando adesão das partículas com a matriz de cimento, permeabilidade, resistência, concluindo com a ampla possibilidade de utilização do produto na construção civil.

Macedo e Tubino (2005) observaram melhora de isolamento acústico em corpos-de-prova à medida que foram aumentados o teor de borracha na mistura. Segundo o estudo, foram analisados, quanto à isolação e os níveis de pressão sonora, quatro corpos-de-prova, com diferentes percentuais, ou seja, 5%, 10% e 15% de teor de borracha na matriz cimentícia, constatando-se que à medida que o teor de borracha foi aumentado, houve acréscimo do índice de redução sonora, nas freqüências inferiores a 150 Hz e superior a 1250 Hz. Sendo que, nas freqüências graves (125Hz a 250Hz) e médias (500Hz a 1000Hz), o isolamento acústico da referência e com teor de 15% de borracha, apresentaram valores muito próximos

A utilização da fibra de borracha junto às matrizes cimentícias, apresenta um futuro promissor, na área da construção civil, como indicam os estudos que têm sido realizados para avaliação da resistência e de outras propriedades de componentes confeccionados com adição de raspas de pneus, inclusive com relação a traço adequado da mistura, granulometria das raspas, etc.

2.3 O sistema construtivo em estudo

2.3.1 Programa de implantação

O projeto foi iniciado a partir de pesquisas do engenheiro civil Leandro

Agostinho Kroth, na década de 1980, junto à Secretaria Municipal da Habitação, Conservação e Segurança (SMHCS) da cidade de Santa Cruz do Sul/RS (KROTH, 2003). Visava desenvolver um sistema construtivo inovador, que fosse barato, de execução rápida e fácil e, principalmente, que utilizasse os pneus usados e descartados, dando um destino adequado para um material poluente, que leva centenas de anos para se decompor na natureza.

Além disso, o emprego de mão de obra carcerária trouxe significativa e intensa atividade de inclusão social, tendo, o projeto, alcançado reconhecimento mundial, através do “Prêmio Mundial Energia Global para Sustentabilidade”, em Nagoya, Japão, em abril de 2005.

Desde que o projeto foi implantado, em 1988, foram executadas 210 casas, com áreas de 40,00 e 60,00 m^2. Inicialmente os recursos eram da própria Prefeitura Municipal e, posteriormente, através de um convênio com a Caixa Econômica Federal houve a possibilidade de financiamento do material utilizado na confecção da moradia.

A Caixa Econômica Federal abriu a possibilidade de subsidiar a mão-de-obra e o terreno, além de autorizar liberação do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço), desde que houvesse um sério estudo da performance do material e do sistema construtivo.

As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os conjuntos residenciais construídos em Santa Cruz do Sul/RS, quais sejam, respectivamente: Bairro Residencial Mãe de Deus, Bairro Glória, Bairro Ohland e Bairro Aliança.

Na figura 1, observa-se a unidade básica, inicialmente adotada, com área construída de 40,00 m^2, as quais são compostas de sala de estar, cozinha, dois dormitórios e área de serviço coberta, com piso cimentado, forro de madeira (lambris de pinus), esquadrias de ferro e metalon e telhado em chapas onduladas de cimento amianto.

FONTE: Benoine Poll, 2006.

FIGURA 1 – Bairro Residencial Mãe de Deus.

Na figura 2, vemos uma unidade com acréscimo frontal de uma varanda, e com revestimento interno de lambri de madeira. Estes acréscimos funcionais e estéticos foram adotados e executados pelos próprios moradores em muitas residências.

FONTE: Benoine Poll, 2006.

FIGURA 2 – Bairro Gloria.

Nas figuras 3 e 4, as unidades com área construída de 60,00 m^2, dotadas de área frontal de proteção, já em seu projeto original, atendendo o desejo dos moradores, que já vinham adotando esta solução, nas residências de 40,00 m^2.

FONTE: Benoine Poll, 2006.

FIGURA 3 – Bairro Ohland.

FONTE: Benoine Poll, 2006.

FIGURA 4 – Bairro Aliança.

2.3.2 Componentes do Sistema

O sistema construtivo é bastante simples e apresenta semelhanças com o concreto celular e com a argamassa armada, bastante utilizada na construção de edificações. A mistura (contendo as raspas de pneus) é usada para moldar, em formas metálicas, as placas utilizadas na execução das paredes, através da montagem de módulos compostos de cinco peças empilhadas entre duas colunas de concreto armado, em forma de “T”, também pré-moldadas, sendo o conjunto arrematado, pelo lado interno, através de uma guia de madeira parafusada. Os

elementos são os seguintes:

- Placas pré-moldadas- com 90,6 cm de largura, 53,59 cm de altura e 3,33 cm de espessura, compostas de raspas de pneus usados, triturados, com adição de cimento, areia e água. As formas metálicas são tratadas com desmoldante em óleo queimado. As placas são executadas por presos em regime semi-aberto, com recebimento de um salário mínimo/mês e redução de pena de 01 dia para cada 03 dias trabalhados;
- Pilares – compostos de concreto armado pré-moldado, em formas metálicas, apresentando dimensões de 12 cm x 12 cm e comprimento de 270 cm, com quatro tipos de seções. A mão de obra é a mesma dos painéis;
- Guias de madeira: Constituídas de tábuas de pinus de 15 cm, para travamento das placas, pelo lado interno, e cintamento superior para amarração do conjunto e fixação das tesouras do telhado;
- Telhado: Utilizam-se telhas de cimento amianto sobre tesouras de madeira aplainada;
- Fundações: São constituídas de alicerce corrido de tijolos maciços para nivelamento, sob vigas baldrame em concreto armado, executadas com formas metálicas.

A Figura 5 demonstra o detalhamento do sistema de montagem e da fixação dos elementos construtivos.

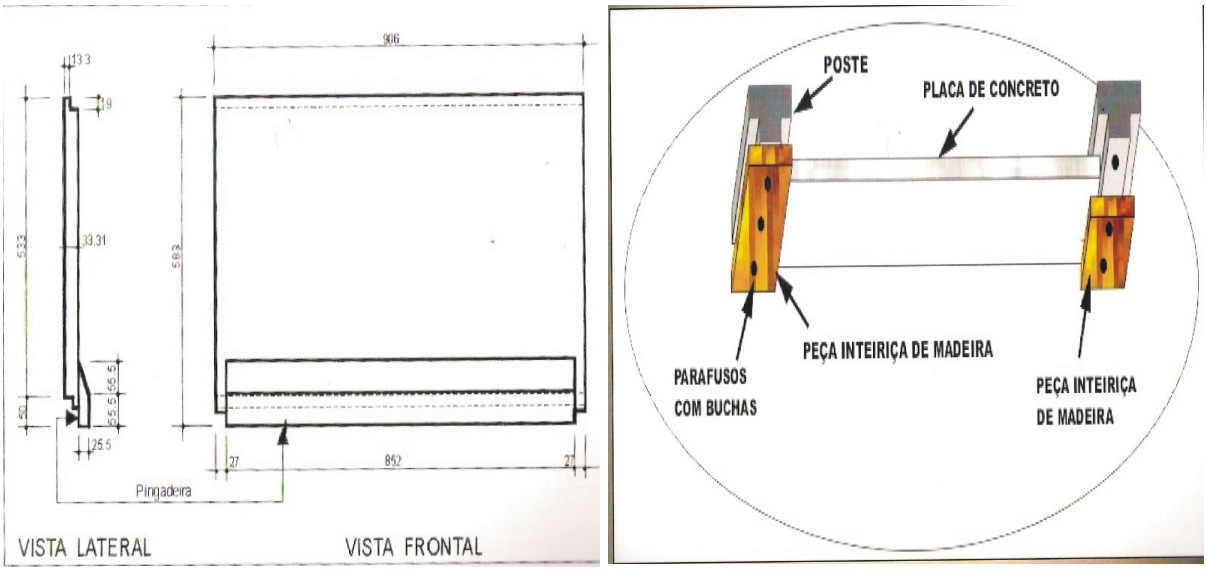


FIGURA 5 – Detalhe do Painel pré-moldado e sistema de fixação.

2.3.3 Processo de montagem das unidades residenciais

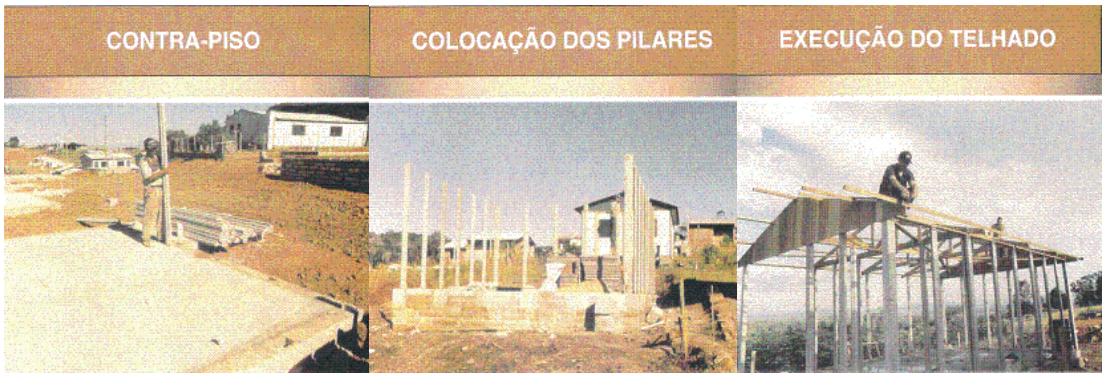
O processo de montagem de cada unidade residencial, desde as fundações, até a obra concluída, obedece a um cronograma com etapas bem definidas, conforme mostram as figuras 6 até 9.

A figura 6 identifica a sequência da execução do alicerce, desde a escavação e nivelamento, até a montagem da viga de baldrame.

FONTE: KROTH, 2003.

FIGURA 6 – Alicerce nivelado e vigas de baldrame em concreto.

A figura 7 mostra a colocação das colunas de concreto nos encaixes deixados previamente nas vigas de baldrame, e o posterior travamento superior das mesmas, com guia de madeira, já constituindo o madeiramento de fixação do telhado.



FONTE: KROTH, 2003.

FIGURA 7 – Colocação das colunas e execução do contrapiso e do madeiramento da cobertura.

Na sequência, como mostra a figura 8, são encaixadas os painéis de fechamento, simplesmente encaixados, travados também, através da utilização de

guias de madeira (pinus).

A figura 8 apresenta, ainda, o detalhe das janelas empregadas na edificação

FONTE: KROTH, 2003.

FIGURA 8 – Montagem dos painéis e detalhe da janela.

A figura 9 mostra a colocação do telhado e a complementação fina da obra, ou fechamento total dos painéis.

FONTE: KROTH, 2003.

FIGURA 9 – Conclusão da cobertura e fechamento final dos painéis.

Durante os primeiros anos de ocupação, as casas não passaram por nenhuma avaliação, tanto em relação aos aspectos técnicos executivos quanto ao "conforto ambiental". A Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (Cientec) realizou, em 1999 e 2000, testes na fixação das placas nos pilares sob a aplicação de impactos, bem como de estanqueidade à chuva.

Posteriormente, durante o período de 2004 a 2007, a Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC, através dos Departamentos de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, com recursos do FINEP e Prefeitura Municipal de Santa Cruz do

Sul, criou um Grupo de Trabalho multi-disciplinar (Protocolo no. 0611/2004), com a parceria da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, onde foram realizados um conjunto de testes físico-químicos e estruturais, visando à melhoria do projeto, incluindo o presente estudo com relação ao conforto acústico.

Este projeto, denominado "Aprimoramento tecnológico de habitações populares construídas com materiais alternativos", teve como objetivo o desenvolvimento e aprimoramento do sistema construtivo, como um todo, através de análises e medições de seus componentes no pós-habitação, tais como:

- Ensaios de caracterização física e mecânica dos materiais utilizados na construção da estrutura e painéis das paredes;
- Ensaios de estanqüeidade do sistema construtivo;
- Medições para verificar o conforto térmico das edificações;
- Análise do custo das edificações.

O Projeto realizou ainda, uma série de medições e ensaios, tais como:

- Medição do percentual de resíduo de borracha no composto dos painéis;
- Medição do percentual de umidade da areia;
- Ensaios de massa unitária da areia e da borracha;
- Ensaio de granulometria da areia e da borracha;
- Estudo para adequação dos traços da massa (percentuais de cada agregado);
- Moldagem de corpos de provas e realização de testes de resistência (compressão e de impacto);
- Análise química do resíduo da borracha.

Dentre as análises realizadas estão as decorrentes do presente trabalho, que contemplam o isolamento acústico de paredes construídas com placas de diferentes espessuras e com introdução de uma janela.

2.4 Considerações sobre som, ruído e isolamento

2.4.1 Som

Segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), "som é toda e qualquer vibração ou

onda mecânica que se propaga através de um meio elástico produzindo no homem a sensação de ouvir".

Entretanto, tais vibrações somente se tornam auditivamente perceptíveis caso estejam dentro da faixa de freqüência captável pelo ouvido humano, a qual varia desde 20 a 20.000 Hz. Além disso, é necessário que haja também certa variação de pressão para ocorrer a percepção do som. Dessa forma, percebe-se o som quando as variações de pressão e a freqüência de propagação estiverem dentro dos limites compatíveis com a fisiologia do ouvido.

2.4.2 Ruído

O Ruído é, por definição, qualquer som indesejável, desagradável ou perturbador. Varia na sua composição em termos de frequência, intensidade e duração. Pode-se dizer, ainda, que ruído é um som desorganizado, constituído de um conjunto de vibrações de freqüências diversas, não harmônicas e irregulares.

O ruído é um dos principais causadores da redução da qualidade de vida nas cidades, sendo que as principais fontes de ruído no ambiente urbano são, o tráfego, obras da construção civil, atividades industriais e comerciais, ruídos da vizinhança e atividades temporárias, tais como: competições esportivas, espetáculos, festas, etc..

2.4.3 Propagação do som

Conforme Gerges (1992), o som se propaga por via aérea (quando o meio de propagação é o ar) e/ou por via estrutural (quando o meio de propagação é algum tipo de corpo sólido).

Pode-se reduzir esta transmisão conhecendo-se a natureza do som, sua forma de transmissão e a performance dos materiais a serem empregados.

Quando a propagação sonora ocorre no ar, as ondas são apenas do tipo longitudinal, indicando que a vibração das partículas ocorrem na mesma direção da propagação da onda. Já na transmisão através do meio sólido, podem ser encontradas, também, ondas de cisalhamento, torção e de flexão.

2.4.4 Velocidade do som

De acordo com Gerges (1992) a velocidade de propagação do som em um

determinado meio depende das características do meio de propagação, tais como temperatura e umidade relativa.

No ar, por exemplo, onde as ondas são apenas longitudinais, a velocidade de propagação do som (C) pode ser calculada a partir de uma expressão matemática bastante simples, em função da temperatura ambiente (t) em ºC, como mostra a Equação 1.

$$C = 331 + 0{,}6.t \ (m/s) \qquad \text{Equação 1}$$

A velocidade mede o espaço percorrido em determinado tempo. Independe da freqüência e da amplitude da onda, mas depende das características do meio em que se propaga: pressão, umidade, temperatura e do próprio meio (materiais diferentes), com mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Velocidade do som em diferentes meios.

Material	Velocidade do som (m/s)
Ferro comum	5000
Alumínio comum	5100
Tijolo	3650
Madeira pesada	4670
Vidro comum	5000
Concreto	3231
Água	1460
Cortiça	500
Ar	343
Borracha	30-70

FONTE: Curso Interativo de Física (Disponível em: <br.geocities.com/resumodefisica/acustica/Açu 04.htm>. Acesso em: 05 mai. 2009- montada pelo autor

2.4.5 Freqüência

O número de oscilações ou ciclos completos que um fenômeno realiza com periodicidade temporal de um segundo é denominado frequência, tendo por unidade de medida o Hertz (Hz). Se as oscilações sonoras tiverem magnitude compreendida entre 20 Hz e 20.000 Hz, serão interpretadas pela região cortical do cérebro como

sons audíveis (GERGES, 1992).

Chamam-se infrassons os sinais de frequência menores que 20 Hz e ultrassons os sinais de frequência maiores que 20.000 Hz, ambos sinais inaudíveis.

2.4.6 Nível de pressão sonora (NPS)

A faixa de audibilidade com que o ouvido humano percebe os sons varia de 0,00002 N/m^2, a qual é a mínima pressão perceptível à freqüência de 1.000 Hz, até valores bastante elevados que podem chegar a 200 N/m^2, valor esse considerado como limiar da dor.

O NPS é representado pela Equação 02:

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:

P: pressão sonora em N/m^2 do som o qual se quer determinar o nível

P_{ref}: nível de referência - limiar da audição em 1.000 Hz = 2×10^{-5} N/m^2

2.4.7 Reverberação

Quando, num recinto fechado, é acionada uma fonte sonora, as primeiras ondas geradas propagam-se até as paredes, sendo então refletidas. Percorrem um caminho em ziguezague por todas as direções. Nesse intervalo de tempo, a fonte emite novas ondas que se combinam com as anteriores. As vibrações sonoras aumentam, portanto, progressivamente de intensidade até alcançar um valor estacionário. A reverberação ocorre quando a diferença entre os instantes de recebimento dos dois sons é inferior a 0,1 s. Não se percebe um novo som, mas há uma continuação do som inicial. A reverberação pode ajudar a compreender o que é dito por um orador num auditório, no entanto, o excesso de reverberação pode atrapalhar o entendimento.

Em ambientes fechados, existem dois campos sonoros: o campo da fonte e o refletido.

Chegando juntos, reforçam o som, chegando separados, em pequeno intervalo, atrapalham o entendimento, caracterizando a reverberação.

2.4.8 Tempo de reverberação

O Tempo de Reverberação é definido como o intervalo de tempo, em segundos, que o nível de pressão sonora leva para decair 60 decibéis (dB) a partir da interrupção da fonte de emissão.

Podem-se predizer valores de tempo de reverberação de equações matemáticas e de medições com instrumentação adequada. A equação mais difundida para o cálculo do tempo de reverberação surgiu no final do século XIX. O professor de física de Harvard Wallace Clement Sabine estudou os critérios para estabelecer condições acústicas satisfatórias e desenvolveu a primeira fórmula para o cálculo do tempo de reverberação, a qual recebeu seu sobrenome. A fórmula de Sabine é dada pela Equação 3.

$$TR = \frac{0{,}161 \cdot V}{\Sigma S \cdot \alpha} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

TR =Tempo de Reverberação

V = volume do ambiente em m^3

S = área das superfícies (m^2)

α = coeficiente de absorção dos materiais

0,161 é uma contante de ajuste

Apesar da fórmula ser um tanto simples, um local pode ter vários tipos diferentes de materiais, cada um com uma absorção diferente. Assim, para se calcular, devem ser considerados os diversos materiais que se encontram no local.

2.4.9 Ruído de fundo

Ruído de fundo é o conjunto de sons e ruídos emitidos durante o período de observação, mas que não se constitui no objeto da medição.

O ruído de fundo na câmara de recepção de laboratórios é medido de acordo com o estabelecido por normas técnicas específicas.

2.5 Isolamento acústico

Certos materiais tem a capacidade de formar uma barreira, impedindo que a onda sonora (ou ruído) passe de um recinto a outro. Em grande parte dos casos deseja-se impedir que o ruído alcance o homem.

Quando a onda sonora atinge uma parede, a energia é meramente transferida de um lado da divisão para o outro por movimento direto do obstáculo. Quanto mais pesado for este último, menos som passará através dele.

Quando se planeja o isolamento acústico de um ambiente, deve ser considerado, além do espectro do ruído, as características físicas dos materiais a sem empregados, com relação a rigidez, massa específica, espessura, etc.

Também deve ser considerada a significativa importância de evitar-se vazamentos e fendas nos obstáculos separatórios, buscando torná-los completamente impermeáveis ao ar.

Portanto, não adianta separar com uma parede muito isolante duas salas contíguas, se o ruído pode ser transmitido por outros caminhos (pela estrutura, por exemplo, ou entrando e saindo por janelas abertas); materiais com muitos poros (concreto celular, tijolos vazados) transmitem muito mais do que um material maciço do mesmo peso; uma porta ou uma janela com diferente índice de enfraquecimento do resto da parede abaixam sensivelmente o isolamento global; forros falsos, leves, apoiados em paredes que não continuam até o teto ocasionam canais apropriados para a condução dos ruídos indesejados.

2.5.1 Tipos de Isolamento acústico

A maior parte das fontes sonoras nas habitações produz concomitantemente ruídos aéreos e ruídos transmitidos por vibrações nos sólidos. Assim, de acordo com a forma com que as ondas sonoras são geradas e propagadas, consideram-se dois tipos de isolamento acústico (MÉNDEZ et al., 1994):

- Isolamento acústico a ruídos aéreos: nesse caso a fonte geradora do ruído emite um movimento vibratório de compressões e rarefações nas moléculas do ar, pondo em vibração as partições e/ou elementos construtivos.
- Isolamento acústico a ruído de impacto: quando a fonte geradora de ruído é uma vibração, contínua ou percussiva, a qual é gerada diretamente sobre a estrutura, transmitindo-se por via sólida (tal como acontece nos pilares, vigas, lajes, paredes e outros elementos construtivos da habitação).

2.5.2 Cálculos com decibel

Quando é feito contas com decibéis, a duplicação de um ruído resulta num aumento do nível sonoro de 3 dB. Para se aumentar o nível sonoro em 10 dB, é necessário aumentar 10 vezes as fontes sonoras. O ouvido humano também não reage linearmente ao nível sonoro.

Segundo Gerges (2000), um valor de divisão adequado a esta escala é *log*10, também chamado Bel. No entanto, o Bel é um valor de divisão de escala muito grande e usa-se então o decibel (dB) que é um décimo do Bel.

1 Bel = 10 decibéis

Por exemplo:

$10 \log 10^{14} = 140$ decibéis

Logo, uma mudança de 3 dB corresponde a $10^{0,3} = 2$, ou seja, dobrando-se a intensidade sonora resulta em um acréscimo de 3 dB.

2.5.3 Índice de redução sonora ponderado – **Rw**

O desempenho acústico de um elemento divisório (parede, painel, etc.) é medido através de um índice de redução sonora chamado Rw, expresso em dB, e medido em laboratório com um ruído "rosa" (que reproduz os ruídos interiores: voz, televisão, sistemas de alta fidelidade, entre outros).

O índice de redução ponderado Rw é calculado com base na comparação entre os valores R medidos (16 valores para 16 intervalos de 1/3 oitava, de 100 Hz a 3150 Hz) e uma curva de referência. Para facilitar a avaliação desses índices de isolação e suas comparações, desenvolveram-se procedimentos normalizados, demonstrados na norma ISO 717 (Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation). A ISO 717 leva a obtenção de um número único, denominado INDEX, que expressa, de maneira simplificada, o resultado obtido em bandas de freqüências. Esse número é determinado através da comparação da curva do espectro de freqüências do material avaliado, a uma curva padrão.

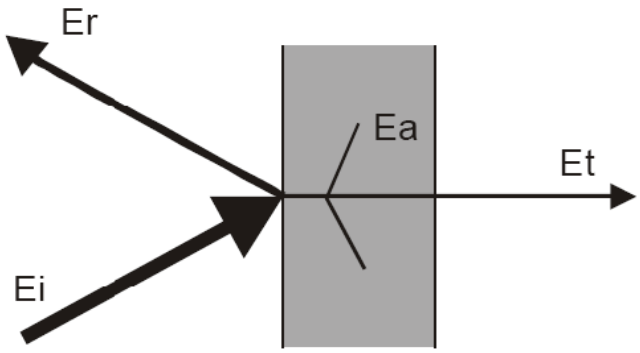
A comparação é efetuada plotando-se a curva de referência obtida, através

da medição de 1 em 1 dB, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não ultrapasse 32 dB, para medições em bandas de 1/3 de oitava, e 10 dB, para medições em bandas de oitava. O valor do número único, INDEX, é o valor da curva de referência na freqüência de 500 Hz, após a realização dos procedimentos acima descritos.

2.5.4 Isolamento de ruídos aéreos

O fenômeno da transmissão de ruído aéreo, conforme a figura 10, foi descrito por Méndez (1994) da seguinte forma:

> [...] quando uma onda sonora de energia **E**i incide sobre uma superfície, divide-se em duas, uma energia refletida **E**r e uma absorvia **E**a. Esta última, por sua vez, se decompõe em energia dissipada no interior do fechamento **E**d e uma energia transmitida **E**t.



FONTE: MÉNDEZ, 1994.

FIGURA 10 – Reflexão, absorção e transmissão do som.

O isolamento a ruído aéreo é função do coeficiente de transmissão dos elementos construtivos que delimitam um ambiente. Em outras palavras, o coeficiente de transmissão de um elemento é a relação entre a energia sonora transmitida E_t e a energia sonora incidente E_i.

$$\tau = \frac{E_t}{Ei} \qquad \text{Equação 4}$$

Para se obter o isolamento acústico entre recintos ou a diferença de nível (D), mede-se o NPS na sala de emissão (*NPS1)* e na sala de recepção (*NPS2)*.

$$D = NPS_1 - NPS_2 \qquad \text{Equação 5}$$

Para avaliação do desempenho acústico de dispositivos de fechamentos, como divisórias, paredes, janelas e, inclusive fachadas, examina-se o valor chamado perda de transmissão (PT) ou índice de redução sonora (R), definido pela equação 6, onde S é a superfície da parede (m^2) e *A* é a absorção equivalente do local receptor (m^2):

$$R = D + 10\log\frac{S}{A} \qquad \text{Equação 6}$$

O valor de perda de transmissão em fechamentos homogêneos depende, principalmente, da massa superficial e da freqüência incidente sobre ele.

2.5.5 Transmissão sonora

A transmissão da energia sonora que ocorre entre dois ambientes se dá das seguintes formas: através do ar, pelas aberturas como portas, janelas, etc; pela estrutura que separa os dois ambientes, através de vibrações nessa estrutura que são transmitidas de um ambiente para outro; e por meio da transmissão por flancos ou transmissão marginal, através das superfícies limítrofes da estrutura como lajes, pilares, etc.

Através de uma parede não porosa como o vidro, a transmissão de um som aéreo depende então, essencialmente, da massa e de sua rigidez, ou seja, de sua espessura, e da sua forma de fixação rígida ou flexível.

Quanto mais espessa e pesada, e quanto mais separada estiver, menos entrará em vibração e mais isolante será.

2.5.6 Índice de transmissão sonora em paredes simples

Costa (2003) destaca que no fenômeno de transmissão do som, em paredes simples, para aplicações práticas simplificadas, pode ser considerada apenas a parcela da irradiação por vibração da parede, porque ela é muito superior a outras formas de transmissão.

Sendo assim, considerando onda plana longitudinal, propagando-se unidirecionalmente, com incidência normal a uma parede de massa m (kg/m^2), sem vibração, admitindo sem dissipação de energia no ar que circunda a parede nem na própria parede conforme Equação 7.

$$R = 20\log\frac{\pi}{\rho_1 c_1} + 20\log(mf)(dB) \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:

ρ_1 = densidade do meio 1 (ar)

c_1 = velocidade do som no meio 1(ar)

m = massa

f = frequência

π = 3,1416

Em condições normais, para o ar, pode-se fazer $\rho 1 c1$ = 412,8, chegando-se a chamada Lei da Massa, apresentada na Equação 8.

$$R = 20\log(mf) - 42{,}4(dB) \qquad \text{Equação 8}$$

Onde:

m: massa superficial do painel (Kg/m^2)

f: frequência da onda incidente (Hz)

Costa (2003) explica que, como a incidência da onda sonora ocorre em todos os ângulos possíveis, conclui-se através da prática de que o valor da equação anterior fica reduzido em aproximadamente 5 dB. Logo a equação 9 assume um valor mais aproximado com a realidade, demonstrada pela equação 9, que identifica a Lei da Massa de Campo.

O valor considerado em medições laboratoriais ou mesmo em situações reais é a chamada Perda de Transmissão de Campo, que considera somente os ângulos com incidência de 0º a 78º (GERGES, 1992).

$$R = 20\log(mf) - 47{,}4(dB)$$ Equação 9

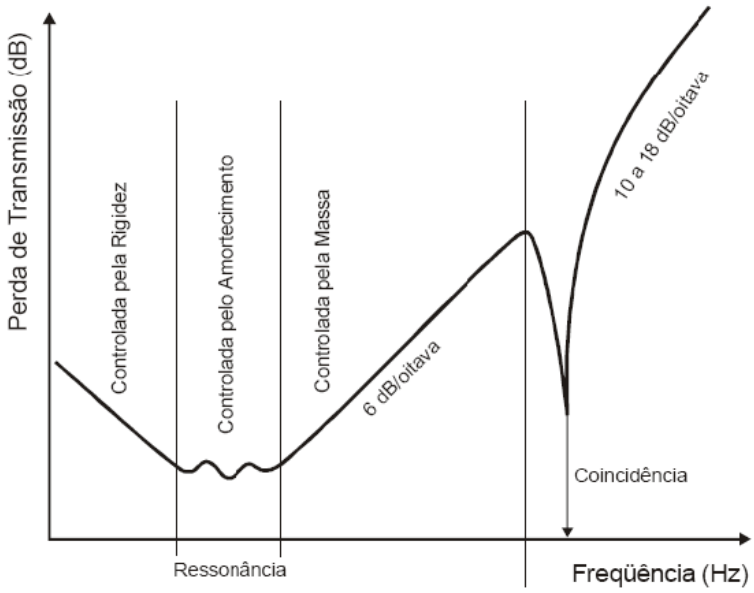
Onde:

m: massa superficial do painel (Kg/m^2)

f: freqüência da onda incidente (Hz)

2.5.7 Índice de redução sonora em parede vibrante

As paredes sobre excitação acústica, podem entrar em vibração, nas freqüências ditas de ressonância, apresentando uma rigidez *k* limitada. O comportamento da isolação de uma parede, de acordo com a teoria clássica, definida para placas finas, é mostrado na figura 11, onde se pode observar quatro regiões distintas e bem definidas.



FONTE: GERGES, 1992.

FIGURA 11 – Curva típica de Índice de Redução Sonoro para paredes simples.

2.5.8 Região controlada pela rigidez

Ocorre em freqüências muito baixas e nela o isolamento depende principalmente da rigidez da parede. Costa (2003) afirma que, nas freqüências inferiores à mínima de ressonância, o Índice de Redução Sonora vai depender somente da rigidez da parede (*k*), e pode ser obtido pela equação 10.

$$R = 20\log\frac{k}{f} - 74{,}2$$ Equação 10

O Índice de Redução Sonora (R) aumenta 6 dB cada vez que se duplica a rigidez da parede e diminui 6 dB cada vez que se duplica a freqüência.

2.5.9 Região controlada pela ressonância

Região onde o sistema apresenta suas primeiras freqüências de ressonância, produzindo-se quedas e picos de isolamento. Estas ressonâncias dependem das dimensões, da rigidez e da massa da parede. Ainda segundo Costa (2003), quando a parede entra em vibração na sua freqüência natural, a transmissão sonora aumenta, com isso, o Índice de Redução Sonora (R) diminui, passando a ser dado pela equação 11.

$$R = 20\log\left(1 + \frac{C}{2\rho c}\right) \qquad \text{Equação 11}$$

Onde:
C caracteriza o amortecimento, ou seja, para um amortecimento grande, o Índice de Redução Sonora (R) é elevado e vice-versa.

2.5.10 Região controlada pela massa

Para se garantir um bom isolamento ao ruído, é necessário usar componentes de alta densidade superficial. Ao mesmo tempo identifica-se que altas freqüências são mais fáceis de serem isoladas que as baixas, pois, quanto maior a massa do fechamento e maior a freqüência incidente, maior será a dificuldade para fazer o material vibrar, garantindo assim, um isolamento mais eficiente.

A região controlada pela massa é muito importante para a maioria dos casos em acústica de edificações, visto que, para uma parede proporcionar maior isolamento sonoro é necessário que ela seja composta por materiais de alta densidade e/ou espessuras significativas, tais como: tijolos maciços, concreto, pedras e materiais metálicos como o chumbo.

Por essa razão, a expressão que descreve a perda de transmissão nessa região é conhecida como “Lei da Massa”.

A lei da massa indica que o isolamento aumenta em aproximadamente 6dB

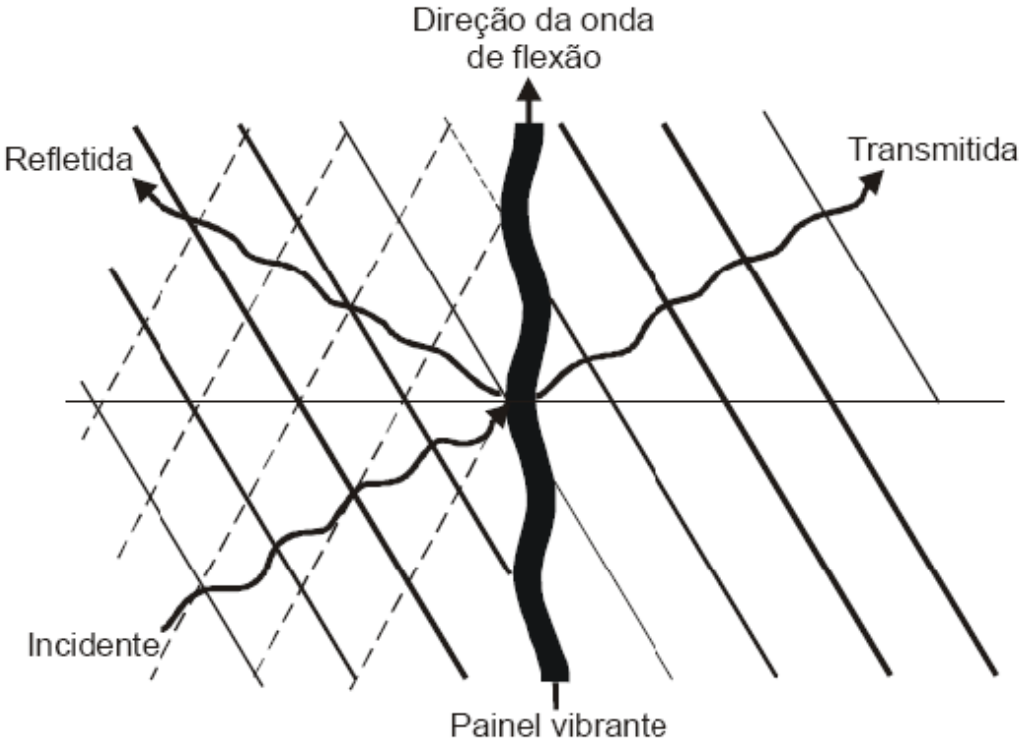
para cada duplicação da massa. Esse aumento deve ser observado juntamente com o aumento do isolamento, em função da freqüência, também de aproximadamente 6 dB por oitava. Porém essa lei não se aplica para qualquer freqüência. A experiência mostra que, para freqüências baixas, inferiores à de ressonância, o isolamento não segue a lei da massa e depende das características de rigidez do fechamento. Para freqüências superiores a de ressonância, o isolamento é controlado pela lei da massa até uma certa freqüência, onde se produz uma nova diminuição do isolamento.

Portanto, pela lei de massa conclui-se que, para se conseguir um grande isolamento, é necessário aumentar consideravelmente o peso do fechamento. Obviamente, isto tem limites, fazendo-se necessário procurar outros sistemas. O mais usual é a chamada parede dupla, cujo isolamento acústico se equivale ao produzido por uma parede simples do mesmo peso.

2.5.11 Região controlada pela coincidência

A isolação sonora cresce de acordo com a lei da massa até uma certa freqüência, denominada de freqüência crítica onde é produzida uma nova queda significativa no seu valor, devido ao fenômeno da coincidência.

As ondas de flexão se propagam com maior velocidade quanto maior é sua freqüência. Isto implica que existirá uma freqüência chamada crítica, a partir da qual haverá algum ângulo de incidência, onde o comprimento de onda do som na parede será igual ao do som no ar, conforme mostra a figura 12:



FONTE: MÉNDEZ et al, 1994.

FIGURA 12 – Efeito da coincidência.

A freqüência crítica é, por definição, a menor freqüência na qual se produz o efeito da coincidência, correspondendo a um ângulo de incidência de 90º. Conforme Paixão (2002), uma onda sonora, em determinada freqüência, pode incidir sobre a parede em diversos ângulos. Haverá, no entanto, um único ângulo em que a velocidade da onda incidente será igual à velocidade das ondas de flexão livre da parede. Nesse ângulo, a transmissão será máxima. Quando esse ângulo for igual a 90º, tem-se a chamada freqüência crítica.

Acima da região controlada pela coincidência, o isolamento é controlado pela rigidez, dependendo do tamanho do painel, dos seus contornos e do seu amortecimento interno, podendo ter um aumento de 10 à 18 dB por oitava.

2.5.12 Índice de redução sonora – **R**

Este índice é medido em laboratório, segundo a norma ISO 140 e representa as características de um dado elemento (janela, divisória…) para cada faixa de 1/3 de oitava numa gama de freqüências entre 100 e 3150 Hz (16 valores). Outras

medições podem ser feitas a título facultativo para freqüências de 50 a 100 Hz e de 3150 a 8000 Hz.

Costa (2003) enfatiza que o isolamento propiciado pela estrutura separadora de dois ambientes pode ser caracterizado pela chamada atenuação do ruído R, ou Índice de Redução Sonora, dado em dB, que é a redução da sensação auditiva de um lado para o outro do obstáculo, identificado pela Equação 12:

$$R = 10 \log \frac{1}{\alpha t} \qquad \text{Equação 12}$$

Onde:
R = Índice de Redução Sonora
αt = coeficiente de transmissão

Conforme Paixão (2002), o Índice de Redução Sonora (R) é considerado um dos principais parâmetros na caracterização acústica de uma parede, também conhecido como Perda de Transmissão (PT) ou Transmission Loss (TL).

No presente trabalho é utilizada a denominação Índice de Redução Sonora, uma vez que, esse termo é adotado pela norma ISO 140-3 (Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 3: Laboratory measurements airborne sound insulation of buildings elements), que serve como referência aos laboratórios brasileiros que realizam ensaios de isolação sonora de materiais e elementos da construção civil.

2.6 Isolamento acústico segundo a Norma ISO-140

A ISO-140 (Acoustic – Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements) é um conjunto de doze normas técnicas sobre isolamento acústico das edificações e seus componentes, que estabelece todas as condições e diretrizes para medições de ruídos aéreos e de impacto, tanto em laboratório, como em campo.

A seguir, citam-se os ítens da ISO 140-3, que estabelece como devem ser realizadas as medições de isolação a ruído aéreo de elementos de edificações, que é o caso do presente trabalho.

2.6.1 ISO-140 – Parte 3

A Norma ISO 140-3/95 é constituída de nove itens e sete anexos, sendo que as principais recomendações estabelecidas em cada item são:

Item 1 – Descritivo da norma, seus objetivos e utilização.

Ítem 2 – Cita outras normas usadas como referência.

Item 3 – Estabelece definições. O Índice de Redução Sonora (**R**), empregado no presente trabalho, é definido como: dez vezes o logaritmo da razão entre a potência sonora incidente na partição do teste ($\mathbf{W}_1$), pela potência sonora transmitida através dessa partição ($\mathbf{W}_2$) e expresso em decibéis, representada pela equação 13.

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \qquad \text{Equação 13}$$

Item 4 – Fala sobre os equipamentos de medição.

Item 5 – Trata das condições requeridas nas salas e da instalação da partição ou dos elementos a serem testados.

Item 6 – Determina os procedimentos de teste e avaliação, geração do campo sonoro, medição do nível de pressão sonora média, faixas de freqüência de medição, tempo de reverberação e ruído de fundo.

Item 7 – Determina os níveis de precisão das medições.

Item 8 – Informa como devem ser expressos os resultados.

Item 9 – Cita como deve ser a apresentação dos dados.

2.7 Isolamento acústico em fechamentos simples

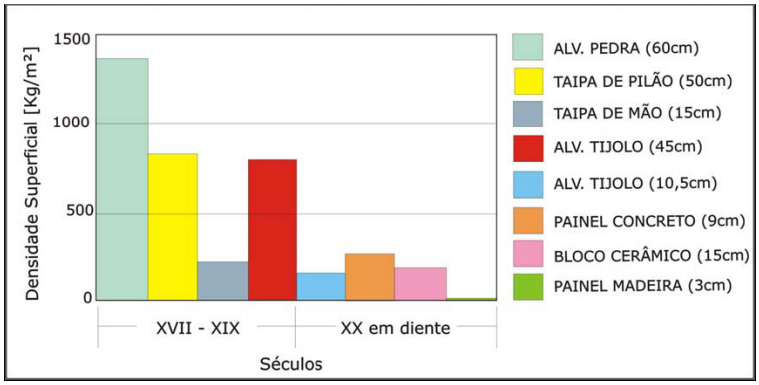
Paixão (2002), em ensaios realizados em laboratório com uma parede de alvenaria, de tijolo maciço, inicialmente com isolamento perimetral de borracha (conexão elástica), e posteriormente com argamassa (conexão rígida), constatou que a principal diferença de resultados, é a caracterização de um “patamar” no caso das conexões rígidas entre 160 Hz e 630 Hz, devido a transferência da energia sonora para as paredes da câmara, Além disso, detectou que a presença das conexões elásticas proporciona uma possibilidade de localizar, com maior precisão, a freqüência de coincidência da parede. Demonstrou a existência de ressonâncias devido a espessura da parede, apresentado uma curva característica do isolamento

para paredes espessas, complementando a curva existente para paredes finas mostrada na figura 11 do presente trabalho

Neto (2006) em seus estudos experimentais para avaliar a performance de isolamento sonoro de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, comprovou a importância do revestimento de reboco das paredes no desempenho do isolamento acústico das mesmas, obtendo resultados de até 42 dB, para paredes com reboco em ambas as faces, confirmando, também, a validade da lei da massa e a influência das conexões rígidas na transmissão do som por flancos, principalmente nas baixas freqüências.

Méndez et al (1994) salientam que paredes com grande porosidade podem apresentar baixo isolamento acústico, mesmo tendo bom desempenho quanto à rigidez e à massa. Os autores destacam também que os fenômenos de ressonância ocorrem em freqüências que dependem das dimensões da parede. Outros fatores são abordados e avaliados para cada situação particular, pois podem influenciar no som que é percebido em um ambiente, ao ser gerado em local vizinho. São eles: nível sonoro no local de emissão, distribuição espectral de ruído, Índice de Redução Sonora (R) da parede divisória, área da parede divisória, absorção total do local receptor, natureza das paredes adjacentes (transmissão por flancos).

Duarte (2005) salientou a redução, ao longo do tempo, da capacidade de isolamento acústico em paredes nas edificações, ocasionada pela substituição gradativa dos materiais mais espessos e com maior densidade, tais como a pedra, taipa de pilão,o tijolo maciço, e as paredes de adobe, por materiais cada vez mais finos e leves, como o tijolo cerâmico furado, painéis finos de concreto, madeira, etc., conforme mostra a figura 13.



FONTE: Duarte (2005).

FIGURA 13 – Diminuição na densidade das partições através dos séculos.

Esta prática, ocasionada pela necessidade de redução de custos e até de novos conceitos arquitetônicos estéticos de maior “leveza” das edificações, contribuiu muito para a redução na qualidade acústica no interior das mesmas.

2.8 Isolamento acústico em fechamentos leves e duplos

Atualmente, o significativo aumento das emissões sonoras da vida moderna, tais como o tráfego urbano, equipamentos de som cada vez mais potentes, etc., aliados à baixa qualidade do isolamento sonoro das edificações, tem exigido dos pesquisadores e profissionais da área de acústica, um esforço, cada vez maior, na solução, ou minimização do problema, sem a necessidade de abrir mão da leveza exigida pela arquitetura moderna, rapidez e praticidade de execução, e sem grande acréscimo no custo final da edificação.

Silva (2000), em seu estudo de isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas, comprovou um bom desempenho de paredes divisórias duplas, de materiais leves, cuja performance é superior a de paredes simples, de mesma massa, como mostra a tabela 2. Tal resultado se deve, basicamente pela característica do material leve utilizado, e a camada de ar criada entre ambos.

Silva (2000) evidenciou também, em seu estudo, a necessidade de se ter cuidado com os detalhes construtivos, no que diz respeito a perfeita vedação em portas e janelas, estanqueidade de seus elementos em relação a existência de frestas.

Tabela 2 – Isolamento acústico de paredes diversas.

Materiais	Índice de isolação dB
Alvenaria de bloco cerâmico c/ reboco nos dois lados-18cm	43
Alvenaria de bloco cerâmico sem junta vertical, c/reboco em 1 lado- 16,5cm	41
Alvenaria de bloco cerâmico sem junta vertical, c/reboco em 2 lados- 17,5cm	44
Alvenaria tijolo maciço com reboco 1 lado- 13cm	47
Alvenaria tijolo maciço com reboco 2 lados - 15,5cm	50
Alvenaria com blocos de concreto sem reboco- 16cm	39

(cont. Tabela 2

Materiais	Índice de isolação dB
Alvenaria com blocos de concreto/reboco de gesso nos dois lados- 16 cm	42
Alvenaria com blocos de concreto vazado sem reboco- 14cm	43
Alvenaria com blocos de concreto vazado c/ reboco 1 lado – 16,5cm	49
Alvenaria com blocos de concreto vazado c/ reboco 2 lados – 17,5cm	51
Divisória modular de PVC-densidade. 2,66 Kg/m^2	21
Parede de gesso 9,0 mm (-espaço de ar recheado com lã de vidro)	47
Parede de gesso acartonado c/ painel em 1 face – densidade 12,5 Kg/m^2	27
Parede de gesso acartonado c/ painel em 2 faces – densidade 25,0 Kg/m^2	35
Parede dry-wall, 2 painéis de 12,5 mm- densidade 26,0 Kg/m^2	42
Parede dry-wall, 2 painéis de 12,5 mm- c/lã de vidro densidade 26,0 Kg/m	49

FONTE: SILVA, 2000.

2.9 Isolamento acústico com elementos duplos ou mistos

A Lei da Massa não pode servir como solução de todos os problemas de acústica nos ambientes, pois seria necessário aumentarmos consideravelmente o peso dos fechamentos, o que, muitas vezes, é inviável, por razões funcionais, de espaço e econômicas. “Uma solução para sistemas em que se requer uma alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de paredes duplas (ou triplas)” (GERGES, 1992). A combinação de fechamentos paralelos, afastados entre si, formando espaço preenchido pelo ar ou por algum material absorvente acústico, garante um isolamento maior que o efeito produzido pela Lei da Massa, para uma mesma espessura, é o chamado “efeito sanduíche” (SILVA, 1997). Os componentes individuais podem ser constituídos pelo mesmo material ou por materiais diferentes, de espessuras iguais ou assimétricas. O isolamento acústico proporcionado por uma parede dupla é diferente da soma dos componentes que

compõem a parede.

Portanto, a utilização do recurso da camada de ar entre os componentes de um sistema de isolamento acústico tem se tornado uma técnica bastante eficiente em vários projetos de isolamento. Mesmo que seja apenas a separação simples entre dois elementos distintos, sem que haja a necessidade de aprisionar a camada de ar, como no caso das janelas e painéis de vidro duplo, os resultados são bastante satisfatórios.

Pisani (2008) em seu estudo de isolamento de fachadas com cortinas tipo Black-out, constatou também a necessidade de se estudarem materiais alternativos, com custo menos elevados, para resolver problemas de acústica em fachadas de prédios pouco isolantes. Para tanto avaliou, em laboratório o acréscimo no índice de isolamento sonoro a ruídos externos, gerado pela colocação de cortinas de vinil e de poliéster sobrepostas a elementos de fachadas. A partir dos resultados dos ensaios obtidos, verificou o desempenho de várias composições de cortinas, obtendo um aumento de 2 a 5 dB no índice de isolamento sonoro, sendo que a duplicação das cortinas, possibilitou, ainda, um aumento em torno de 1 dB em relação as cortinas simples.

Na série “A” de ensaios foi utilizada uma parede de alvenaria com reboco em ambos os nas dimensões de 1,20m x 1,30m. Sobreposta a esta fachada foi colocada uma cortina de vinil, com densidade superficial de 0,5 Kg/m^2 e espessura de 1,5 milímetro. O desempenho da amostra de referência foi de Rw = 28 (dB).

Na série “B” de ensaios foi utilizada uma parede de placas pré-moldadas de raspas de pneus com sua face interna revestida com lambri com uma janela central de correr de madeira com vidro simples de 3 mm e venezianas de abrir. Totalizando uma parede de 8 cm. Sobreposta a esta parede foi colocada uma cortina de poliéster, com densidade = 0,426 Kg/m^2 e espessura de 1 milímetro. O desempenho da amostra de referência foi de Rw = 26 (dB).

O estudo de Pisani (2008) reforça a importância da camada de ar entre os componentes para o isolamento acústico do conjunto, ao mesmo tempo em que comprova a influência das frestas para a perda do isolamento, uma vez que, mesmo aumentado o afastamento e o transpasse entre os elementos, não houve acréscimo de ganhos no isolamento nestes casos, fato constatado pela linearidade nos resultados de desempenho obtidos entre os vários ensaios.

Vários tipos e materiais de isolamento sobre janelas tem sido testados com resultados satisfatórios. Pizzutti et al (1998) ensaiaram em laboratório a performance, como cortina isolante, de chapas de alumínio, emborrachados leves e PVC. Estes materiais foram ensaiados como painéis simples e duplos do mesmo material, intercalados com uma camada de ar de 2 em 2 cm, até uma distância de 30 cm, tendo havido um aumento gradativo de isolamento até este limite, a partir da qual, os painéis passaram a comportar-se como elementos independentes, perdendo sua eficiência. Segundo os autores, ficou comprovado que, quanto maior a densidade dos materiais, maior é o afastamento necessário para que estes funcionem como dois painéis independentes.

Oliveira (2007) em seus estudo sobre isolamento de janelas, ensaiou a duplicação de duas janelas com baixa estanqueidade ao ar, atingindo um Rw = 26 dB, com bons resultados principalmente nas médias e altas frequências, resultando em um acréscimo de isolamento de 8 dB em relação a uma janela única com as mesmas características, o que confirma a influência positiva da simples camada de ar entre dois elementos. Já, com relação a janelas com boa estanqueidade, atingiu um Rw final de 37 dB, tendo um ganho de 4 a 8 dB, sobretudo nas baixas e médias freqüências.

Belderrain (1998) reforça que para se obter melhores resultados na utilização de paredes duplas, os painéis devem estar o mais isolados possíveis do ponta de vista físico e mecânico, eliminando-se, sempre que possível, as “pontes sonoras”, ou seja, elementos de ligação entre os dois componentes.

Todos os estudos aqui citados, serviram de parâmetro para o presente trabalho, visto tratar-se de um sistema misto, composto de painéis de concreto com resíduos de borracha, colunas de concreto armado e lambris de madeira, com a utilização tanto de elementos com massa específica média e alta, no caso os painéis e pilares, como a inserção de revestimento de madeira, com baixa massa específica, pelo lado interno, e a conseqüente criação de camada de ar, entre os elementos.

3 METODOLOGIA

As medições foram realizadas no Setor de Acústica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria.

Executaram-se os ensaios, segundo as recomendações da parte 3 da Norma Internacional ISO-140 (1995), que trata sobre ensaios de isolamento acústico de elementos construtivos, a partir de ruídos aéreos em laboratório.

Tais experimentos estudaram composições diferenciadas dos painéis, ou seja, apenas sobrepostos e encaixados, rejuntados com argamassa, com revestimento interno de madeira e, finalmente, com a inserção de uma janela.

Todos os ensaios foram realizados com painéis de 30mm de espessura, que é o usual no projeto, repetindo-se com painéis de 50mm, avaliando-se e comparando-se as duas situações.

Após o desenvolvimento das atividades experimentais, fez-se a compilação dos dados e a análise dos resultados obtidos.

A seguir, elaboraram-se as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

3.1 Características das Câmaras de Transmissão Sonora da UFSM

As Câmaras Reverberantes para ensaios do Setor de Acústica da UFSM são um conjunto de duas salas especiais com 60 e 67 m^3 de volume, separadas por um pórtico de 55 cm, cujas paredes, teto e piso são constituídos de 30 cm de concreto armado. Cada sala possui uma porta dupla de 1,50m de largura por 2,50m de altura, executadas em chapa de aço de 12,7mm de espessura, vedadas com borracha em todo seu contorno e fechadas sob pressão, garantindo perfeita estanqueidade. Não há paralelismo entre as superfícies das Câmaras (paredes, teto e piso) para a existência de campo difuso. A estrutura não está apoiada diretamente no solo, sendo que sua carga é descarregada em isoladores de neoprene, passando aos pilares e, deles às fundações. O detalhamento da Câmara é apresentado na Figura 14.

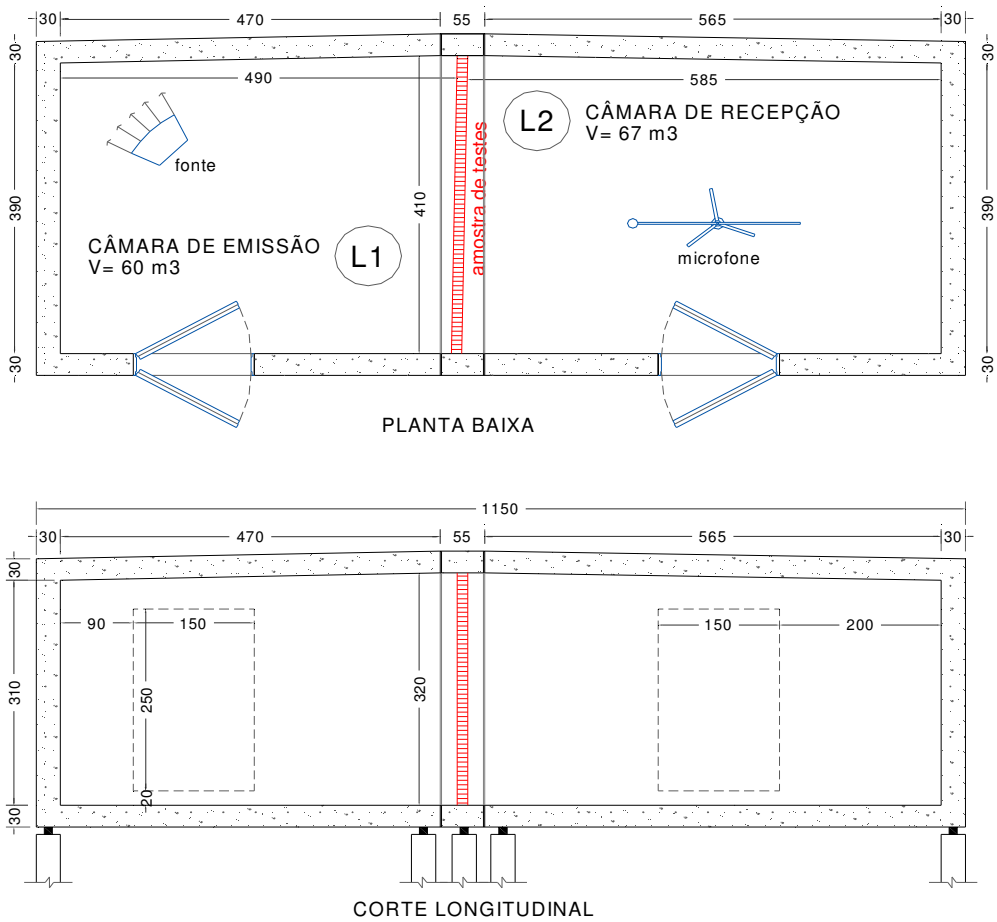


FIGURA 14 – Detalhamento da Câmara Reverberante para transmissão sonora da UFSM.

3.2 Descrição dos equipamentos utilizados

Os equipamentos empregados, todos da empresa Brüel e Kjaer foram:

– Fonte sonora (*Sound Source – 4224 – serial nº 1491240*)

– Microfone *4166*

– Calibrador (*Sound Level Calibrator – 4230 – serial nº 1351791*)

– Analisador (*Building Acoustics Analyzer– 4418 – serial nº 879492*)

– Analisador Climático (*Indoor Climate Analyzer– 1213 – serial nº 1464641*)

A figura 15 ilustra alguns dos equipamentos utilizados nos ensaios.

FIGURA 15 – Fonte sonora, Microfone, Calibrador e Analisador.

3.3 Procedimentos gerais observados

A fonte geradora sonora operou ligada ao analisador, de acordo com as recomendações do fabricante dos equipamentos, trabalhando na faixa de 20 dB a 120 dB, emitindo ruído rosa que passa através de uma série de 16 filtros em bandas de terços de oitava, cobrindo uma faixa de freqüências de 100 Hz a 3150 Hz.

A fonte, utilizada com difusor, ficou posicionada no encontro de duas paredes de concreto da câmara (de emissão para medições de NPS e de recepção para TR), voltada para o canto, a fim de excitar o maior número de modos da sala. A distância foi de 1,0 m entre a fonte e cada uma dessas paredes.

Para atender a norma ISO 140, foram feitas três medições completas posicionando-se o microfone alternadamente em posições diferentes ortogonalmente, com afastamento de 1,0 m entre o mesmo e todas as superfícies (paredes adjacentes, de teste e fonte geradora). O índice de isolação sonora resultante é o valor médio calculado entre aqueles medidos em cada posição do microfone.

Quantificou-se o ruído de fundo a fim de assegurar que as

medições realizadas na Câmara de Recepção não fossem afetadas por ruídos estranhos, internos e externos. Segundo o item 6.5 da Norma ISO 140-3 (1995) o nível do ruído de fundo deve ser, no mínimo 6,0 dB, e preferencialmente mais que 15,0 dB, abaixo do nível resultante da combinação do NPS com o ruído de fundo. Também determinaram-se as condições de temperatura e umidade relativa do ar, durante os ensaios, utilizando-se o Analisador Climático descrito no item sobre os equipamentos.

3.4 Medições em laboratório

Os procedimentos básicos para cada ensaio, conforme determinado na ISO 140-3, subdividem-se resumidamente em cinco atividades:

- Aferir o sistema de medição com emprego do Calibrador (4230) e do analisador (4418);
- Gerar o ruído e medir o Nível de Pressão Sonora (NPS_1) na Câmara de Emissão (L_1);
- Medir o Nível de Pressão Sonora (NPS_2) na Câmara de Recepção (L_2), a partir do ruído gerado na Câmara de Emissão (L_1);
- Medir o Tempo de Reverberação (TR) na Câmara de Recepção (L_2). É necessário digitar no analisador (4418) o volume da Câmara de Recepção (V=67 m^3) e a área da parede amostral (S= 13,12 m^2);
- Medir o Ruído de Fundo (RF) na Câmara de Recepção (L_2).

Todos os valores são registrados na memória do analisador (4418), podendo ser impressos pelo registrador gráfico e/ou ser empregados nos cálculos.

Nos ensaios realizados, optou-se pelo registro dos valores medidos (NPS_1, NPS_2, TR e RF) e dos calculados com o emprego das equações 14 e 15.

$$D = NPS_1 - NPS_2 \qquad \text{Equação 14}$$

Onde:

D: diferença de nível

NPS_1: NPS na sala de emissão

NPS_2: NPS na sala de recepção

$$R = D + 10\log\left(\frac{6{,}5.A.TR}{V}\right) \qquad \text{Equação 15}$$

Onde:

R: diferença de nível normalizada ou índice de redução sonora

V: volume da câmara de recepção

A: área da amostra ensaiada (13,12 m²)

3.5 Colocação de junta flexível

A montagem da parede amostral foi precedida de limpeza e eliminação de resíduos do pórtico da Câmara Reverberante e posterior fixação de tira de borracha em todo perímetro de contato entre o mesmo e o painel de amostra.

A função da tira de borracha perimetral reduzir a transmissão “por flancos”, da energia que é produzida pela vibração da parede amostral, submetida à incidência sonora na superfície voltada para a Câmara de Emissão (L_1), sendo esta vibração, através das paredes da Câmara de Reverberação, transmitida para o recinto da Câmara de Recepção (L_2).

3.6 Sequência e procedimentos de montagem dos painéis

Os componentes do sistema foram montados de forma que a face externa (fachada) da parede ficasse voltada para a Câmara de Emissão (L_1). Procedeu-se a fixação das vigotas de concreto tipo “T”, colocação dos painéis modulares travados com peças de madeira de pinus, parafusadas nas vigotas pelo lado interno (Câmara de Recepção), seguindo as orientações executivas específicas do projeto.

As figuras 16 a 20 mostram a seqüência na montagem da parede teste no interior da Câmara Reverberante.

A figura 16 mostra o processo de limpeza do pórtico para a colocação da tira de borracha com função de isolar o painel amostral do pórtico da câmara.

A tira de borracha foi fixada com adesivo de baixa qualidade colante, apenas para posicioná-la provisoriamente sobre as superfícies do pórtico. Posteriormente, após o primeiro ensaio, ela foi recoberta com fita adesiva e argamassa, respectivamente.

FIGURA 16 – Limpeza da superfície do pórtico e colocação da vedação de borracha.

Devido ao pé-direito da Câmara de Reverberação (3,20m) ser superior ao da edificação (2,70 m), houve a necessidade de complementação das colunas de concreto através da soldagem da ferragem estrutural e preenchimento em concreto, conforme mostra a figura 17.

FIGURA 17 – Preparo das colunas de concreto (ajustes no comprimento para adequar a altura do pórtico).

Houve especial cuidado na montagem e travamento das colunas de concreto sobre o pórtico, já revestido com a tira de borracha (conexão flexível), com o objetivo de evitar o rompimento da mesma, o que ocasionaria prejuízo na função de isolamento e amortecimento.

FIGURA 18 – Montagem das colunas de concreto da estrutura.

A seqüência da montagem do painel amostral, obedeceu a mesma utilizada na montagem da edificação, ou seja, fixação das vigotas de concreto, encaixe dos painéis através das guias de madeira aparafusadas sobre as vigotas.

FIGURA 19 – Colocação das placas com fixação através das guias de madeira.

A figura 20(a) mostra a parede pronta vista pelo lado da Câmara de emissão, ou seja, observando-se os pilares de concreto e as placas.

Na figura 20(b), é possível ver a parede interna das edificações, representadas pela Câmara de recepção, com destaque para o fechamento com guias de madeira de pinus.

(a)

(b)

FIGURA 20 – Parede pronta vista pelo lado da Câmara de Emissão e da Câmara de Recepção respectivamente.

4 MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram realizados dez ensaios seqüenciais utilizando-se painéis de *30mm e 50mm na seguinte ordem:

– **Ensaio 1**: painéis de 30mm, simplesmente encaixados;
– **Ensaio 2**: painéis de 30mm, com as juntas vedadas com fita crepe;
– **Ensaio 3**: painéis de 30mm, assentados e rejuntados com argamassa de cimento e areia, traço 1:3 (cimento e areia média);
– **Ensaio 4**: painéis de 30mm, mesma amostra do ensaio 3 com revestimento em lambri de madeira, pelo lado da Câmara de Recepção (correspondendo ao lado interno da residência);
– **Ensaio 5**: painéis de 30 mm, mesma amostra do ensaio 4, com inserção de uma janela com vidro e veneziana (nas dimensões utilizadas nas residências);
– **Ensaios 6 a 10**: repetição de todos ensaios de 1 a 5, utilizando-se parede com painéis de 50 mm.

* Para fins de simplificação na grafia, utilizamos a dimensão nominal dos painéis de 33,3 mm de espessura, como sendo de 30mm.

Para cada um dos ensaios foram feitas três medições repetidas, sendo o resultado final obtido através da média, como forma de comprovação do resultado.

Para atender a norma ISO 140, cada ensaio foi realizado 3 vezes, modificando-se a posição do microfone ortogonalmente, tanto na Câmara de Emissão como na de Recepção. O índice de isolação resultante é o valor médio calculado entre aqueles medidos em cada posição do microfone.

Os resultados são apresentados a seguir, na seqüência em que foram realizados e segundo a Norma ISO 140 – parte 3. São mostrados: o Índice de Redução Sonora (R) e o Rw – decorrente da aplicação da curva padrão (ISO 717).

4.1 Considerações gerais sobre os ensaios realizados

A parede foi testada, inicialmente, no seu sistema construtivo básico, ou seja, painéis apenas encaixados entre si e com as colunas. Em seqüência, foi utilizada vedação provisória com fita crepe para minimizar as deficiências decorrentes das

frestas entre as placas e das junções com as colunas. A seguir, os painéis foram retirados e remontados com a utilização de argamassa de cimento e areia na fixação e nas juntas com os pilares. Na seqüência, avaliou-se uma solução que tem sido empregada pelos usuários, ou seja, a colocação de um revestimento interno de madeira, fixado sobre as guias componentes do sistema construtivo, avaliando-se a situação da parede cega e posteriormente com a inserção de uma janela idêntica ao adotado no projeto.

As figuras 21 a 24 ilustram a sequência da realização dos ensaios.

FIGURA 21 – Parede vista pela Câmara de Emissão, com painéis somente encaixados.

FIGURA 22 – Parede vista pela Câmara de Emissão, painéis com vedação em fita adesiva.

FIGURA 23 – Parede vista pela Câmara de Recepção, painéis argamassados e rejuntados.

FIGURA 24 – Parede vista pela Câmara de Recepção, parede com revestimento de lambri.

A utilização do revestimento interno em madeira, mais do que um item de melhoramento estético do ambiente interno da residência, agregou melhor qualidade acústica ao conjunto, visto que a madeira, mais a camada de ar interna criada, proporcionam o aumento do nível de isolamento.

Por fazerem parte da fachada, as janelas são itens fundamentais nos projetos de acústica, devendo ser tomados cuidados especiais na escolha do tipo de

funcionamento, vedação, etc., visto serem os elementos mais sujeitos a permitir vazamentos que comprometem o isolamento acústico.

A janela utilizada no painel amostral, é similar ao utilizado no projeto, ou seja, janela de madeira (cedro), com duas folhas de correr, vidro liso 4mm, e veneziana com duas folhas sanfonadas.

Este tipo de esquadrias, são comumente utilizada nas edificações regionais, e muito embora sendo de fabricação industrial, possuem acabamento bastante rudimentar, com “folgas” entre seus componentes, que ocasionam sistema de vedação bastante precários e, consequentemente, baixo isolamento acústico.

As figuras 25 e 26 ilustram a janela colocada da parede para os ensaios.

FIGURA 25 – Parede vista pela Câmara de Emissão, com janela inserida.

FIGURA 26 – Parede vista pela Câmara de Recepção, com janela.

As figuras 21 a 26 mostram as diversas situações ensaiadas e avaliadas nas Câmaras Reverberantes do Setor de Acústica da UFSM, ou seja:

- parede simples, sem rejuntes, com os painéis simplesmente encaixados e travados pelo lado interno através de guias de madeira;
- parede com painéis vedados com fita crepe pelo lado da Câmara de Emissão;
- parede com painéis assentados com argamassa de cimento e areia;
- parede com revestimento em pinus pelo lado da Câmara de Recepção;
- parede completa, com inserção de janela de madeira, com veneziana.

Posteriormente, todos os procedimentos e testes acima indicados, foram repetidos, substituindo-se os painéis de 30 mm por painéis de 50 mm.

4.2 Ensaios com painéis de 30 mm de espessura

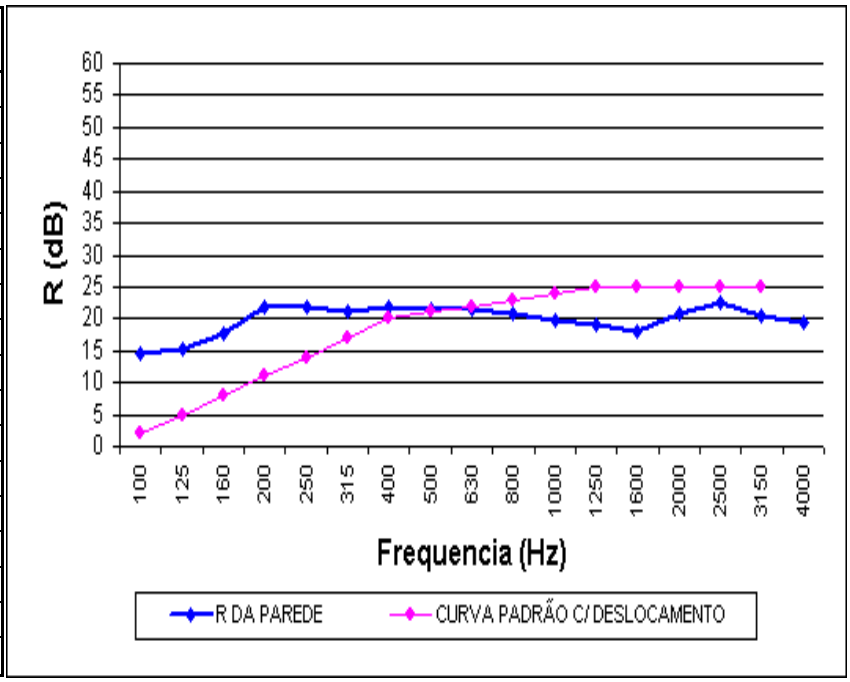
Nesse item são apresentados os resultados obtidos na execução dos cinco ensaios realizados com painéis com a espessura original de 30 mm.
Em todos os Gráficos está plotada a curva padrão especificada pela norma ISO 717/96

4.2.1 Ensaio 1

Os resultados mostrados na figura 27, referem-se a:

a) Amostra: parede simples, com painéis apenas encaixados, conforme utilizado na execução das edificações, ou seja, vigotas de concreto, painéis e guias de madeira para fixação do conjunto.
b) Área da amostra: 13,12 m^2
c) Massa total do conjunto: 40 kg/m^2
d) Resultado obtido: Rw= 21,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	14,4
125	15,3
160	17,8
200	22
250	21,9
315	21
400	21,7
500	21,4
630	21,6
800	20,8
1000	19,6
1250	19,1
1600	18,1
2000	20,9
2500	22,4
3150	20,6
4000	19,4



Incremento =	69

Diferença =	30,9
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **21**

FIGURA 27 – Ensaio da parede simples, com painéis apenas encaixados.

O gráfico da figura 27 demonstra claramente a influência negativa da existência das frestas, ocasionando falta de estanqüeidade ao conjunto e, conseqüentemente, um baixo rendimento acústico. Observa-se uma linearidade do gráfico, com destaque para a freqüência de 1600 Hz, onde registra-se um vale na curva.

4.2.2 Ensaio 2

A figura 28 mostra os resultados referentes a:

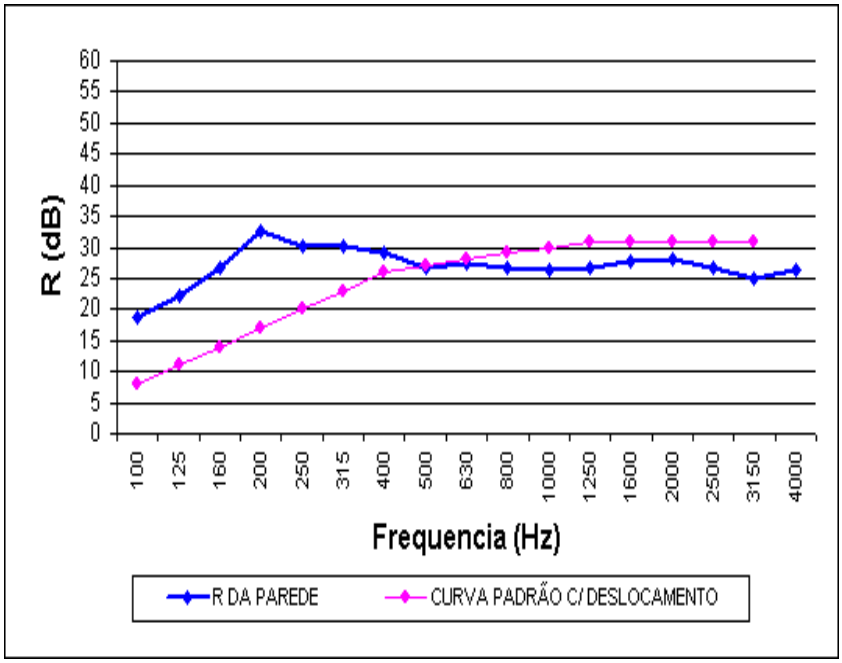
a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 1, com a vedação externa das juntas dos painéis e destes com as vigotas, através de fita crepe.

b) Área da amostra: 13,12 m^2

c) Massa total do conjunto: 40 kg/m^2

d) Resultado obtido: Rw= 27,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	18,7
125	22,2
160	26,6
200	32,5
250	30,1
315	30,1
400	29
500	26,7
630	27,5
800	26,6
1000	26,3
1250	26,6
1600	27,6
2000	28,1
2500	26,6
3150	25
4000	26,5



Incremento =	75

Diferença =	28
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **27**

FIGURA 28 – Ensaio com vedação das juntas pelo lado externo através de fita crepe.

No ensaio 2 o gráfico confirma a melhora significativa do isolamento após a vedação, mesmo que provisória, das frestas, com a fita crepe. Esse aumento de 6 dB no desempenho (Rw), é decorrente da melhoria em todas as freqüências.

4.2.3 Ensaio 3

A figura 29 mostra o resultado decorrente de:

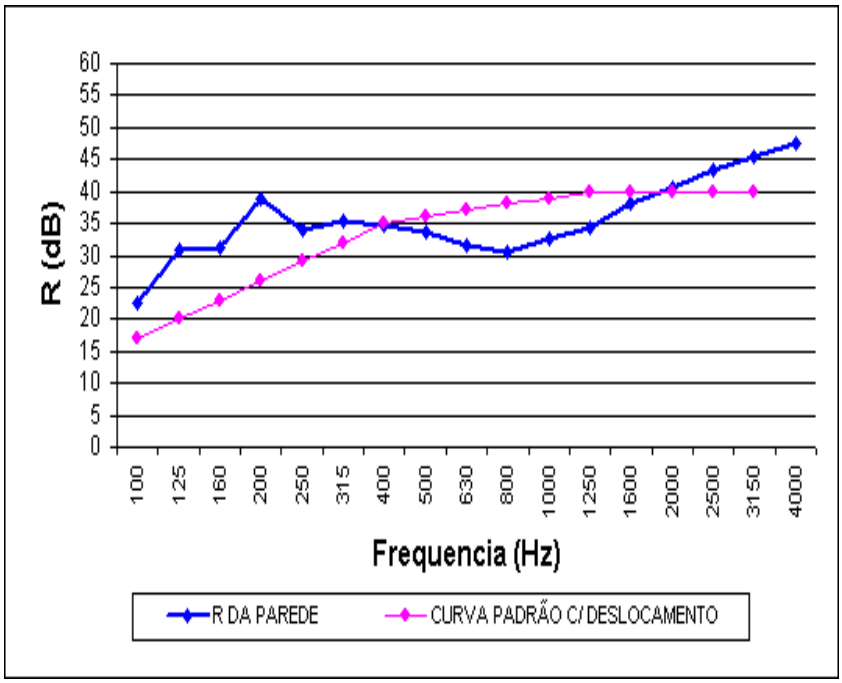
a) Amostra: parede simples, ou seja, vigotas de concreto, painéis e guias de madeira para fixação do conjunto, porém com painéis assentados e rejuntados com argamassa de cimento, cal e areia, traço 1:2:6.

b) Área da amostra: 13,12 m^2

c) Massa total do conjunto: 45 kg/m^2

d) Resultado obtido: Rw= 36,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	22,5
125	30,7
160	31,1
200	38,9
250	33,9
315	35,4
400	34,8
500	33,6
630	31,6
800	30,6
1000	32,5
1250	34,3
1600	38,1
2000	40,7
2500	43,5
3150	45,4
4000	47,5



Incremento =	84

Diferença =	29,5
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **36**

FIGURA 29 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados.

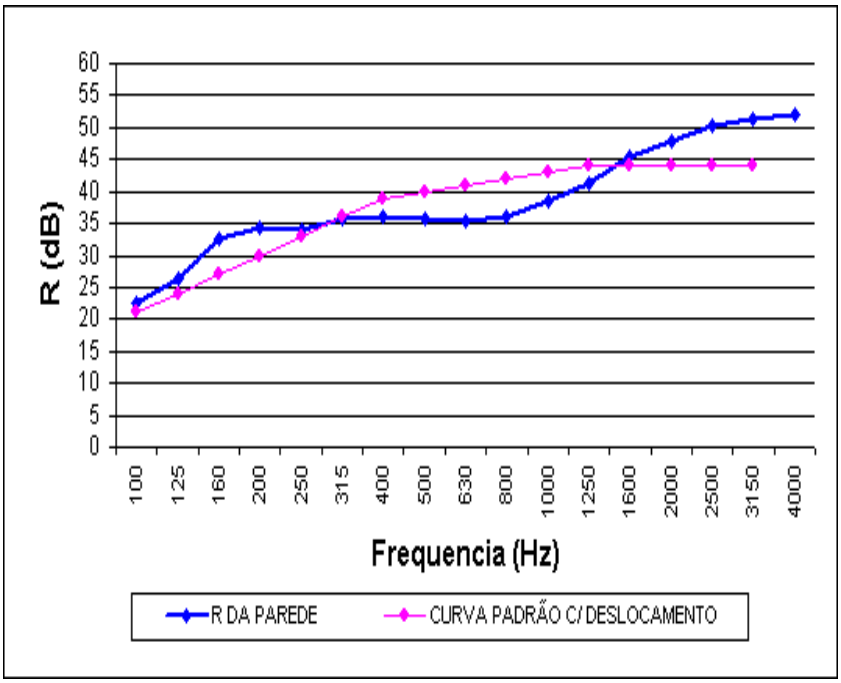
O ensaio 3 confirma a melhora, ainda maior, em todas as frequências no isolamento após a vedação com argamassa e o conseqüente aumento na massa do conjunto de 40 Kg/m^2 para 45 Kg/m^2. É importante destacar, também, o significativo aumento de desempenho nas altas freqüências e o vale que surgiu em 800 Hz.

4.2.4 Ensaio 4

Os resultados apresentados na figura 30 são devidos a:

a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 3, com revestimento em lambris de pinus pelo lado interno
b) Área da amostra: 13,12 m^2
c) Massa total do conjunto: 50 kg/m^2
d) Resultado obtido: Rw= 40,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	22,5
125	26,5
160	32,7
200	34,2
250	34,1
315	35,6
400	35,9
500	35,6
630	35,4
800	36,1
1000	38,5
1250	41,2
1600	45,6
2000	47,9
2500	50,4
3150	51,2
4000	52



Incremento =	88

Diferença =	26,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **40**

FIGURA 30 – Ensaio com painéis argamassados, rejuntados e com revestimento interno de lambris de madeira.

O ensaio 4 demonstrou que a utilização do revestimento interno melhorou consideravelmente o isolamento acústico do conjunto, proporcionando um acréscimo de 4 dB. Observa-se que a partir de 400 Hz ocorre a principal melhora na resposta obtida no ensaio.

4.2.5 Ensaio 5

Os resultados apresentados na figura 31 são devidos a:

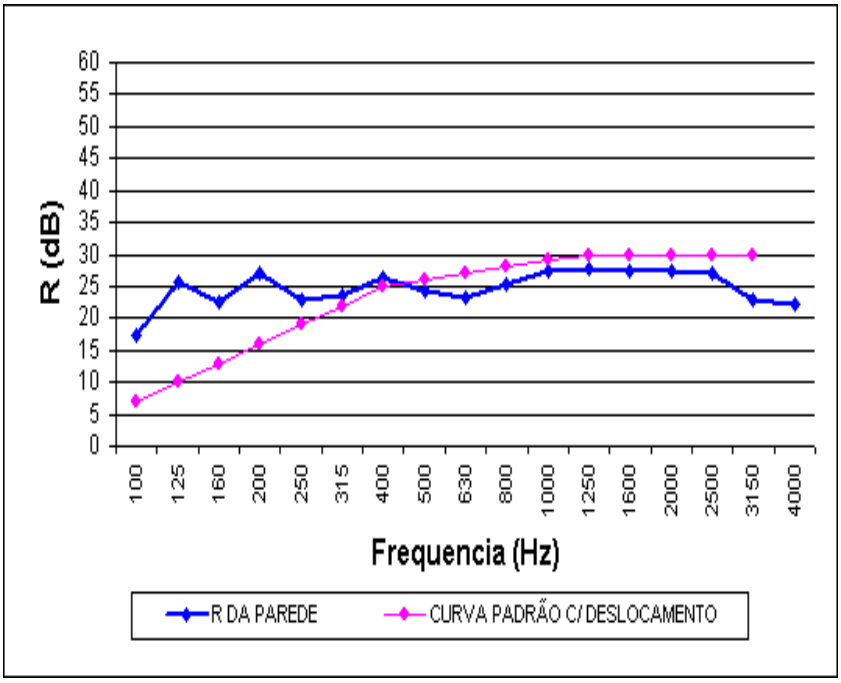
a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 4, com inserção de uma janela de 90x105 cm com vidro e veneziana.

b) Área da amostra: 13,12 m^2

c) Massa total do conjunto: 45 kg/m^2

d) Resultado obtido: Rw= 26,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	17,2
125	25,6
160	22,5
200	27,1
250	22,9
315	23,6
400	26,4
500	24,3
630	23,2
800	25,2
1000	27,4
1250	27,6
1600	27,4
2000	27,5
2500	27,1
3150	22,9
4000	22,1



Incremento =	74

Diferença =	27,4
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **26**

FIGURA 31 – Ensaio da parede com inserção de janela.

O ensaio 5 demonstrou que a inserção da janela ocasionou o retorno do problema de falta estanqueidade e, conseqüentemente, redução no isolamento acústico do conjunto, com acentuada queda no desempenho, de 14 dB.

4.2.6 Análise dos resultados dos ensaios E1 a E5

Os resultados dos ensaios demonstraram claramente a deficiência da isolação sonora do sistema construtivo com relação a estanqüeidade ao ar, uma vez que a simples vedação das juntas dos painéis com fita crepe, proporcionou um ganho de 6,0 dB, conforme demonstrado no comparativo entre os Ensaios 1 e 2.

O aumento do isolamento torna-se mais significativo a partir da completa vedação e estanqueidade do conjunto pela utilização de argamassa de assentamento e rejunte dos painéis, conforme mostrado no Ensaio 3. Observa-se que houve um ganho na isolação de 15 dB, em relação a situação original mostrada no Ensaio 1.

A adoção do revestimento interno com lambris de pinus melhorou ainda mais

o isolamento, adicionando uma melhoria de 4 dB com relação ao Ensaio 3, comprovando-se importância da camada de ar criada entre o lambri de madeira e o painel, apesar da existência de “pontes de transmissão”, no caso, os pregos de fixação, e a insuficiente estanqueidade no encaixe dos lambris.

Porém, a simples colocação de uma janela, comprometeu novamente o isolamento do conjunto, confirmando que a falta de estanqüeidade constitui-se no principal fator de influência negativa para obtenção de níveis aceitáveis de isolamento sonoro.

A figura 32, apresenta um gráfico comparativo entre os cinco ensaios onde ficam bem definidos os níveis de isolamento sonoro nas diversas situações amostradas

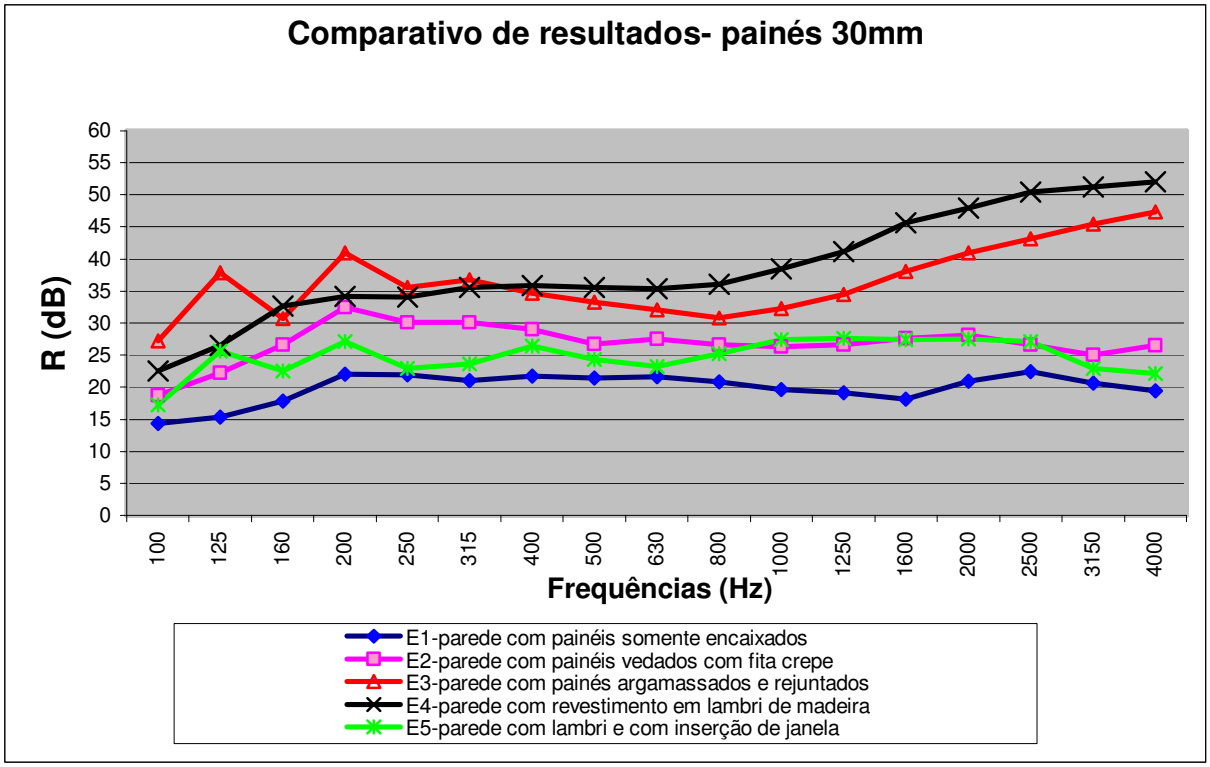


FIGURA 32 – Gráfico comparativo entre os ensaios E1 a E5.

4.3 Ensaios com painéis de 50mm de espessura

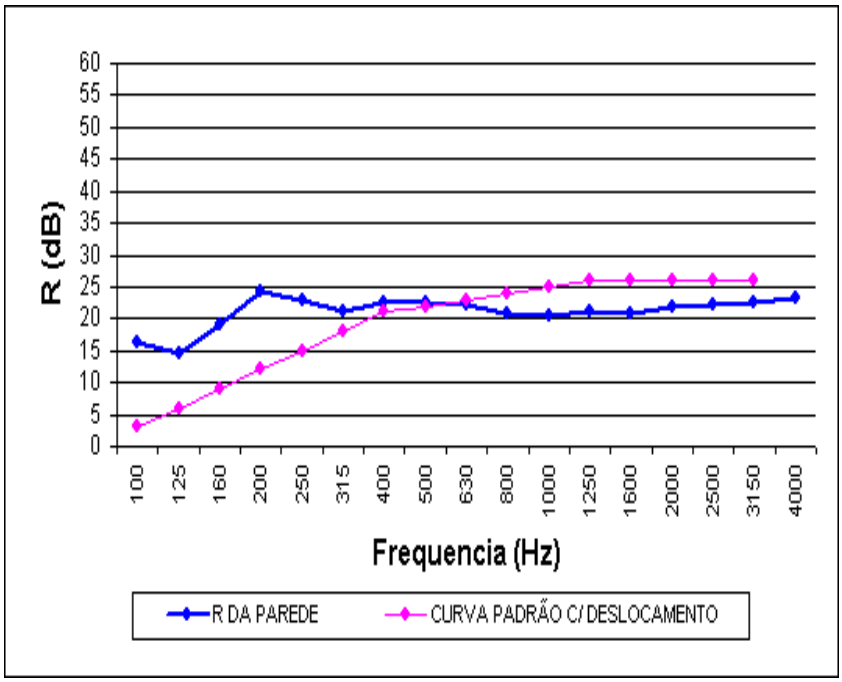
Nesse item são apresentados os resultados obtidos na execução dos cinco ensaios realizados com painéis com a espessura alterada para 50 mm.

4.3.1 Ensaio 6

Os resultados mostrados na figura 33, referem-se a:

a) Amostra: parede simples, com painéis apenas encaixados, conforme utilizado na execução das edificações, ou seja, vigotas de concreto, painéis e guias de madeira para fixação do conjunto.
b) Área da amostra: 13,12 m^2
c) Massa total do conjunto: 52 kg/m^2
d) Resultado obtido: Rw= 22,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	16,2
125	14,5
160	19,1
200	24,2
250	22,9
315	21,3
400	22,6
500	22,7
630	22,3
800	20,9
1000	20,5
1250	21
1600	20,9
2000	21,7
2500	22,2
3150	22,4
4000	23,1



Incremento =	70

Diferença =	30,1
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **22**

FIGURA 33 – Ensaio de parede simples, com painéis somente encaixados.

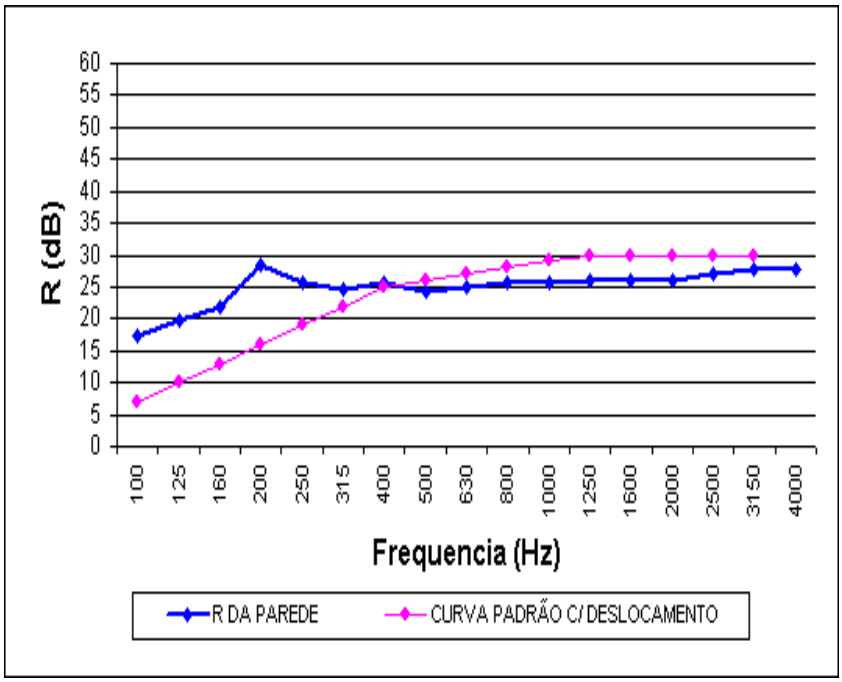
O gráfico da figura 33 demonstra claramente a influência negativa da existência das frestas, ocasionando falta de estanqueidade ao conjunto e, conseqüentemente, um baixo rendimento acústico.

4.3.2 Ensaio 7

A figura 34 mostra os resultados referentes a:

a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 6, com a vedação externa das juntas dos painéis e destes com as vigotas, através de fita crepe.
b) Área da amostra: 13,12 m^2
c) Massa total do conjunto: 52 kg/m^2
d) Resultado obtido: Rw= 26,0 db

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	17,2
125	19,8
160	22
200	28,5
250	25,6
315	24,7
400	25,6
500	24,3
630	25
800	25,5
1000	25,5
1250	26,1
1600	25,9
2000	25,9
2500	27
3150	27,8
4000	27,8



Incremento =	74

Diferença =	27
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **26**

FIGURA 34 – Ensaio com painéis vedados com fita crepe.

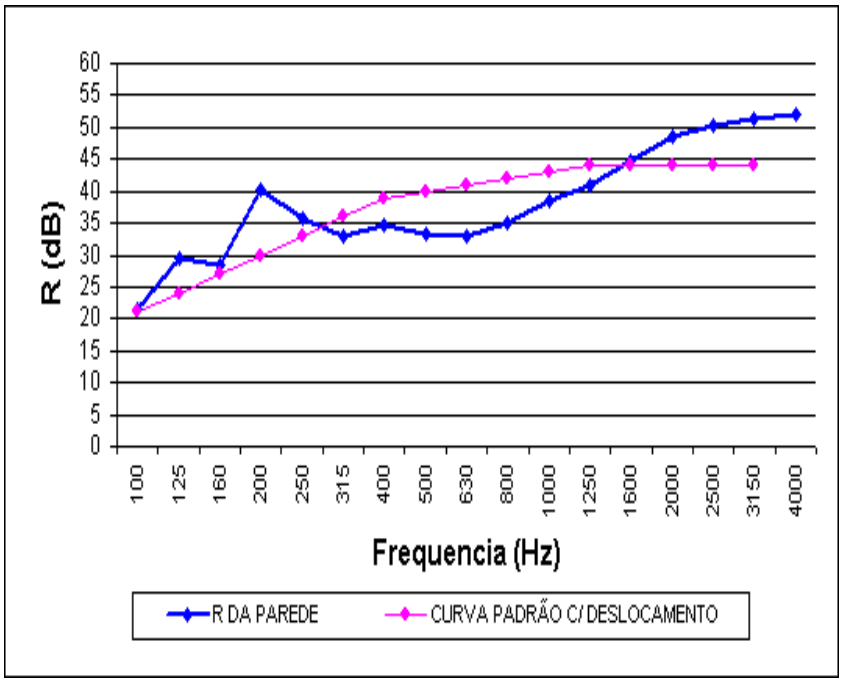
O gráfico 8 confirma a melhora significativa do isolamento após a vedação, mesmo que provisório, das frestas, com a fita crepe. Esse aumento de 4 dB no desempenho (Rw), é decorrente da melhoria em todas as freqüências.

4.3.3 Ensaio 8

A figura 35 mostra o resultado decorrente de:

a) Amostra: parede simples, ou seja, vigotas de concreto, painéis e guias de madeira para fixação do conjunto, porém com painéis assentados e rejuntados com argamassa de cimento, cal e areia, traço 1:2:6.
b) Área da amostra: 13,12 m^2
c) Massa total do conjunto: 55 kg/m^2
d) Resultado obtido: Rw= 40,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	21,5
125	29,5
160	28,4
200	40,2
250	35,8
315	32,8
400	34,6
500	33,4
630	33,1
800	35,2
1000	38,6
1250	40,9
1600	44,7
2000	48,5
2500	50,3
3150	51,3
4000	51,9



Incremento =	88

Diferença =	29,6
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **40**

FIGURA 35 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados.

O ensaio 8 confirma a melhora, ainda maior, em todas as frequências no isolamento após a vedação com argamassa e o conseqüente aumento na massa do conjunto de 40 Kg/m^2 para 55 Kg/m^2. É importante destacar, também, o significativo aumento de desempenho nas altas freqüências e o vale que surgiu em 630 Hz.

4.3.4 Ensaio 9

Os resultados apresentados na figura 36 são devidos a:

a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 8, com revestimento em lambris de pinus

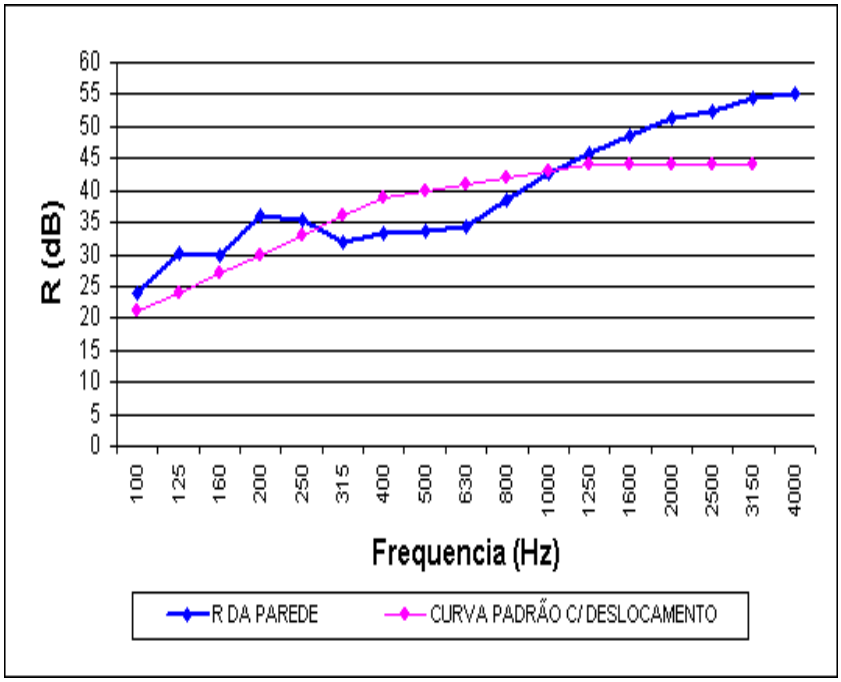
pelo lado interno.

b) Área da amostra: 13,12 m^2

c) Massa total do conjunto: 60 kg/m^2

d) Resultado obtido: Rw= 40,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	24,1
125	30,3
160	29,7
200	36
250	35,3
315	32
400	33,4
500	33,5
630	34,2
800	38,4
1000	42,5
1250	45,8
1600	48,7
2000	51,4
2500	52,5
3150	54,6
4000	55,3



Incremento =	88

Diferença =	27
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **40**

FIGURA 36 – Ensaio com painéis argamassados e rejuntados e revestimento com lambri de pinus.

O ensaio 9 demonstrou que a utilização do revestimento interno, embora tenha mantido o resultado do Rw= 40 dB do ensaio 8, houve uma melhora em torno de 4 db, a partir da freqüência de 800 Hz, resultado também do aumento, ainda maior, da massa do conjunto de 55 Kg/m^2 para 60 Kg/m^2

4.3.5 Ensaio 10

Os resultados apresentados na figura 37 são devidos a:

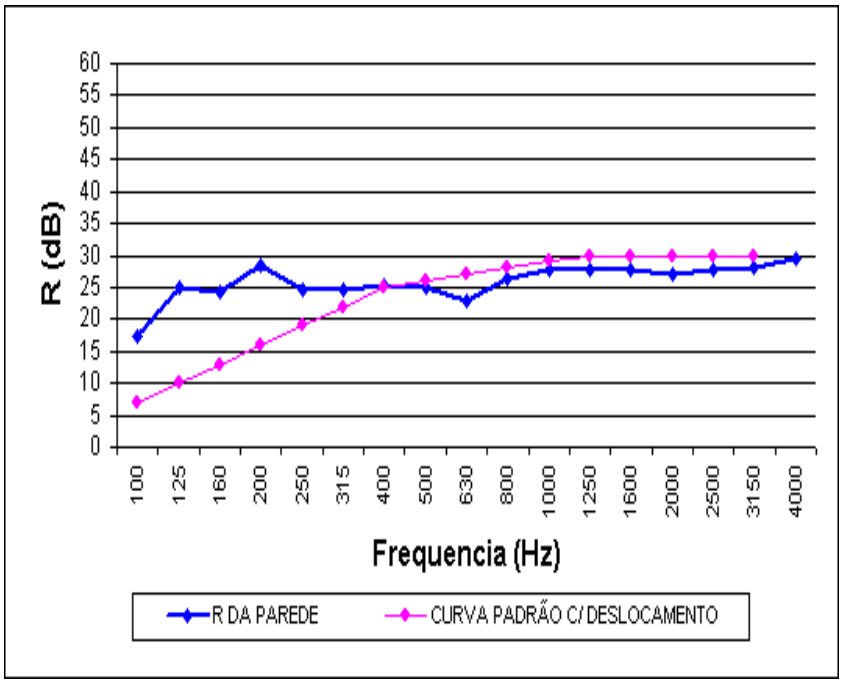
a) Amostra: mesma amostra do Ensaio 9, com inserção de uma janela de 90x105 cm com vidro e veneziana.

b) Área da amostra: 13,12 m^2

c) Massa total do conjunto: 60 kg/m^2

d) Resultado obtido: Rw= 26,0 dB

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	17,2
125	24,8
160	24,2
200	28,6
250	24,5
315	24,5
400	25,4
500	25,1
630	22,9
800	26,5
1000	27,6
1250	27,6
1600	27,7
2000	27,2
2500	27,7
3150	28,2
4000	29,4



Incremento =	74

Diferença =	27,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

Rw = **26**

FIGURA 37 – Ensaio da parede, com inserção de janela.

O ensaio 10 demonstrou que a inserção da janela ocasionou o retorno do problema de falta estanqueidade e, conseqüentemente, redução no isolamento acústico do conjunto em 14 dB.

4.3.6 Análise dos resultados dos ensaios E6 a E10

Da mesma forma que os ensaios realizados com painéis de 30mm, os resultados dos ensaios com painéis de 50mm de espessura, apresentaram similaridade entre as situações, também demonstrando a deficiência da isolação sonora devido a falta de estanqueidade ao ar, melhorando significativamente após a colocação do revestimento de lambri, através da inclusão de camada de ar, e redução expressiva no isolamento quando da inserção da janela.

O gráfico da figura 38, apresenta um comparativo entre os cinco ensaios onde ficam bem definidos os níveis de isolamento sonoro nas diversas situações amostradas.

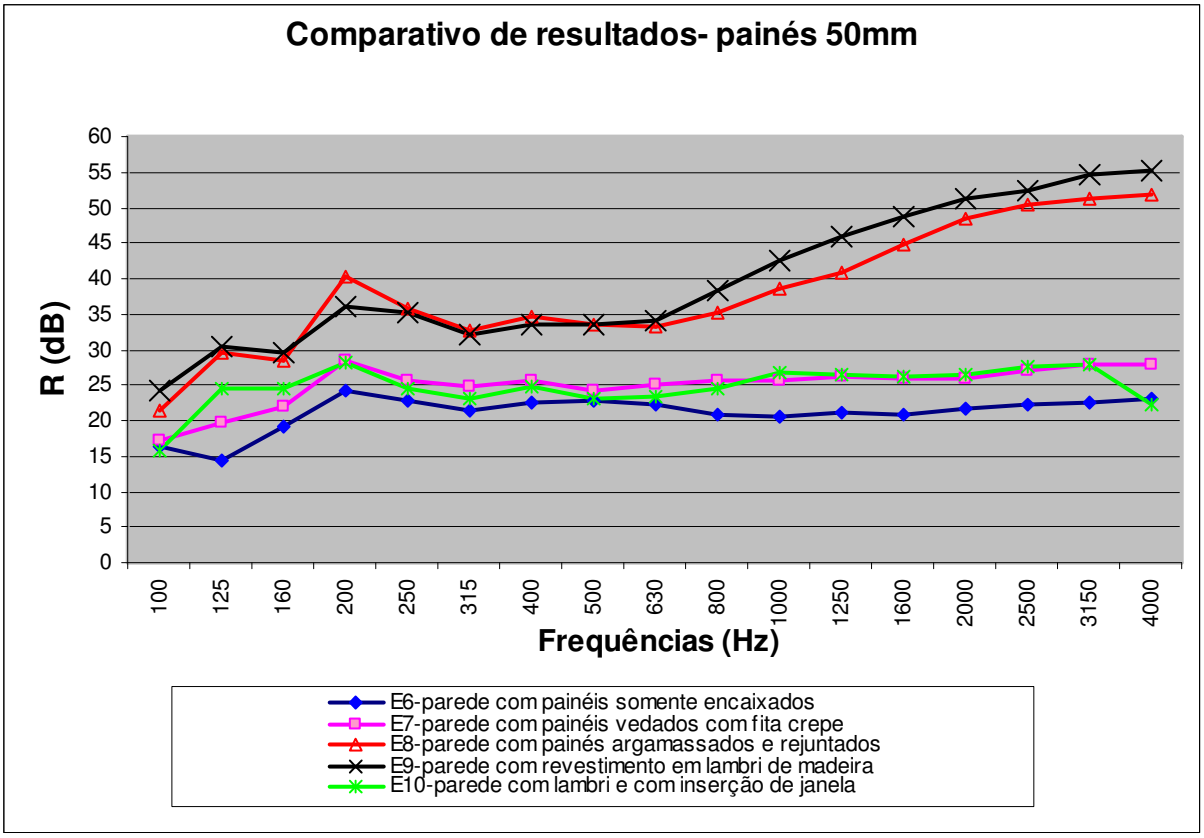


FIGURA 38 – Gráfico comparativo entre os ensaios E6 a E10.

4.4 Análise comparativo entre os painéis de 30 e 50 mm

4.4.1 Comparação entre os resultados dos ensaios E1 (30 mm) e E6 (50 mm) – para parede executada com painéis simplesmente encaixados

O gráfico da figura 39 indica um ganho de 1 dB da parede com placas de 50mm em relação as placas de 30mm. Este aumento é verificado em praticamente todas as freqüências.

Porém, o problema da existência de frestas fica evidenciado, pois apesar da diferença de espessura dos painéis, o ganho nos níveis de isolamento entre eles é insignificante, visto que o conjunto perdeu eficiência acústica devido a falta de estanqüeidade, que fica evidenciado também pela linearidade do gráfico.

FREQUENCIA	E1	E6
100	14,4	16,2
125	15,3	14,5
160	17,8	19,1
200	22	24,2
250	21,9	22,9
315	21	21,3
400	21,7	22,6
500	21,4	22,7
630	21,6	22,3
800	20,8	20,9
1000	19,6	20,5
1250	19,1	21
1600	18,1	20,9
2000	20,9	21,7
2500	22,4	22,2
3150	20,6	22,4
4000	19,4	23,1
Rw	21	22

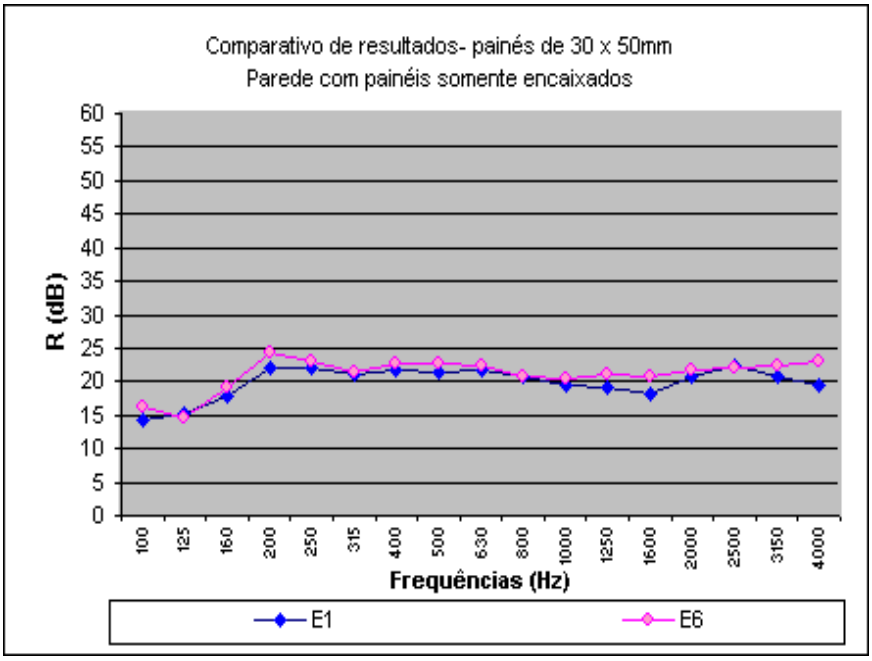


FIGURA 39 – Gráfico comparativo entre os ensaios E1 e E6.

4.4.2 Comparação entre os resultados dos ensaios E2 e E7 – parede executada com painéis vedados com fita crepe

O gráfico da figura 40 indicou uma perda final de 1 dB da parede com placas de 50mm em relação as placas de 30mm, Esta redução inesperada deve-se possivelmente a uma falha imperceptível na vedação da fita crepe, na amostra com painéis de 50mm.

FREQUENCIA	E2	E7
100	18,7	17,2
125	22,2	19,8
160	26,6	22
200	32,5	28,5
250	30,1	25,6
315	30,1	24,7
400	29	25,6
500	26,7	24,3
630	27,5	25
800	26,6	25,5
1000	26,3	25,5
1250	26,6	26,1
1600	27,6	25,9
2000	28,1	25,9
2500	26,6	27
3150	25	27,8
4000	26,5	27,8
Rw	27	26

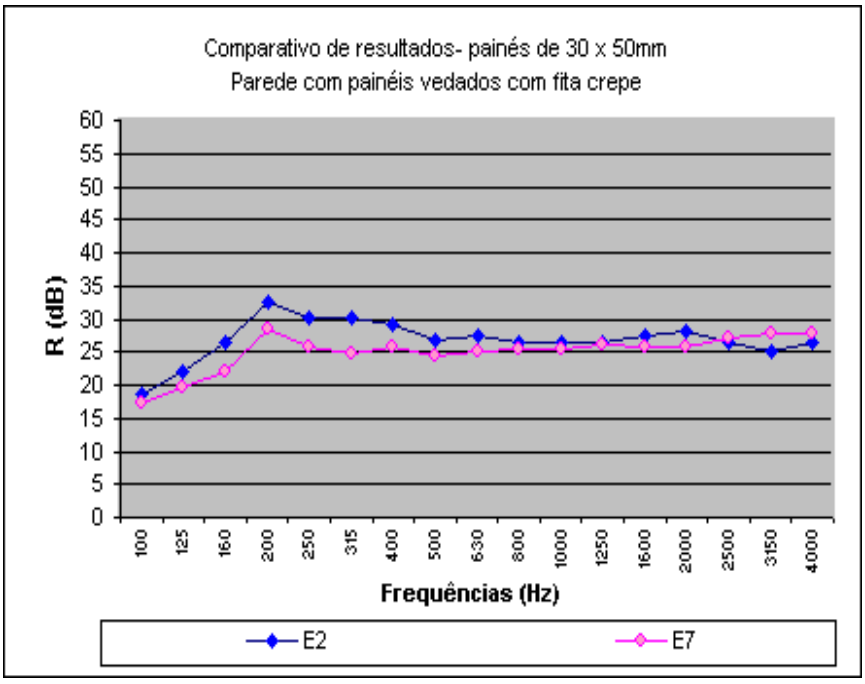


FIGURA 40 – Gráfico comparativo entre os ensaios E2 e E7.

4.4.3 Comparação entre os resultados dos ensaios E3 e E8 – parede executada com painéis argamassados e rejuntados

O Gráfico da figura 41 demonstra que**,** eliminado o problemas da existência de frestas, confirma-se a Lei da Massa, pois ao aumentar-se em aproximadamente 70% a espessura dos painéis, aumentou-se o isolamento em 4 a 5 dB, nas médias e altas frequências.

FREQUENCIA	E3	E8
100	27,2	21,5
125	37,9	29,5
160	30,7	28,4
200	41	40,2
250	35,6	35,8
315	36,8	32,8
400	34,7	34,6
500	33,3	33,4
630	32,1	33,1
800	30,8	35,2
1000	32,3	38,6
1250	34,5	40,9
1600	38,1	44,7
2000	41	48,5
2500	43,2	50,3
3150	45,4	51,3
4000	47,3	51,9
Rw	36	40

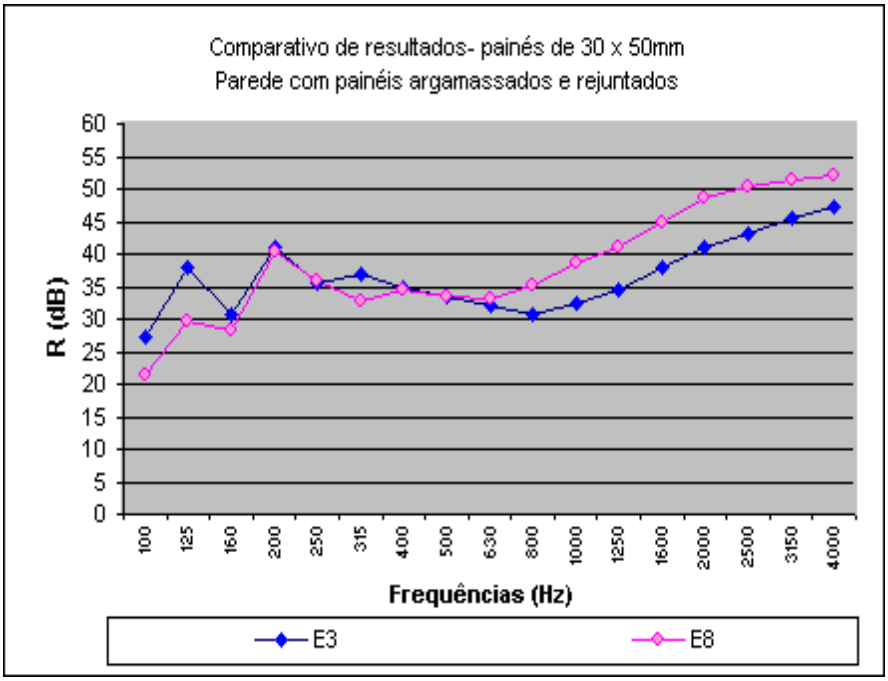


FIGURA 41 – Gráfico comparativo entre os ensaios E3 e E8.

4.4.4 Comparação entre os resultados dos ensaios E4 e E9 – parede executada com painéis argamassados, rejuntados e revestidos com lambri

O gráfico da figura 42, apesar do resultado do INDEX ter sido o mesmo entre os dois ensaios, nota-se um ganho médio de 2 a 4 dB a partir da freqüência de 800 Hz.

FREQUENCIA	E4	E9
100	22,5	24,1
125	26,5	30,3
160	32,7	29,7
200	34,2	36
250	34,1	35,3
315	35,6	32
400	35,9	33,4
500	35,6	33,5
630	35,4	32,2
800	36,1	38,4
1000	38,5	42,5
1250	41,2	45,8
1600	45,6	48,7
2000	47,9	51,4
2500	50,4	52,5
3150	51,2	54,6
4000	52	55,3
Rw	40	40

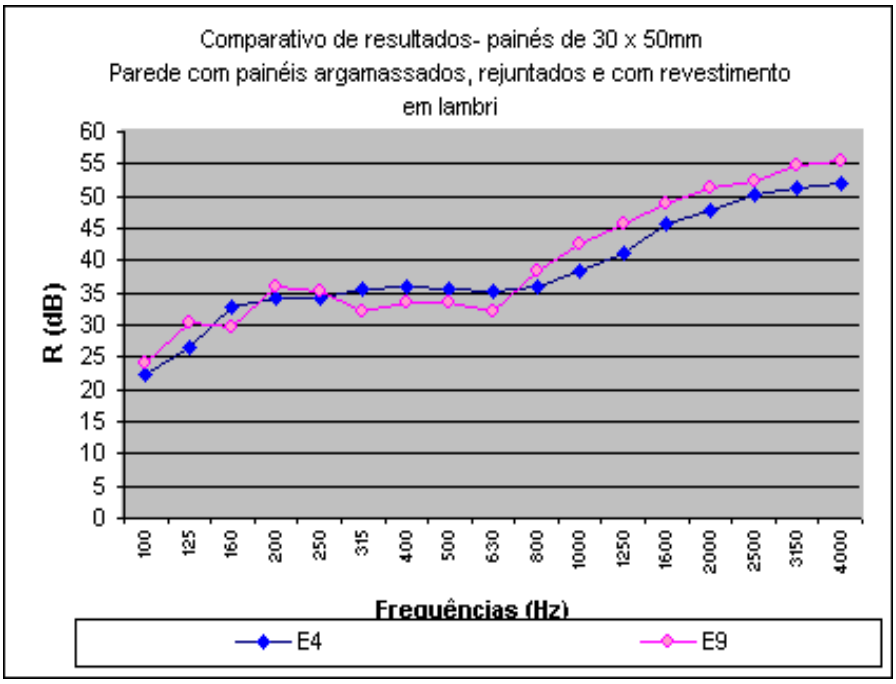


FIGURA 42 – Gráfico comparativo entre os ensaios E4 e E9.

4.4.5 Comparação entre os resultados dos ensaios E5 e E10 – parede executada com painéis argamassados, rejuntados, revestidos com lambri e com inserção de janela de madeira

A figura 43, demonstra novamente que a inserção da janela ocasiona a perda de isolamento geral do conjunto, nos dois ensaios, uniformizando os resultados.

FREQUENCIA	E5	E10
100	17,2	17,2
125	25,6	24,8
160	22,5	24,2
200	27,1	28,6
250	22,9	24,5
315	23,6	24,5
400	26,4	25,4
500	24,3	25,1
630	23,2	22,9
800	25,2	26,5
1000	27,4	27,6
1250	27,6	27,6
1600	27,4	27,7
2000	27,5	27,2
2500	27,1	27,7
3150	22,9	28,2
4000	22,1	29,4
Rw	26	26

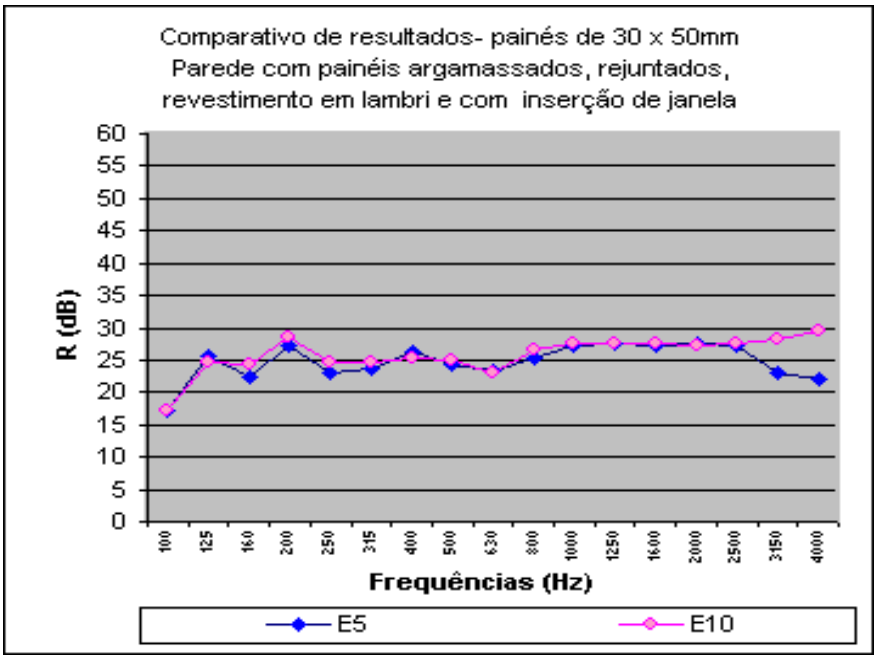


FIGURA 43 – Gráfico comparativo entre os ensaios E5 e E10.

5 CONCLUSÃO

A série de ensaios realizados permitiu avaliar acusticamente, não apenas o sistema construtivo como um todo, mas principalmente um de seus principais componentes- a placa de concreto com mistura de raspas de pneus.

Dos resultados obtidos podemos constatar e concluir o seguinte:

- A performance acústica das placas são excelentes considerando sua pequena espessura;
- O ganho do isolamento acústico com o aumento da espessura das placas não foi significativo a ponto de justificar a relação custo x benefício;
- O assentamento e rejuntamento dos painéis, com argamassa, para eliminação de frestas, é essencial para o isolamento acústico da parede;
- A introdução do revestimento de lambris de madeira contribui significativamente para o isolamento acústico do conjunto;
- A inserção de janelas convencionais, reduziu consideravelmente a eficiência acústica da parede.

O resultado final da avaliação acústica demonstrou que o sistema, além de econômico, e ecologicamente correto, possui características de isolamento acústico bastante satisfatórias, principalmente com relação ao painel em estudo.

Considerando que, a reciclagem de pneus inservíveis no Brasil e no mundo inteiro é cada vez mais uma necessidade e uma imposição, os incentivos tanto de órgãos oficiais como privados para o aproveitamento dos resíduos deverão aumentar significativamente.

A construção civil, por sua vez, pode contribuir de maneira efetiva para utilização desses resíduos em suas mais diversas atividades, sendo uma das quais a utilização em componentes na área de acústica, visto os resultados promissores do presente trabalho.

Desta forma, mais do que os resultados técnicos obtidos, o presente trabalho conclui que, o Sistema Habitacional em análise, como um todo, atinge seus objetivos na busca da melhoria da qualidade de vida da população, através de um trabalho com inclusão social (ocupação, remuneração e redução da pena da população carcerária) e preservação ambiental, além de constituir-se em num projeto agregado ao chamado desenvolvimento sustentável.

5.1 Sugestões para novos trabalhos

Os excelentes resultados obtidos nos testes realizados, deixam em aberto várias possibilidades de estudos para utilização dos resíduos de pneus especialmente nas áreas de isolamento acústico.

Através de novos estudos explorando composições com adoção de traços volumétricos alternativos, bem como em relação a variação da granulometria dos resíduos e inclusão dos resíduos em variadas composições de insumos, pode-se chegar a interessantes resultados na criação de novos elementos construtivos, ou aperfeiçoamento, ainda maior, do presente sistema construtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE BRASIL**. Reciclagem de pneus**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/reciclagem/pneus>. Acesso: 11 out. 2008.

ANTAC . **Revista On Line**. Disponível em <HTTP://www.antac.org.br/ambiente construído> .Acesso 11 out.2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:** Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1986.

BELDERRAIN, M. R. L. **Desenvolvimento de parede dupla como divisória acústica**. 18º Encontro do SOBRAC. Florianópolis, SC, 1998.

BNDES Setorial. n. 25. Rio de Janeiro, mar. 2007, p. 107-130. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br>. Acesso em: 22 jan. 2009.

BRASIL. Ministério das Cidades. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br>. Acesso em: 13 nov. 2008.

_____. Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional da Habitação, SNHIS/FNHIS**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/secretaria-de-habitacao/fnhis>. Acesso em: 10 nov. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 258**, 26 de agosto de 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2008 a.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 301**, 21 de março de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 10 nov. 2008 b.

COSTA, E. C. da. **Acústica técnica**. 1. ed. São Paulo, SP: E. Blücher Ltda., 2003. 127p.

DUARTE, E. A. C. **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história**. 2005. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GERGES, S. N. Y. **Ruído:** fundamentos e controle. 2. ed. rev. e ampl. Florianópolis, SC: NR Editora, 1992. 675p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140 – Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements**. Part 3, 1995.

_____. **ISO 717 – Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements**. Part 1: Airborne sound insulation, 1996.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.

KROTH, L. A. **Projeto Bom-Plac**. 2003. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MACEDO, D. C. B.; TUBINO, R. M. C. **Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu**. 1º Encontro Nacional da Pesquisa. Projeto Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, SP, 2005.

MÉNDEZ, et al. **Acústica arquitectonica**. 1. ed. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238p.

NETO, N. A. S. da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. 2006. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

OLIVEIRA, M.A. de **Estudo da Eficiência da Duplicação de Janelas na Melhoria do Isolamento Acústico Destes Componentes.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

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

PISANI, A. P. G. **Estudo de cortinas black-out como componentes no isolamento sonoro de fachadas**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

PIZZUTTI, et al. **Estudo de cortinas leves na isolação acústica de ambientes**. 18º Encontro do SOBRAC. Florianópolis, SC, 1998.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió – RN.

SEGRE, N. C. da. **Reutilização de borrachas de pneus usados como adição em pasta de cimento**. 1999. 92f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação no Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP.

SILVA, D. T. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. 2000. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

SILVA, L. B. A.; SILVA, J. M. da; DIAS, F. M. **Adição de borracha de pneus em concreto**. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador, BA, 2007.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 3. ed. Belo Horizonte: Termo – Acústica, 1997. 277p.