

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

**CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO
DE UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE
BLOCOS CERÂMICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nestor Alves dos Santos Neto

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

**CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UMA
PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS
CERÂMICOS**

por

Nestor Alves dos Santos Neto

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

Orientadora: Dinara Xavier da Paixão

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UMA PAREDE
DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS**

elaborada por
Nestor Alves dos Santos Neto

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

COMISSÃO EXAMINADORA

Dinara Xavier da Paixão, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Erasmu Felipe Vergara Miranda, Dr. Eng. (UFSC)

Marco Antônio Pinheiro, Dr. (UNIJUÍ)

Santa Maria, 19 de dezembro de 2006

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e sempre mostrar o caminho certo.

Aos meus pais, Joana e Nestor, pelo amor, por sempre acreditarem e apoiarem.

A minha namorada Cristiane (Kiki), pelo incentivo, compreensão e carinho nos momentos difíceis.

A Professora Dinara Xavier da Paixão, pela dedicação, disponibilidade, confiança, desprendimento e incentivo na orientação do trabalho.

Ao Professor Marco Antônio Pinheiro, pelas contribuições, idéias, interesse e grandes sugestões durante a pesquisa.

A UFSM, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade proporcionada para desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores e colegas, especialmente aos Professores Eduardo Rizzatti e Odilon Pâncaro Cavalheiro pelo conhecimento da alvenaria estrutural, engenheiro Marco Antônio Pozzobon pelas orientações fornecidas.

Aos funcionários do LMCC (Laboratório de Materiais e Construção Civil), pelas contribuições.

Ao bolsista Alisson Dondé, pelo auxílio, interesse, finais de semana e amizade durante a realização dos ensaios e coleta de dados.

Ao Engenheiro Ivair Pasquali, grande amigo, pela colaboração para obtenção do material para realização dos ensaios.

A Sociedade Vicente Pallotti, através do Sr. João Carlos Pizzutti e do Pe. Cláudio, pelo fornecimento dos blocos de alvenaria estrutural; à empresa FIDA, na pessoa do Sr. Paulo Anversa, pela argamassa de assentamento e revestimento.

A FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Sul), pela bolsa de iniciação científica.

A todas outras pessoas, que por ventura tenha esquecido, e que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa:	12
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Organização do trabalho	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 A Alvenaria.....	16
2.1.1 Origem histórica da alvenaria	16
2.1.2 Atualidade da alvenaria tradicional.....	18
2.1.3 A ortotropia da alvenaria	19
2.2 A Alvenaria estrutural	19
2.2.1 Vantagens da alvenaria estrutural	21
2.2.2 Desvantagens da alvenaria estrutural	22
2.2.3 Tipos de alvenaria estrutural	22
2.2.4 Componentes e elementos da alvenaria estrutural	23
2.2.4.1 Componentes	24
2.2.5 Fatores que afetam a qualidade da alvenaria estrutural.....	35
2.3 A Acústica.....	35
2.3.1 Introdução Histórica.....	35
2.3.2 Efeitos do ruído sobre a saúde e bem estar das pessoas.....	38
2.3.3 Conceitos relativos ao som	39
2.3.3.1 Pressão Sonora.....	39
2.3.3.2 Freqüência	39
2.3.3.3 Velocidade do som nos fluídos e sólidos.....	39
2.3.3.4 O Nível de Pressão Sonora e o Decibel (dB)	40
2.3.3.5 Adição de nível de pressão sonora	41
2.3.3.6 Ruído de fundo ou ruído ambiente	41
2.3.3.7 Subtração do ruído de fundo	42
2.3.4 Transmissão e isolamento do som.....	42
2.3.4.1 Transmissão através de três meios.....	44
2.3.4.2 Índice de Redução Sonora em Paredes Simples	45
2.3.4.3 Índice de Redução Sonora em Parede Vibrante	46
2.3.4.4 Transmissão ressonante e não-ressonante	49
2.3.4.5 Lei da Massa x Construção Civil	50
2.3	

.4.6 Transmissão marginal ou “transmissão por flancos”	52
2.3.4.7 Outros fatores que influenciam no isolamento de uma parede	54
3. METODOLOGIA	55
3.1 Considerações sobre as Normas Internacionais ISO 140 e ISO 717	55
3.2 Local de realização dos ensaios (Câmaras Reverberantes da UFSM)	58
3.3 Condições ambientais	59
3.4 A Parede em estudo	59
3.5 Equipamentos empregados	61
3.6 Experimentos realizados	62
4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS.....	64
4.1 Resultados dos ensaios e análise comparativa parcial.....	64
4.1.1 Ensaio 01	64
4.1.2 Ensaio 02	65
4.1.3 Comparativo entre os ensaios 01 e 02	66
4.1.4 Ensaio 03	67
4.1.5 Comparativo entre ensaio 02 e 03.....	68
4.1.6 Ensaio 04	69
4.1.7 Comparativo entre os ensaios 03 e 04	70
4.1.8 Ensaio 05	71
4.1.9 Comparativo entre ensaio 04 e 05.....	72
4.1.10 Ensaio 06	72
4.1.11 Comparativo entre ensaio 05 e 06.....	73
4.1.12 Ensaio 07	74
4.1.13 Comparativo entre ensaio 06 e 07.....	75
4.1.14 Ensaio 08	76
4.1.15 Comparativo entre ensaio 07 e 08.....	77
4.1.16 Ensaio 09	78
4.1.17 Comparativo entre ensaio 08 e 09.....	79
4.1.18 Ensaio 10	80
4.1.19 Comparativo entre ensaio 09 e 10.....	80
4.1.20 Evolução do INDEX.....	81
4.2 Análise global dos resultados dos ensaios	83
4.2.1 Comparativo entre ensaio 02 e 04.....	83
4.2.2 Comparativo entre ensaio 03 e 08.....	84
4.2.3 Comparativo entre ensaio 07 e 10.....	85
4.3 Cálculos analíticos para comparação com os ensaios.....	86
4.3.1 Freqüência crítica	86
4.3.2 Método do Patamar	87

4.4 Aspectos gerais da análise	90
5. CONCLUSÃO	91
5.1 Considerações finais	91
5.2 Sugestões para futuros trabalhos	93

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

**CARACTERIZAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UMA
PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS**

AUTOR: NESTOR ALVES DOS SANTOS NETO
ORIENTADORA: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 19 de dezembro de 2006.

O trabalho buscou caracterizar a performance do isolamento sonoro de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Trabalhou-se com uma pesquisa experimental, através da determinação minuciosa dos constituintes e a posterior análise do Índice de Redução Sonora. Constatou-se a dificuldade de identificação de dados bibliográficos específicos para previsão teórica do isolamento acústico da alvenaria estrutural. Os resultados experimentais mostraram, além do desempenho acústico da parede de alvenaria estrutural, a localização da frequência de coincidência e a importância da formação de pontes acústicas, decorrentes de uma pequena camada de revestimento colocada sobre a parede com conexão elástica. Comprovou-se, também, a importância do revestimento da parede na sala de emissão para o desempenho do isolamento acústico. Trata-se de um trabalho que apresenta dados experimentais, constituindo-se em subsídios para os projetistas desse sistema construtivo.

Master's Dissertation
Civil Engineering Post- Graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

**CHARACTERIZATION OF THE ACOUSTIC ISOLATION
OF A CERAMIC BLOCKS MASONRY WALL**

AUTHOR: NESTOR ALVES DOS SANTOS NETO
ADVISOR: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Degree's Defense place and date: Santa Maria, December 19th,
2006.

The study aimed to characterize the acoustic isolation of a ceramic blocks masonry wall performance. An experimental research was adopted, through a detailed establishment of the constituents and further analysis of the Sound Reduction Index. The identification of specific bibliographic data to the theoretical prediction of the structural masonry acoustic isolation was difficult to find. The experimental results demonstrated, besides the acoustic performance of the ceramic blocks masonry wall, the position of the coincidence frequency and the acoustic bridges formation importance, resulted from a slight covering layer added to the wall within elastic connection. The wall's covering layer importance to the acoustic isolation performance in the emission room was also attested. This study comes up with experimental data; being itself an important source to projectors of this constructive system.

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – CURVA PADRÃO DA NORMA ISO 717	57
TABELA 02 – CARACTERIZAÇÃO DOS ENSAIOS	61
TABELA 03 – INDEX (DB) DOS ENSAIOS	82
TABELA 04 – CARACTERÍSTICAS DA PAREDE ESTUDADA	87
TABELA 05 – MÉTODO DO PATAMAR	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Edifício Monadnock	18
Figura 02 – Edifício Muriti, São José dos Campos	20
Figura 03 – Bloco, meio bloco e bloco de amarração cerâmico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm	27
Figura 04 – Canaleta, canaleta jota, canaleta compensador e bloco 45° cerâmico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm	28
Figura 05 – Bloco hidráulico e bloco elétrico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm	29
Figura 06 – Bloco, meio bloco, bloco canto e canaleta-linha estrutural 14 x 19 x 39 cm	30
Figura 07 – Canaleta jota e canaleta compensador-linha estrutural 14 x 19 x 39 cm	31
Figura 08 – Partes do teatro grego	36
Figura 09 – Teatro romano	36
Figura 10 – Igreja medieval (SOUZA, 2003)	37
Figura 11 – Meios de transmissão do ruído aéreo	42
Figura 12 – Reflexão, absorção e transmissão	44
Figura 13 – Curva típica de Índice de Redução Sonora para paredes simples	46
Figura 14 – Efeito da coincidência	48
Figura 15 – Curva típica de Índice de Redução Sonora para paredes simples espessas	51
Figura 16 – Diferentes caminhos de propagação da energia sonora entre dois espaços	52
Figura 17 – Esquema exemplificativo da influência da transmissão marginal	53
Figura 18 – Câmaras Reverberantes da UFSM	58
Figura 19 – Equipamentos utilizados nos ensaios	62
Figura 20 – Parede de alvenaria estrutural	63
Figura 21 – Ensaio 01 - Conexões elásticas sem reboco aos 7 dias.	65
Figura 22 – Ensaio 02 - Conexões elásticas sem reboco aos 14 dias.	66
Figura 23 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 01 e o Ensaio 02	67
Figura 24 – Ensaio 03 - 07 dias do revestimento da parede e conexões semi-rígidas	68
Figura 25 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 02 e o Ensaio 03	69
Figura 26 – Ensaio 04 - conexões elásticas com reboco	70
Figura 27 – Comparação do índice de isolação entre o Ensaio 03 e o Ensaio 04	71
Figura 28 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 04 e o Ensaio 05	72
Figura 29 – Ensaio 06 - Parede revestida nos dois lados com conexões elásticas aos 7 dias	73
Figura 30 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 05 e o Ensaio 06	74
Figura 31 – Ensaio 07 - Parede revestida nos dois lados com conexões elásticas aos 14 dias	75
Figura 32 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 06 e o Ensaio 07	76

Figura 33 – Ensaio 08 - Parede revestida nos dois lados com conexões semi-rígidas	77
Figura 34 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 07 e o Ensaio 08.....	78
Figura 35 – Ensaio 09 - conexões rígidas e reboco na emissão e recepção	79
Figura 36 – Comparação do índice de isolação sonora entre o Ensaio 08 e o Ensaio 09.....	80
Figura 37 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 09 e o Ensaio 10.....	81
Figura 38 – Evolução do INDEX (dB).....	82
Figura 39 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 02 e o Ensaio 04.....	84
Figura 40 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 03 e o Ensaio 08.....	85
Figura 41 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 07 e o Ensaio 10.....	86
Figura 42 – Traçado da linha com inclinação de 6 dB/oitava	89

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, os transtornos e reclamações causados pelos ruídos aumentam dia-a-dia, devido a alguns fatores, tais como: equipamentos eletrônicos cada vez mais numerosos e potentes, fachadas das edificações muito expostas e sem tratamento adequado, pouca isolamento dos materiais usados na interface de economias distintas, pouca isolamento dos materiais usados na interface de uma mesma economia, vibrações transmitidas pelas estruturas, etc.

Os problemas decorrentes do mau desempenho acústico são, em geral, complexos. Quando não há uma preocupação na etapa do projeto, as soluções, na maioria das vezes, exigem grande aplicação financeira.

No presente trabalho foi estudado o desempenho da alvenaria estrutural, quanto a sua isolamento sonora, através de ensaios em laboratório, com uma parede, na qual foram analisadas variáveis, como: o tipo de conexão entre as paredes do laboratório e a parede estudada, a influência do uso de revestimento e o seu período de aplicação.

O estudo do potencial acústico desse método construtivo visa colaborar com o bem estar dos usuários de edificações construídas em alvenaria estrutural e, ao mesmo tempo, incentivar a realização de outros trabalhos, com novos materiais e técnicas construtivas.

1.1 Justificativa:

Um bom projeto de edificação deve focar a questão dos ruídos e vibrações, um problema muito comum e discutido nos dias de hoje. O som pode ser transmitido tanto pelo ar como pela estrutura, causando desconforto para os usuários, que têm exigido maior qualidade acústica nas suas residências.

Segundo Emery e Rheingantz (1995), via de regra, o arquiteto tem privilegiado um único dos sentidos humanos em detrimento aos demais: a visão. A maior preocupação dos arquitetos com a qualidade estética de suas obras refere-se, basicamente, a seu aspecto visual, à capacidade que volumes, formas e cores das edificações teriam em produzir um prazer sensorial (visual) nas pessoas. Pouco, ou quase nada, de sua preocupação é voltada para a satisfação da audição e os demais sentidos.

O passo mais importante para a intervenção na paisagem sonora interior e urbana é, sem dúvida, a eliminação, ou redução a níveis razoáveis, dos sons desagradáveis, os ruídos. Um nível excessivo de ruídos, além de todos os problemas de natureza física e psicológica que acarretam, sobrepõem-se aos sons desejáveis, impossibilitando sua percepção. É necessário “demolir” o ruído para abrir espaço à construção de um novo ambiente sonoro. (EMERY & RHEINGANTZ, 1995)

Sem essa preocupação, com relação à acústica das edificações, os sons que se experimentam diariamente, quase sempre são desagradáveis.

A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos mais utilizados na construção civil, por isso optou-se por trabalhar a determinação dos índices de redução sonoros desse método construtivo.

A alvenaria estrutural, segundo Coelho (1998), há bastante tempo vem sendo utilizada na África, na Europa e em outros países.

No Brasil, no entanto, só recentemente este processo construtivo, por fazer parte de um sistema de construção industrializada, tem sido aprimorado em sua utilização.

A execução da alvenaria estrutural a caracteriza como um método construtivo simples, eficiente e racional, tendo em vista sua simplicidade de ser projetada e de ser dimensionada. (COELHO, 1998)

Essa racionalização, durante a execução, pode resultar em economia, devido a menor quantidade de mão de obra empregada – embora mais qualificada – e menor quantidade de entulho gerado. Dispensa-se, quase que integralmente a cultura do concreto armado. Com o avanço dessa tecnologia, têm-se obras com cronogramas bem mais rápidos.

No Brasil, destaca-se a alvenaria estrutural de blocos de concreto e de blocos cerâmicos. O material cerâmico é o mais empregado na região sul.

Procura-se, no presente trabalho, contribuir com a melhoria das técnicas construtivas da alvenaria estrutural, relacionadas ao desempenho acústico, já que os projetistas desse método construtivo, atualmente, não dispõem de informações completas sobre o potencial dos materiais constituintes sobre esse enfoque.

O estudo servirá de base, também, para futuros trabalhos relacionados à área de acústica em edificações, pois a alvenaria estrutural é apenas um dos métodos construtivos utilizados no Brasil, existindo outros, que também poderão ser estudados sob a mesma metodologia.

O estudo se justifica, ainda, por proporcionar melhores condições na qualidade de vida do ser humano, uma vez que o desconforto acústico pode desenvolver problemas patológicos e psico-emocionais nas pessoas. Dessa forma o desempenho acústico deve ser tão ou mais importante do que a estética da edificação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Conhecer o comportamento de uma parede de alvenaria estrutural, quanto a sua isolamento acústica, avaliando o tempo de execução da alvenaria e do revestimento, o uso de diferentes tipos de conexões e a influência do uso do revestimento com argamassa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mostrar o desempenho da isolamento acústica de uma parede de alvenaria estrutural, contribuindo para o aprimoramento desse método construtivo de edificações;
- Determinar o Índice de Redução Sonora e o INDEX para uma parede de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos;
- Estudar a utilização de conexões elásticas e/ou rígidas numa parede em alvenaria estrutural e sua influência na transmissão sonora para outros elementos (paredes e/ou lajes) a ela ligados (transmissão por flancos);
- Avaliar o comportamento da isolamento sonora da parede de alvenaria estrutural, quando da aplicação de argamassa de revestimento;
- Identificar se há mudanças no isolamento devido a diferentes fases de cura (secagem) da argamassa de revestimento;
- Verificar a influência da argamassa de revestimento na transmissão por flancos;
- Incentivar a realização de outros trabalhos na área da acústica das edificações, para estudo de outros elementos e métodos construtivos;

- Contribuir, através dos conhecimentos decorrentes do trabalho, para a melhoria do conforto acústico e da qualidade de vida das pessoas.

1.3 Organização do trabalho

A presente Dissertação está organizada em cinco capítulos, referências bibliográficas, apêndices e anexos.

O capítulo 1 aborda o porquê da realização do trabalho, destacando a importância do tema, justificando a sua escolha, enfatizando o objetivo geral e objetivos específicos da dissertação.

O capítulo 2 mostra um histórico da alvenaria e sua origem, contemplando conceitos e contextualizando a alvenaria estrutural, seus componentes e elementos, suas vantagens e desvantagens. Aborda, também, idéias da acústica arquitetônica, o efeito do ruído sobre a saúde e o bem estar das pessoas e o estudo do isolamento de ruídos aéreos em paredes simples e suas leis fundamentais.

O capítulo 3 trata da metodologia empregada durante os ensaios realizados, a determinação experimental do Índice de Redução Sonoro (R) e do INDEX. Escreve-se sobre as câmaras reverberantes do Setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), as condições ambientais, a parede estudada, os equipamentos utilizados, a seqüência dos experimentos e comenta as Normas Internacionais ISO 140 e ISO 717.

O capítulo 4 apresenta a análise e comparação dos diversos ensaios realizados e os resultados obtidos.

No capítulo 5 conclui-se o trabalho e apresentam-se sugestões para a realização de futuras pesquisas nessa área.

A bibliografia citada no texto, bem como os apêndices e os anexos, encerram o trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Alvenaria

A alvenaria pode ser entendida como um componente construído em obra, a partir da união entre tijolos ou blocos com juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. (SABBATINI, 1984)

As edificações em alvenaria estão entre as construções que têm maior aceitação pelo homem, em todos os tempos. Edificações monumentais em alvenaria de pedras e tijolos ainda permanecem de pé, após mais de 2.000 anos passados de sua construção. Num testemunho da durabilidade e aceitação desse material e sistema construtivo ao longo do tempo, muitas dessas edificações antigas continuam sendo utilizadas. (DUARTE, 1999)

Segundo Lordsleem Júnior (2002), a palavra alvenaria deriva do árabe *al-banna*: aquele que constrói (*banna* significa construir). Quando empregada apenas com a função de vedação, portanto não sendo dimensionada para resistir a cargas além de seu peso próprio, chama-se alvenaria de vedação. Essa alvenaria é caracterizada por elevados desperdícios, adoção de soluções construtivas no próprio canteiro de obras (no momento da realização do serviço) pelo pedreiro ou no máximo pelo mestre, ausência de fiscalização dos serviços, deficiente padronização do processo de produção e ausência de planejamento prévio à execução.

A alvenaria de vedação é utilizada para o fechamento dos vãos da maioria dos edifícios construídos pelo método convencional, ou seja, estrutura em concreto armado com preenchimento em blocos cerâmicos ou de concreto.

A alvenaria estrutural, objeto do presente trabalho, não apresenta estrutura de concreto e adota a vedação com blocos modulares de maior resistência, que possuem vazados na vertical, por onde passam as tubulações, sem “rascos nas paredes”, constituindo-se numa obra mais rápida, que gera menos entulho e mais economia.

2.1.1 Origem histórica da alvenaria

A alvenaria foi o principal método construtivo até o início do século XX e o tijolo é o mais antigo dos materiais de construção manufaturados, ainda em uso. (JÚNIOR, 1992)

Ramalho & Correa (2003) citam alguns exemplos de obras executadas em alvenaria, desde a antiguidade, destacando as três grandes pirâmides de Guizé, (Quéfren, Quéops e Miquerinos), construídas em alvenaria de blocos de pedra, que datam de aproximadamente 2600 anos antes de Cristo. Ilustram, o Farol de Alexandria, como uma obra marcante, do ponto de vista estrutural, com altura equivalente a um prédio de 45 pavimentos. Enfatizam o Coliseu como o principal exemplo dos teatros romanos que eram suportados por pórticos formados por pilares e arcos.

Construído em Chicago entre os anos de 1889 e 1891, o Edifício Monadnock tem 16 andares e 65 metros de altura, como mostra a figura 01. Com paredes de 1,80 metros de espessura na base, sua construção foi considerada na época como limite dimensional máximo para estruturas de alvenaria, calculadas pelos métodos empíricos até então empregados. Acredita-se que, se esse mesmo edifício fosse dimensionado hoje, suas paredes teriam 30 centímetros de espessura, no térreo, empregando-se os mesmos materiais.

Verifica-se que a alvenaria é um método construtivo antigo, cujas obras citadas anteriormente ainda são referências arquitetônicas e estudadas até os dias de hoje. Elas desafiam o tempo, utilizando-se de pedra, argila e outros materiais básicos.



Figura 01 – Edifício Monadnock

Fonte: <http://es.geocities.com/xmanoel/chicago.chicago20040208.html>

2.1.2 Atualidade da alvenaria tradicional

Com o avanço tecnológico da indústria do cimento, empresas especializadas na tecnologia do concreto e o surgimento dos pré-fabricados (pilares, vigas, pré-lajes, etc), a alvenaria tradicional sofreu um avanço bastante considerável nos últimos anos, apresentando inclusive a redução no tempo de execução. O desenvolvimento de *softwares* de cálculo estrutural proporcionou o emprego de estruturas mais esbeltas e a diminuição nos desperdícios.

Essas medidas tomadas visam competir com uma nova tecnologia, chamada alvenaria estrutural.

2.1.3 A ortotropia da alvenaria

A alvenaria é um material ortotrópico, porque possui propriedades que são diferentes nas direções longitudinal, radial e transversal, ou seja, nas três direções ortogonais, constituindo-se num caso especial de anisotropia¹. (POPOV, 1978)

Santos (2001) destaca que, antigamente, a análise sobre a alvenaria era simples, considerando-a com um comportamento contínuo, elástico e isotrópico. Atualmente, com a evolução das técnicas numéricas, busca-se respeitar a não-linearidade do material.

Segundo Paixão (2002), em geral, os trabalhos sobre transmissão sonora em edificações se referem à alvenaria somente como isotrópica, devido a dificuldade na aquisição de dados que permitam o seu tratamento como ortotrópica. Em sua Tese, a autora mostrou resultados onde a alvenaria, no caso de tijolos maciços, foi considerada isotrópica e ortotrópica, revelando valores muito próximos nos Índices de Redução Sonora, bem como nas diferentes faixas de frequência, quando avaliadas as duas condições.

O presente trabalho, por isso, considerará a alvenaria estrutural como isotrópica.

2.2 A Alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria, dimensionadas segundo métodos de cálculo racionais, como principal estrutura suporte dos edifícios. Nesse processo construtivo, as paredes constituem-se ao mesmo tempo no subsistema estrutura e vedação.

¹ Anisotropia – propriedades mecânicas distintas em diferentes direções, com relação aos seus planos cristalográficos

A simplicidade resultante deste fato traz inúmeras vantagens do ponto de vista construtivo, possibilitando a racionalização do processo, com a conseqüente diminuição de custos e prazos. Tais motivos justificam a difusão da alvenaria em praticamente todas as regiões do país, num curto espaço de tempo. (FRANCO, 1992)

Segundo Rosso (1994), o desconhecimento das potencialidades desse sistema construtivo, faz com que o “mito da inflexibilidade arquitetônica” conduza a opiniões do tipo: “o processo se adapta melhor a obras moduladas, de geometria simples e alturas não muito grandes”.

Acredita-se que as primeiras edificações executadas no Brasil com blocos vazados de concreto, tenham ocorrido no ano de 1966, na cidade de São Paulo, com 4 pavimentos. Em 1972, foram construídos também na cidade de São Paulo, prédios com 12 pavimentos, utilizando-se de alvenaria armada de blocos de concreto. Logo, em São José dos Campos, foi construído com 16 pavimentos, o edifício Muriti, mostrado na figura 02, também em alvenaria armada de blocos de concreto. Somente em 1977, tem-se notícia de prédios com 9 pavimentos executados em alvenaria não armada, nesse caso foram utilizados blocos sílico-calcários. (CAMACHO, 2001)



Figura 02 – Edifício Muriti, São José dos Campos
Fonte: Manual da ABCI, 1990

Segundo Roman, Mutti & Araújo (1999), a base de projetos em alvenaria estrutural são a possibilidade de suportar grandes tensões de compressão, mas pequenas de tração, bem como a necessidade de evitar toda a tração causada por momento fletor.

Para se atingir a finalidade da alvenaria estrutural, portanto, deve-se investir no desenvolvimento de blocos, explorando-se a resistência à compressão dos mesmos.

No Brasil, a técnica de cálculo e execução da alvenaria estrutural data do final dos anos 60, mas ainda é pouco conhecida da maioria dos profissionais da Engenharia Civil. A abertura de novas fábricas de materiais e o surgimento de grupos de pesquisas sobre o tema fazem com que, a cada dia, mais construtores utilizem e se interessem pelo sistema. (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999)

Ramalho & Correa (2003) afirmam que a alvenaria não-armada de blocos vazados de concreto parece ser uma das técnicas mais promissoras, tanto pela economia proporcionada, como pelo número de fornecedores já existentes. Sua utilização é mais indicada em edificações residenciais de padrão baixo ou médio, com até 12 pavimentos. Nesses casos, utilizam-se paredes com espessura de 14 cm e a resistência do bloco normalmente necessária é de 1 MPa vezes o número de pavimentos acima do nível considerado.

Ramalho & Correa (2003) enfatizam, ainda, que a alvenaria em blocos cerâmicos também ganha força com o aparecimento de fornecedores confiáveis para resistências superiores a 10 MPa.

2.2.1 Vantagens da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural tem se caracterizado por aspectos técnicos e econômicos que destacam fatores como: a economia no uso de fôrmas e nos revestimentos, a redução de desperdícios, a simplificação e a rapidez na execução.

As fôrmas são usadas única e exclusivamente para se fazer a concretagem das lajes, já que o sistema não faz uso de vigas e pilares. O controle tecnológico e a precisão dimensional dos blocos levam a uma significativa redução dos revestimentos.

As tubulações são embutidas nos vazados verticais dos blocos, proporcionando que os desperdícios com ações de “rasgos” nas alvenarias sejam diminuídos.

Não há necessidade de profissionais especializados na confecção de armaduras (armadores) e nem das fôrmas (carpinteiros), além disso, não há necessidade de esperar entre uma etapa e outra, como no caso do concreto armado, que se espera curar as peças. Com isso, as etapas ocorrem simultaneamente, diminuindo o tempo de execução da obra.

2.2.2 Desvantagens da alvenaria estrutural

Apesar de apresentar muitas vantagens, esse sistema construtivo não é flexível, impossibilitando a adaptação arquitetônica.

Como as paredes portantes fazem parte da estrutura, não existe a possibilidade de rearranjos arquitetônicos.

Outro fator a ser considerado é a necessidade de mão de obra treinada, especializada, apta a fazer uso de instrumentos para sua execução.

2.2.3 Tipos de alvenaria estrutural

Segundo Camacho (2001), a alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo empregado, quanto ao tipo de unidades ou ao material utilizado, como segue:

- a) **Alvenaria Estrutural Armada:** é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-concreto (Graute).
- b) **Alvenaria Estrutural Não Armada:** é o processo construtivo em que nos elementos estruturais existem somente armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos (fissuras, concentração de tensões, etc).

- c) **Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada:** é o processo construtivo em que alguns elementos resistentes são projetados como armados e outros como não armados.
- d) **Alvenaria Estrutural Protendida:** é o processo construtivo em que existe uma armadura ativa de aço contida no elemento resistente.
- e) **Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos:** é função do tipo das unidades.
- f) **Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Concreto:** conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de concreto.

2.2.4 Componentes e elementos da alvenaria estrutural

Os componentes da alvenaria estrutural são basicamente os blocos (concreto, cerâmico, sílico-calcário), argamassa de assentamento, graute e armadura.

Já os elementos da alvenaria estrutural, como ressalta Camacho (2001), são as estruturas formadas a partir dos componentes. Os principais são:

- Parede resistente: parede com função de resistir às ações atuantes na estrutura, além de seu peso próprio, desempenhando também as funções de vedação.
- Parede de contraventamento: parede resistente que além de resistir às ações verticais, tem por função resistir às ações horizontais, segundo seu plano, sejam da ação de vento, de desaprumo da estrutura ou sísmicas, conferindo rigidez necessária à estrutura.
- Parede de Fechamento: parede para resistir somente ao seu peso próprio e desempenhar as funções de vedação.

- Pilar: elemento que absorve ações verticais em que a relação de seus lados seja inferior a cinco.
- Verga: elemento estrutural colocado sobre os vãos das aberturas com a finalidade de transmitir as ações verticais para as paredes adjacentes.
- Contraverga: elemento estrutural colocado sob os vãos das aberturas com a finalidade de absorver tensões de tração nos cantos.
- Coxim: elemento estrutural não contínuo, apoiado na parede, com a finalidade de distribuir cargas verticais.
- Cinta: elemento estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes, vergas ou contravergas, com a finalidade de uniformizar a distribuição das ações verticais e servir de travamento e amarração.
- Enrijecedores: elementos estruturais vinculados a uma parede resistente com a finalidade de produzir um enrijecimento na direção perpendicular ao plano da parede.
- Diafragma: elemento estrutural laminar admitido como totalmente rígido em seu próprio plano e sem rigidez na direção perpendicular, sendo normalmente o caso das lajes maciças.

2.2.4.1 Componentes

a) O Bloco

O bloco de alvenaria estrutural constitui a unidade básica desse método construtivo.

É o componente mais importante, uma vez que comanda a resistência à compressão e determina os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos. (CAMACHO, 2001)

As unidades mais utilizadas no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, segundo Ramalho & Correa (2003), em ordem decrescente de utilização: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcárias.

Ainda segundo Ramalho & Correa (2003), quanto à forma, as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total. Se os vazios excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada.

Os blocos diferenciam-se dos tijolos, basicamente, por terem maiores dimensões que as máximas destes (250 x 120 x 55 mm, de comprimento, largura e altura, respectivamente). (CAVALHEIRO, 1995)

Roman, Mutti & Araújo (1999) afirmam que, para utilização em alvenaria estrutural, as unidades devem apresentar as seguintes qualidades: resistência à compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional.

a.1) Bloco de concreto

É a unidade mais utilizada no Brasil, confeccionada em diversas geometrias e resistências à compressão. Obtida pela mistura e cura do cimento Portland, agregados (grauído e miúdo) e água. Deve apresentar tolerância dimensional de ± 3 mm.

Os blocos-padrão encontrados apresentam resistência à compressão de 6 a 15 MPa, podendo apresentar, em casos especiais, resistência de até 20 MPa. (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999)

a.2) Bloco cerâmico

É o bloco mais utilizado na região Sul do Brasil, onde a argila – que é a matéria prima da unidade – é de boa qualidade e existem empresas cerâmicas com avançada tecnologia.

As unidades são moldadas em máquinas extrusoras, expostas a secagem e queimadas sob temperaturas muito elevadas, apresentando uma porosidade muito baixa devido à sinterização perfeita.

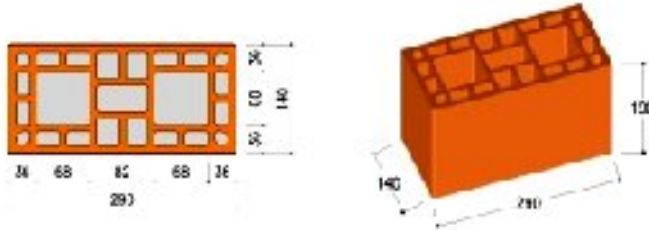
A qualidade das unidades cerâmicas está intimamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também ao processo de produção (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

Da mesma forma que nos blocos de concreto, fissuras, trincas e outros defeitos nos blocos cerâmicos podem acarretar prejuízos, tanto no assentamento dos blocos quanto na resistência da obra.

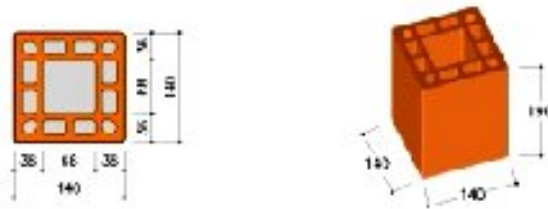
Da linha estrutural 14x19x29 cm, visualiza-se, na figura 03, o bloco, o meio bloco e o bloco de amarração; na figura 04, canaleta, canaleta jota, canaleta compensador, bloco 45°; na figura 05, o bloco hidráulico e o bloco elétrico. Da linha estrutural 14x19x39 cm, observa-se, na figura 06, o bloco, o meio bloco, bloco canto e canaleta; na figura 07, canaleta jota e canaleta compensador. Esses grupos de blocos cerâmicos são usualmente denominado “família de blocos”, por suas diferentes formas, dimensões e funções.

Bloco inteiro

Função: Amarração em canto 90°

**Meio Bloco**

Função: Amarração em canto 90°

**Bloco de amarração**

Função: Amarração de paredes em cruz e paredes em “T”

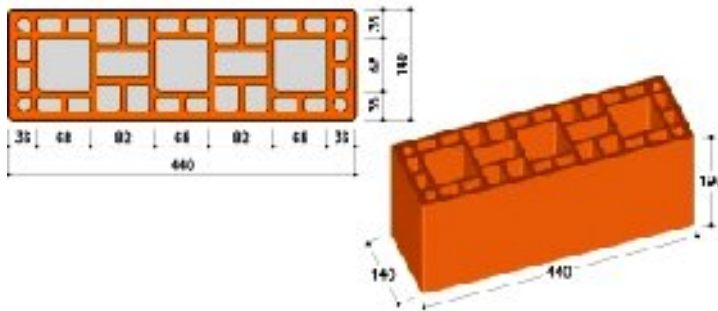


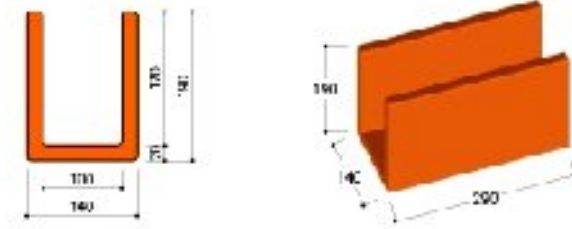
Figura 03 – Bloco, meio bloco e bloco de amarração cerâmico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm

Fonte: Catálogo de blocos cerâmicos estruturais – Cerâmica GRESCA

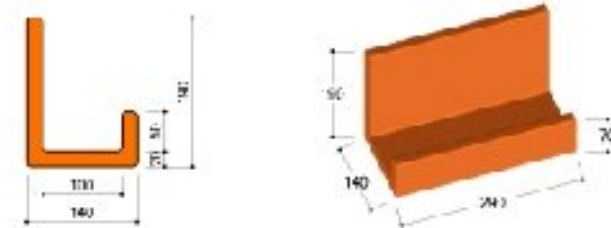
<http://www.ceramicagresca.com.br/>

Canaleta

Função: Vergas em portas e janelas e contravergas em janelas

**Canaleta jota**

Função: Apoio de laje

**Canaleta compensador**

Função: Apoio de laje

**Bloco 45°**

Função: Amarração em canto 45°

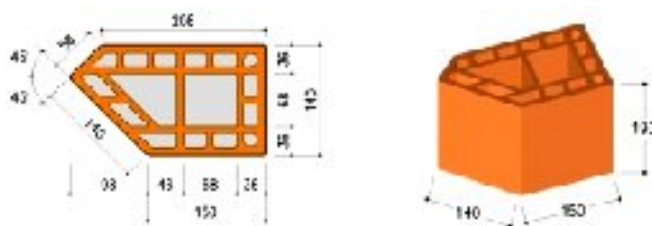


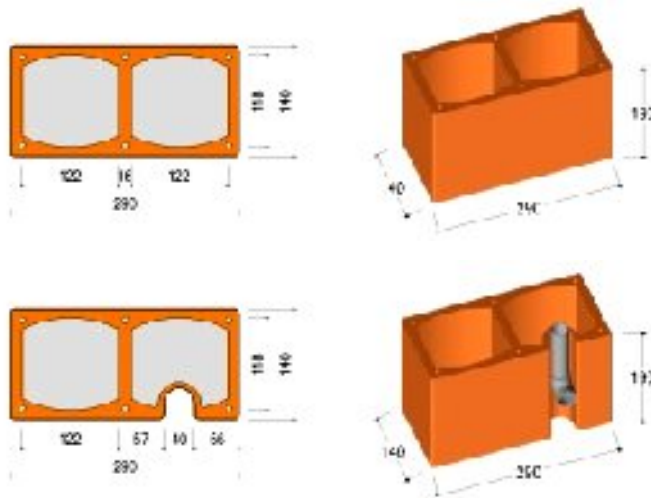
Figura 04 – Canaleta, canaleta jota, canaleta compensador e bloco 45° cerâmico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm

Fonte: Catálogo de blocos cerâmicos estruturais – Cerâmica GRESCA

<http://www.ceramicagresca.com.br/>

Bloco hidráulico

Função: Instalações hidráulicas

**Bloco elétrico**

Função: Instalações elétricas

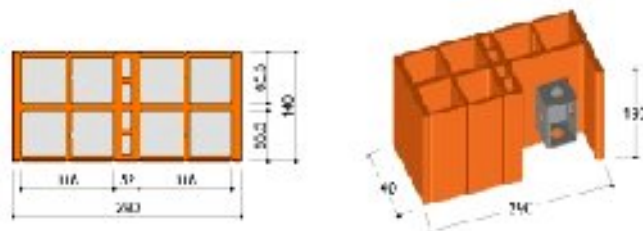


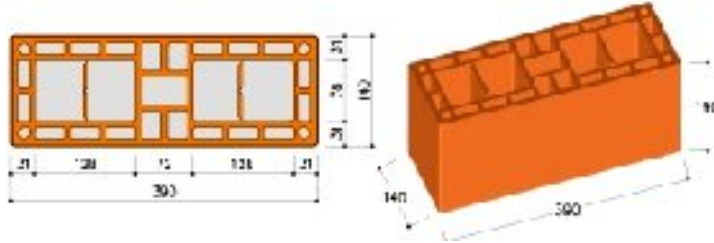
Figura 05 – Bloco hidráulico e bloco elétrico-linha estrutural 14 x 19 x 29 cm

Fonte: Catálogo de blocos cerâmicos estruturais – Cerâmica GRESCA

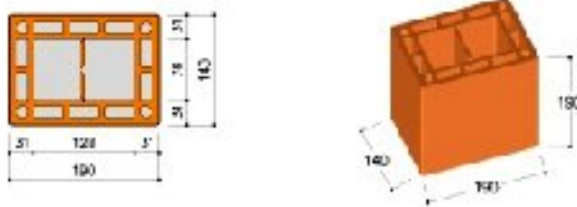
<http://www.ceramicagresca.com.br/>

Bloco inteiro

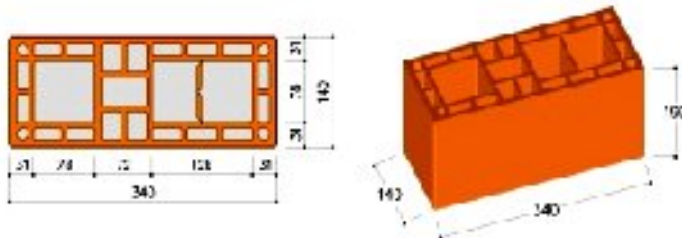
Função: Amarração em canto 90°

**Meio Bloco**

Função: Amarração em canto 90°

**Bloco canto**

Função: Amarração em canto 90°

**Canaleta**

Função: Vergas em portas e janelas e contravergas em janelas

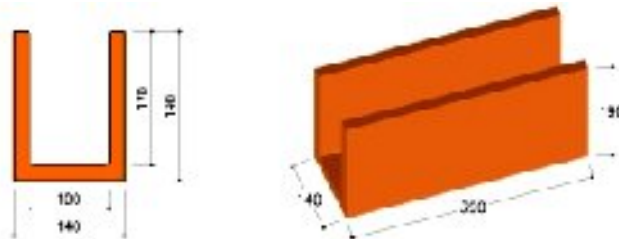


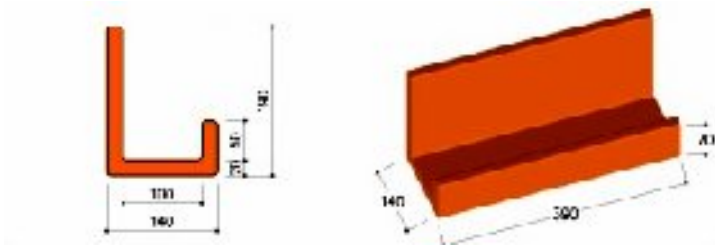
Figura 06 – Bloco, meio bloco, bloco canto e canaleta-linha estrutural 14 x 19 x 39 cm

Fonte: Catálogo de blocos cerâmicos estruturais – Cerâmica GRESCA

<http://www.ceramicagresca.com.br/>

Canaleta jota

Função: Apoio de laje



Canaleta compensador

Função: Apoio de laje

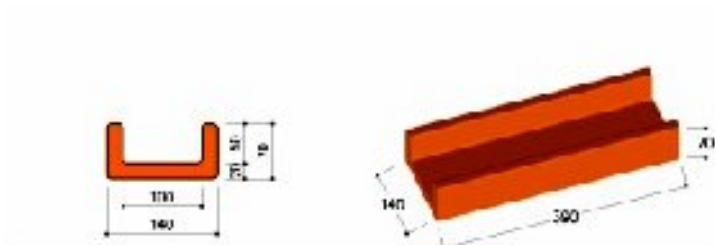


Figura 07 – Canaleta jota e canaleta compensador-linha estrutural 14 x 19 x 39 cm

Fonte: Catálogo de blocos cerâmicos estruturais – Cerâmica GRESCA

<http://www.ceramicagresca.com.br/>

Além da modulação nominal de 15 cm (largura), esses blocos podem ser encontrados com a modulação de 20 cm (largura).

a.3) Bloco sílico-calcário

Essas unidades são fabricadas a partir de uma mistura homogênea de areia silicosa (quartzosa) e cal virgem em pó, moldadas em prensas hidráulicas e curadas por vapor de pressão. Apresentam boa resistência à compressão, durabilidade e grande uniformidade dimensional.

Os blocos cerâmicos e os de concreto possuem dimensões semelhantes, de modo que a resistência e produtividade se equivalem. A grande vantagem do bloco

cerâmico é possuir uma porosidade inferior a do bloco de concreto. Essa porosidade inferior assegura uma maior estanqueidade das paredes externas contra infiltrações provenientes da chuva. Outra vantagem reside no fato de que a alvenaria cerâmica não apresenta retração, necessitando menor quantidade de juntas de movimentação (DUARTE, 1999).

b) Argamassa de assentamento

A argamassa é o agente agregador entre os blocos numa parede de alvenaria estrutural. A argamassa deve ser resistente, durável, capaz de manter a parede em condições estruturais por toda vida útil da edificação e, ainda, deve ajudar a criar uma barreira resistente à água. Deve acomodar as variações dimensionais e as tensões nos blocos, quando assentados (POZZOBON, 2003).

As argamassas mistas, usualmente compostas de areia, cimento, cal e água, são as mais adequadas para o uso na alvenaria estrutural.

Duarte (1999) afirma que a resistência da argamassa desempenha um papel secundário na resistência à compressão da parede em relação à resistência à compressão dos tijolos ou blocos.

As principais propriedades das argamassas são:

b.1) **No estado plástico:**

- *A trabalhabilidade:*

A argamassa de boa trabalhabilidade deve se espalhar sobre o bloco e aderir às superfícies verticais. A consistência deve ser tal que facilite o alinhamento do bloco. O peso da unidade e o das fiadas subsequentes não devem provocar o escorrimento da argamassa. (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999)

- *Retentividade de água:*

É a propriedade da argamassa de reter água quando posta em contato com as unidades (blocos).

Uma baixa retenção de água, fator aliado a um bloco com grande porosidade, retira água da argamassa de forma rápida, prejudicando o processo de hidratação do cimento, e conseqüentemente a aderência.

- *Tempo de endurecimento*

Se o endurecimento da argamassa ocorrer rapidamente, devido a uma baixa retentividade de água, por exemplo, poderá causar problemas no assentamento das unidades. Um endurecimento lento poderá ocasionar atrasos na construção.

b. 2) *No estado endurecido:*

- *Aderência*

A aderência, que é a capacidade de contato (grau) entre a argamassa e o bloco, pode ser considerada uma importante propriedade física individual da argamassa endurecida, comparável à própria resistência. (PEDROSO, 2001) Ela depende tanto das características das argamassas como das características dos blocos.

Segundo Roman, Mutti & Araújo (1999), os fatores que influenciam o grau de contato e a adesão são a trabalhabilidade da argamassa, a retentividade, a taxa de absorção inicial do bloco, a mão de obra, a quantidade de cimento na mistura, a textura da superfície do bloco, o conteúdo de umidade do bloco, a temperatura e a umidade relativa.

- *Resistência à compressão*

Em comparação com outras propriedades, como a aderência e a trabalhabilidade, a resistência à compressão das argamassas não é tão importante. É o bloco que resiste praticamente a todos os esforços de compressão.

A resistência à compressão de uma argamassa depende do tipo e da quantidade de cimento usado na mistura.

A argamassa deve ser resistente o suficiente para suportar os esforços que a parede será submetida. No entanto, não deve exceder a resistência dos blocos da

parede, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer devido a expansões térmicas ou outros movimentos na parede ocorram na junta (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

Pozzobon (2003) alerta: “Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima da argamassa. Um aumento desta resistência não aumentará a resistência da parede”.

Duarte (1999) enfatiza que a espessura ideal das juntas horizontais de argamassa deve ser em torno de 1,0 centímetro, admitindo-se aumentos até 1,5 centímetros. Juntas mais espessas somente conduzem a aumento de custos e reduções da resistência à compressão da alvenaria, já que aumenta a proporção de argamassa no volume da parede.

c) Graute

O graute é um microconcreto de alta plasticidade cuja função principal é aumentar a resistência da parede à compressão, em razão do aumento da seção transversal do bloco. Quando combinado com o uso de armaduras em seu interior, o graute combaterá também esforços de tração (MANZIONE, 2004).

Roman, Mutti & Araújo (1999) recomendam sempre que possível usar graute de fiada em fiada, ou pelo menos em duas vezes, uma até meio pé direito e a outra ao se atingir a última fiada. Este procedimento diminuirá a possibilidade de ocorrência de vazios nos alvéolos dos blocos.

Roman, Mutti & Araújo (1999) enfatizam que o graute deve ser adensado. Podem ser utilizados vibradores de agulha de pequeno diâmetro ou compactação manual.

Salienta-se que, no processo de execução, o graute não deve ser utilizado como pilaretes, já que esta não é sua função.

d) Armadura

As armaduras utilizadas juntamente com o graute possuem a função de combater os esforços de tração na alvenaria.

Outro tipo de armadura usada na alvenaria estrutural são os elementos de amarração de paredes, os “grampos”. Recomenda-se que a alvenaria trabalhe com

suas juntas amarradas, logo a utilização dos grampos não é aconselhável, sendo usada somente em alguns casos especiais.

2.2.5 Fatores que afetam a qualidade da alvenaria estrutural

Roman, Mutti & Araújo (1999) ao relacionarem fatores que influenciam a qualidade da alvenaria, citam: resistência do bloco, geometria da unidade, resistência da argamassa, deformação característica do bloco e da argamassa, espessura da junta, taxa de sucção inicial do bloco, retentividade de água da argamassa, qualidade da mão de obra e condições de cura.

Além desses fatores, deve-se primar pelos conceitos de qualidade, tanto na fase de elaboração de projeto, quanto na fase de execução, em razão da racionalização e organização das técnicas produtivas e do controle da produção.

Rauber (2005) destaca que, quando se opta pela adoção do sistema construtivo da alvenaria estrutural, para que se obtenham as vantagens técnicas e econômicas que levem a racionalização, esta opção já deve estar definida desde o início do empreendimento, gerando aumento de produtividade e redução de custos.

Segundo Griffith (1989), a "Qualidade Total" na construção consiste na interação entre projeto e construção. Nesse processo, há a interferência da legislação e regulamentação da construção, bem como dos subcontratados e fornecedores.

Franco (1996) ressalta que, muitas ações permitem a implementação dos princípios ligados à qualidade, como a melhoria na comunicação entre os projetistas e a equipe de obra, e a motivação de todos os participantes do processo.

Hall e Fletcher (1990) enfatizam que é muito importante o envolvimento dos clientes com o empreendimento.

2.3 A Acústica

2.3.1 Introdução Histórica

A importância do projeto acústico não é um fato recente, sendo demonstrado por gregos e romanos, desde a Antigüidade, com os teatros ao ar livre.

Os gregos exploravam a forma do teatro, construído para cultos religiosos, que eram acompanhados de cânticos e danças rituais. Essas edificações eram

situadas em locais inclinados, para o aproveitamento da topografia local. Distribuíam a platéia em semi-círculos, aproximando o público do palco e, com isso, proporcionando maior captação sonora pelos espectadores. A Figura 08 detalha um teatro grego. (SOUZA, 2003)

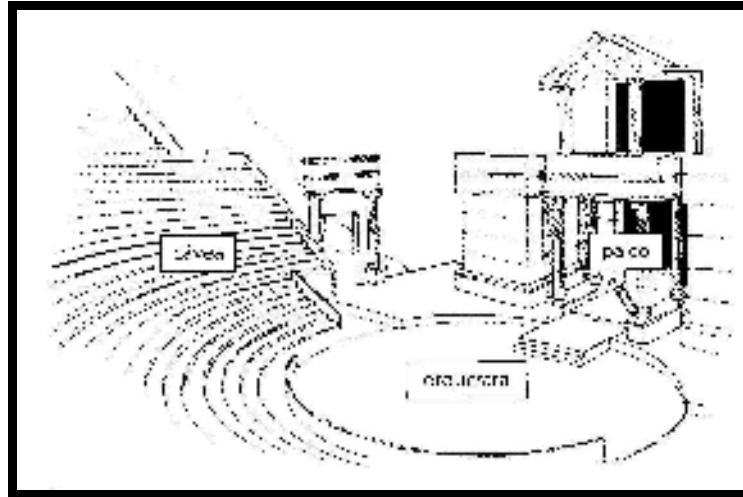


Figura 08 – Partes do teatro grego
Fonte: SOUZA, 2003

O teatro romano segue o modelo grego, entretanto, sua estrutura se apóia em escadas e corredores, formando superfícies verticais mais altas, proporcionando o reforço sonoro, como mostra a Figura 09. (SOUZA, 2003)

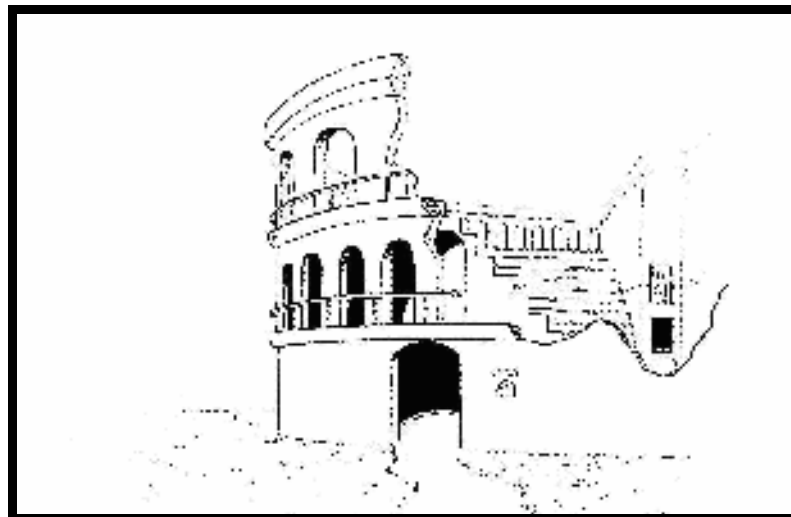


Figura 09 – Teatro romano
Fonte: SOUZA, 2003

Na idade média, com o crescimento do Cristianismo, os edifícios públicos de grandes dimensões foram sendo utilizados para fins religiosos. Surgiram, então, as igrejas medievais, construídas de materiais acusticamente reflexivos, locais que contribuíram e influenciaram o desenvolvimento musical da época. A Figura 10 exemplifica uma dessas igrejas.

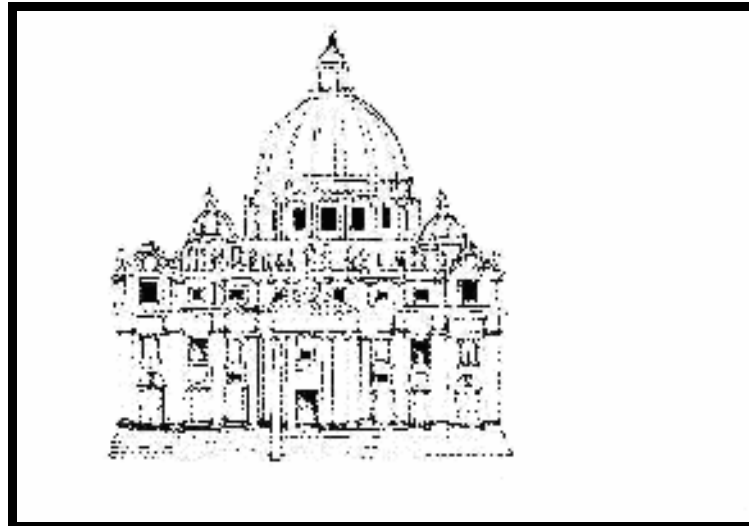


Figura 10 – Igreja medieval (SOUZA, 2003)
Fonte: SOUZA, 2003

Dando um salto de quase dois mil anos, de Aristóteles a Galileu, Bacon a Newton, que estudaram o papel da elasticidade na propagação dos sons, iniciou-se a era cartesiana da Acústica, culminando com a Teoria do Som, de Lord Rayleigh, editada em 1895, um clássico trabalho da acústica moderna. (SILVA, 1997)

No início do século vinte, Wallace C. Sabine, da Universidade de Harvard, nos EUA, estabeleceu três princípios fundamentais para o controle do ruído interno das salas e sistematizou a Acústica Contemporânea. (SOUZA, 2003)

Nos dias de hoje, o crescimento populacional, da indústria (e suas máquinas) e de outros setores da economia, em conjunto com o surgimento de edificações mais esbeltas, têm colaborado para aumentar o desconforto acústico para a população em geral.

Em um passado recente, as estruturas eram espessas e pesadas, não se tinha grande preocupação com o conforto acústico.

Novos elementos e métodos construtivos têm surgido, cada vez mais esbeltos, causando considerável perda de isolamento. Isso reafirma a necessidade do desenvolvimento e da realização de estudos acústicos relacionados a esses

novos elementos e métodos, garantindo, dessa forma, um maior conforto para o ser humano.

Segundo Carvalho, Maciel & Calixto (2006) uma comissão de estudo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) está discutindo um conjunto de normas de desempenho para edificações de até 5 pavimentos que analisa o desempenho acústico das fachadas, entre outros.

A alvenaria estrutural é um dos métodos mais modernos e racionais da construção na atualidade e espera-se que, suas paredes garantam privacidade aos seus moradores.

2.3.2 Efeitos do ruído sobre a saúde e bem estar das pessoas

Os altos níveis de ruído urbano têm se transformado, nas últimas décadas, em uma das formas de poluição mais preocupantes e que atingem o maior número de pessoas. (FERNANDES, 2002)

Nos dias de hoje, o conforto acústico ainda não é uma prioridade para arquitetos e engenheiros, no desenvolvimento de projetos. O excesso de ruído presente no dia a dia do ser humano é tão preocupante quanto qualquer outra patologia. Além disso, os sintomas são intrínsecos e, muitas vezes, não percebidos.

Quando uma pessoa é submetida a altos níveis de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo. O ruído não afeta somente a audição, mas inclusive o sono, agindo sobre o seu subconsciente e sobre o seu sistema nervoso, prejudicando sua saúde psíquica e mental.

Segundo Silva (1997), os ruídos além de prejudicarem diretamente o aparelho auditivo e o cérebro, podem agir sobre outros órgãos, às vezes por ação reflexa, perturbando as funções neurovegetativas, com implicações no funcionamento orgânico. Essa influência altera a pressão arterial ou a composição hemática do sangue, causa náuseas, cefaléia, vômitos, perda de equilíbrio e tremores. As primeiras manifestações dos indivíduos à ação do ruído são a inquietude e a irritabilidade, podendo chegar até a alteração do metabolismo basal, com distúrbios neuromusculares. Segundo o mesmo autor, existe influência do ruído na inteligência, principalmente na capacidade de atenção do indivíduo, reduzindo o rendimento no trabalho, tanto intelectual como físico.

Azevedo (1984) afirma que a exposição excessiva ao ruído pode causar: surdez permanente, parcial ou total; surdez temporária, que poderá tornar-se crônica; não percepção de outras comunicações sonoras; perturbações do sono; interferência na atenção, na concentração e no trabalho mental; modificação do humor e perturbação do relaxamento mental.

Costa (1994) ressalta que indivíduos expostos a excessivos níveis de ruído, apresentam diminuição da seção dos vasos sanguíneos, podendo ocorrer modificações irreversíveis do sistema circulatório, ocasionando problemas como insuficiência cardíaca, infarto do miocárdio, ou até mesmo, levar o indivíduo à morte. Outros problemas afetam diretamente o aparelho digestivo, o sistema endócrino, o sistema imunológico, o sistema reprodutor e o sistema nervoso, entre outros.

2.3.3 Conceitos relativos ao som

O som faz parte do cotidiano da vida de todos os seres humanos. Apresentam-se, a seguir, conceitos fundamentais do som, visando a perfeita compreensão do trabalho realizado.

2.3.3.1 Pressão Sonora

Segundo Méndez (1994, p.), a presença do som produz no ar pequenas variações de pressão que se sobrepõem à pressão atmosférica. Essas variações de pressão são conhecidas como “pressão sonora”.

2.3.3.2 Freqüência

Gerges (2000) explica que a taxa de ocorrência da flutuação completa de pressão sonora é conhecida como freqüência. Ela é dada em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). Na faixa de freqüências de 20 a 20.000 Hz, as ondas de pressão no meio podem ser audíveis.

Chamam-se infrasons os sinais de freqüência menores que 20 Hz e ultrasons os sinais de freqüência maiores que 20.000 Hz, ambos sinais inaudíveis.

2.3.3.3 Velocidade do som nos fluídos e sólidos

A velocidade das ondas acústicas (c), através de meios fluídos, é definida pela raiz quadrada da primeira derivada da pressão em relação à densidade do

fluido. Essa velocidade é expressa em metros por segundo (m/s). Para o ar, o som se propaga a uma velocidade que depende apenas da temperatura do meio. Uma fórmula aproximada para determinação da velocidade do som no ar, dentro de um intervalo razoável de temperaturas t (em °C), é mostrada na Equação 01. (GERGES, 2000)

$$c = 331 + 0,6 t$$

Equação 01

onde:

c : velocidade do som no ar, em m/s

t : temperatura do ar, em °C

Méndez (1994) explica que, no ar, o som se propaga por ondas longitudinais e sua velocidade é a mesma para todas as frequências. Nos sólidos as ondas podem propagar-se de várias formas, basicamente, ondas longitudinais, transversais, de torção e de flexão, sendo estas últimas as mais importantes para o caso de uma parede.

2.3.3.4 O Nível de Pressão Sonora e o Decibel (dB)

Méndez (1994) afirma que a intensidade de um som depende do valor que tenha sua pressão sonora. Um som muito fraco, audível pelo homem, tem uma pressão sonora da ordem de 20 μ Pa em 1 KHz. A essa mínima pressão sonora se denomina “limiar da audição”, sendo o valor a partir do qual o ser humano é capaz de ouvir. O “limiar da dor” é uma pressão sonora muito alta, da ordem de 20 Pa. Essa relação então, entre a máxima e a mínima pressão sonora que o ouvido pode perceber, é de 1.000.000 de vezes. Todos os sons que ouvimos têm pressões sonoras compreendidas entre estes limites.

Sendo muito difícil expressar graficamente números de ordens de grandeza tão diferentes, numa mesma escala linear, usa-se a escala logarítmica.

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.

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

Por exemplo:

$$10 \log 10^{14} = 140 \text{ decibéis}$$

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.

O nível de pressão sonora é dado pela Equação 02

$$\text{NPS} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{Equação 02}$$

onde:

NPS = nível de pressão sonora

$P_0 = 20 \mu\text{Pa}$, valor de referência (limiar da audição em 1 KHz).

2.3.3.5 Adição de nível de pressão sonora

Quando se usa a escala dB, a soma de dois níveis de pressão sonora é logarítmica.

Gerges (2000) enfatiza dois procedimentos para soma de níveis de pressão sonora: um gráfico e um analítico. O gráfico utiliza uma curva padrão e o analítico emprega a Equação 03.

$$\Delta L = 10 \log \left[1 + 10^{\frac{-(L1-L2)}{10}} \right] \quad \text{Equação 03}$$

onde:

L1 = maior leitura de pressão sonora

L2 = menor leitura de pressão sonora

ΔL = diferença entre L1 e L2

Obtém-se a soma dos níveis de pressão sonora NPS_t , adicionando-se o valor de ΔL ao maior dos dois níveis medidos.

2.3.3.6 Ruído de fundo ou ruído ambiente

Gerges (2000) afirma que o ruído de fundo é aquele ruído ambiental gerado por outras fontes que não o objeto de estudo. Para que uma medição de nível de

pressão sonora seja confiável, o nível do sinal deve estar no mínimo 3 dB acima do nível de fundo, de maneira que o ruído de fundo não venha a mascarar o sinal de interesse.

2.3.3.7 Subtração do ruído de fundo

Para a subtração de níveis sonoros (quando se precisa isolar o ruído ambiente, por exemplo) também se emprega um método gráfico ou o analítico (mostrado na Equação 04).

$$\text{NPS} = 10 \log \left[10^{\frac{L_t}{10}} - 10^{\frac{L_f}{10}} \right] \quad \text{Equação 04}$$

onde:

NPS = Nível de pressão sonora do objeto de estudo

L_t = nível do ruído de fundo com o objeto de estudo funcionando

L_f = nível do ruído de fundo com o objeto de estudo desligado

2.3.4 Transmissão e isolamento do som

A transmissão da energia sonora que ocorre entre dois ambientes se dá das seguintes formas, mostradas na figura 11: 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.

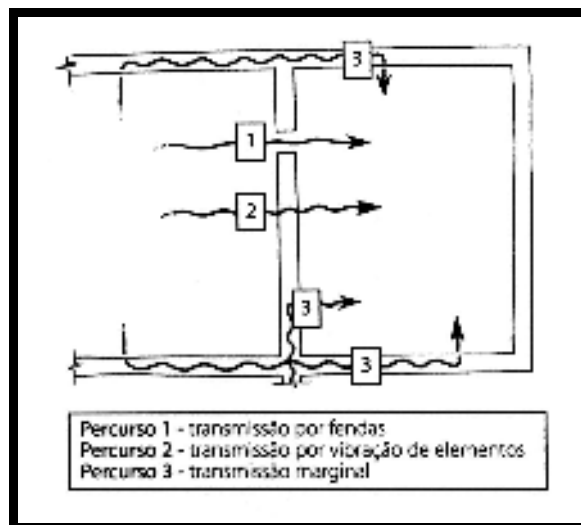


Figura 11 – Meios de transmissão do ruído aéreo

Fonte: SOUZA, 2003

O isolamento dos ruídos é uma maneira de se atenuar essa transmissão sonora que ocorre entre dois ambientes. A maneira mais usual de se atenuar a transmissão sonora entre dois ambientes é a colocação de um obstáculo entre eles.

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 05:

$$R = 10 \log \frac{1}{\alpha t} \quad \text{Equação 05}$$

onde:

R = Índice de Redução Sonora

αt = coeficiente de transmissão

Fahy (1985) e Recuero & Gil (1993) esclarecem que a Perda de Transmissão (PT) pode ser referida por Sound Reduction Index – R (Índice de Redução Sonora), como nas normas ISO (International Standard Organization) e que, em alguns países (como nos Estados Unidos), a denominação mais empregada é Sound Transmission Loss – TL (Perda de Transmissão Sonora).

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 será 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 isolamento de materiais e elementos da construção civil.

Gerges (2000) afirma que as características de materiais ou dispositivos para isolamento acústico podem ser estabelecidas através da determinação de duas grandezas físicas: Perda de Transmissão (PT) e Diferença de Nível (D). Conceitua Perda de Transmissão como sendo a relação logarítmica entre a energia sonora transmitida e a energia sonora incidente em uma parede. Já a Diferença de Nível é o resultado da redução do ruído depois do uso de algum dispositivo isolador.

A Perda de transmissão (PT) alta significa baixa transmissão de energia acústica e vice-versa.

Paixão (2002) explica que a Perda de Transmissão (PT) não se baseia, somente, nas características dos materiais, porque sofre a interferência dos locais de medição desses níveis, ou seja, de fatores relativos ao ambiente, como o volume e a absorção. Isso a diferencia da simples Diferença de Nível Sonoro (D).

2.3.4.1 Transmissão através de três meios

O som decorrente de uma fonte sonora presente em um local propaga-se até encontrar um obstáculo qualquer, que pode ser uma parede ou outro material.

De Marco (1990) esclarece que uma onda de pressões sonoras ao encontrar um obstáculo, produz um choque das moléculas, fazendo com que parte de sua energia volte em forma de onda de pressão refletida e o restante produza uma vibração das moléculas do novo meio, como se o obstáculo “absorvesse” parte do som incidente. Parte dessa energia de vibração das moléculas do obstáculo será dissipada como calor, devido a atritos que as moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; outra parte voltará ao primeiro meio, somando-se com a onda refletida, o resto da energia contida na vibração do próprio obstáculo produzirá a vibração do ar do lado oposto, funcionando esse obstáculo como uma nova fonte sonora que criará uma onda no terceiro meio, conforme mostra a figura 12.

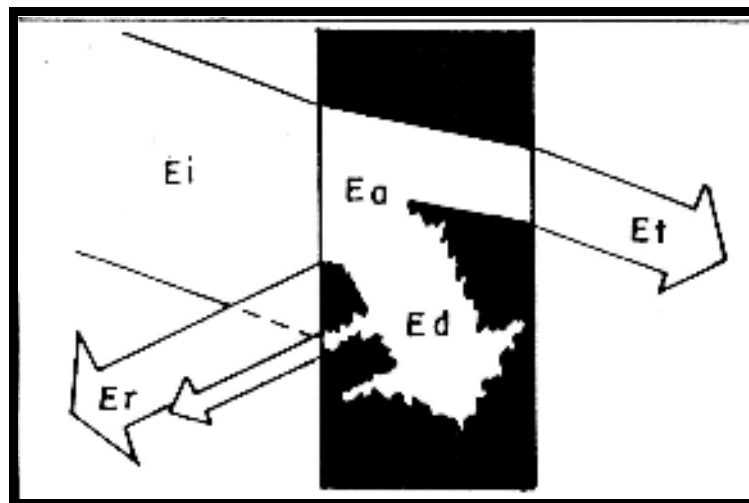


Figura 12 – Reflexão, absorção e transmissão
Fonte: DE MARCO, 1990

2.3.4.2 Índice de Redução 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 demonstra-se que:

$$R = 20\log\frac{\pi}{\rho_1 c_1} + 20\log(mf) \text{ (dB)} \quad \text{Equação 06}$$

onde:

ρ_1 = densidade do meio 1 (ar)

c_1 = velocidade do som no meio 1 (ar)

m = massa

f = frequência

$\pi = 3,1416$

Em condições normais, para o ar, pode-se fazer $\rho_1 c_1 = 412,8$, chegando-se a chamada Lei da Massa, apresentada na equação 07:

$$R = 20\log(mf) - 42,4 \text{ (dB)} \quad \text{Equação 07}$$

Costa (2003) explica que, como a incidência da onda sonora se dá em todos os ângulos possíveis, chega-se a conclusão comprovada pela prática de que o valor da equação anterior ficaria reduzido a aproximadamente 5 dB. Logo a equação citada assumiria um valor mais aproximado com a realidade, como mostra a equação 08, que identifica a Lei da Massa de Campo.

$$R = 20\log(mf) - 47,4 \text{ (dB)} \quad \text{Equação 08}$$

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 0° a 78° (GERGES, 2000).

Reynolds (1981) destaca que a perda de transmissão é máxima quando a incidência é normal à superfície, aproximando-se de zero para ângulos de incidência próximos a 90° . Afirma também que a perda de transmissão nunca é igual a zero, por isso a integração é apenas dos ângulos de incidência até 78° .

2.3.4.3 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 isolamento de uma parede, de acordo com a teoria clássica, definida para placas finas, é mostrado na figura 13, onde se pode observar quatro regiões distintas e bem definidas.

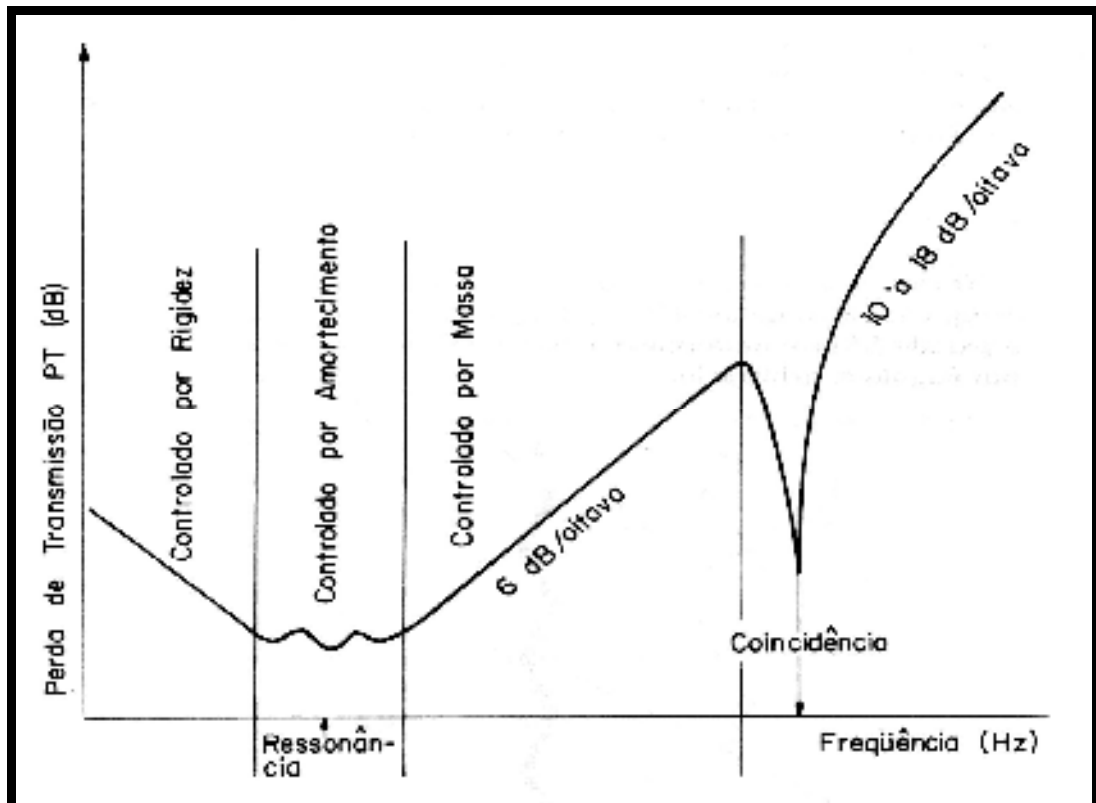


Figura 13 – Curva típica de Índice de Redução Sonora para paredes simples

Fonte: GERGES, 2000

1. 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 09.

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

Equação 09

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 frequência.

2. Região controlada pela ressonância:

Região onde o sistema apresenta suas primeiras frequências 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 frequência natural, a transmissão sonora aumenta, com isso, o Índice de Redução Sonora (R) diminui, passando a ser dado pela equação 10.

$$R = 20\log\left(1 + \frac{C}{2\rho c}\right) \quad \text{Equação 10}$$

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

3. Região controlada pela massa

Região onde o isolamento passa a ser controlado pela densidade de área da parede e calculado de acordo com a Lei da Massa de Campo dada pela equação 08.

4. Região controlada pela coincidência

A partir de uma frequência denominada crítica, tem-se uma queda acentuada no isolamento devido a um fenômeno chamado de coincidência.

As ondas de flexão se propagam com maior velocidade quanto maior é sua frequência. Isto implica que existirá uma frequência 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 14:

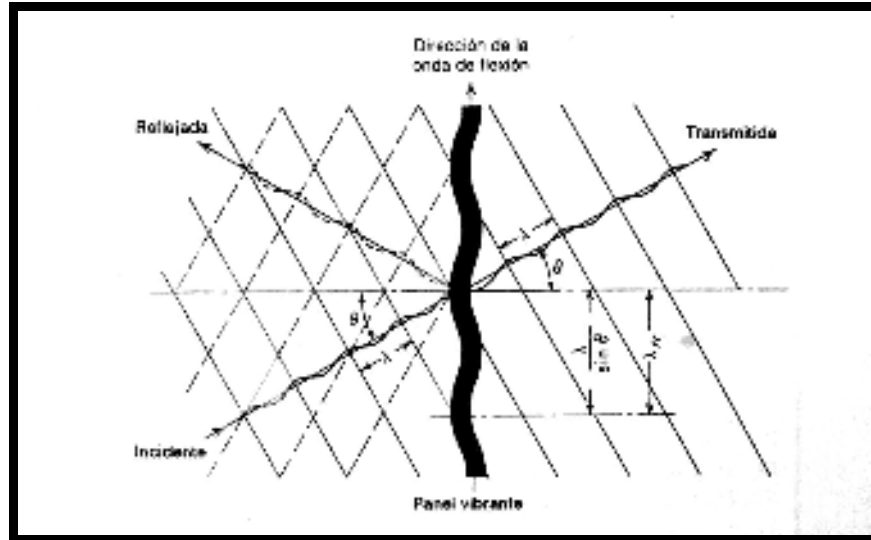


Figura 14 – Efeito da coincidência
Fonte: MÉNDEZ, 1994

A frequência crítica é, por definição, a menor frequência na qual se produz o efeito da coincidência, correspondendo a um ângulo de incidência de 90°.

Conforme Paixão (2002), uma onda sonora, em determinada frequência, 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 90°, tem-se a chamada frequência crítica.

Considerando-se a parede como estrutura plana, uniforme e homogênea, a frequência crítica é inversamente proporcional à espessura da mesma, e passa a ser dada pela equação 11.

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 \cdot c_l \cdot e} \quad \text{Equação 11}$$

onde:

c = velocidade do som no ar

c_l = velocidade longitudinal de propagação do som na parede

e = espessura da parede

Méndez (1994) expõe as frequências críticas para paredes homogêneas, relativas a um centímetro de espessura, tais como: concreto armado (1800 Hz), tijolos maciços (2500 a 5000 Hz), blocos de cimento (2700 Hz), madeira de pinho

(6000 a 18000 Hz), vidro (1200 Hz) e gesso (4000 Hz), entre outros. Verifica-se para situações usuais, como uma laje de concreto com 10 cm de espessura, a frequência crítica é de 180 Hz. Observando-se uma parede de tijolos maciços com 10,6 cm de espessura, obtém-se uma faixa de frequência aproximada de 265 a 530 Hz.

Verifica-se que a frequência crítica de coincidência para os materiais usualmente utilizados na construção civil, encontra-se nas baixas frequências, por isso é fundamental o entendimento da resposta ressonante dessa parede (acima da frequência crítica de coincidência), onde o Índice de Redução Sonora é determinado pela rigidez e pelo amortecimento da parede e não pela Lei da Massa.

Como salienta Paixão (2002), a frequência crítica está localizada na região de coincidência, a qual é definida pelo “Método do Patamar” (Plateau Method), descritos por muitos autores, dentre os quais: Beranek (1980), Reynolds (1981), Beranek (1988) e Gerges (2000).

5. 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.

2.3.4.4 Transmissão ressonante e não-ressonante

Segundo Craik (1996), em um modelo de duas salas separadas por uma parede, existem dois mecanismos de transmissão sonora entre elas: a transmissão ressonante e não-ressonante. A pressão sonora gerada na sala de emissão gera uma vibração da divisória, que vai originar uma pressão sonora na sala de recepção. Essa vibração pode ocorrer de dois modos: por ondas de flexão livres ou por ondas de flexão forçadas. As de flexão livre interagem causando ressonâncias, cuja amplitude depende do amortecimento da divisória. Assim, a parede irradia som para a recepção, caracterizando a transmissão ressonante, considerada a transmissão dominante, acima da frequência crítica de coincidência.

Craik (1996) destaca, ainda, que a pressão na emissão pode ocasionar a vibração da divisória sem que as ondas de flexão livre sejam geradas. Como consequência, não ocorre ressonâncias. São as chamadas transmissões não-ressonantes, que adquirem importância apenas abaixo da coincidência, onde é válida a Lei da Massa.

2.3.4.5 Lei da Massa x Construção Civil

Paixão (2002) enfatiza a importância de se observar que a Lei da Massa resulta de simplificações e que, por isso, não pode ser aplicada, indiscriminadamente, quando se trabalha com materiais da construção civil, por se tratarem de elementos com espessuras muito superiores às placas finas, para as quais as equações foram deduzidas.

Como comprovado por Paixão (2002) na sua Tese, as formulações apresentadas anteriormente seguem a Teoria das Placas Finas, válida até uma determinada frequência, definida a partir da velocidade da onda de flexão na parede e do comprimento de onda.

Ljunggren (1991) enfatiza que nas baixas e médias frequências os resultados para Perda de Transmissão não diferem muito dos obtidos pelo cálculo executado para placas finas. Nas altas frequências, essa diferença torna-se importante, pela presença de vales devido às ressonâncias de espessura da parede.

O gráfico a seguir, demonstrado por Paixão (2002), propõe uma adaptação ao gráfico da figura 13, que mostrava o comportamento do isolamento sonoro para placas finas, mostrando o desempenho para placas espessas.

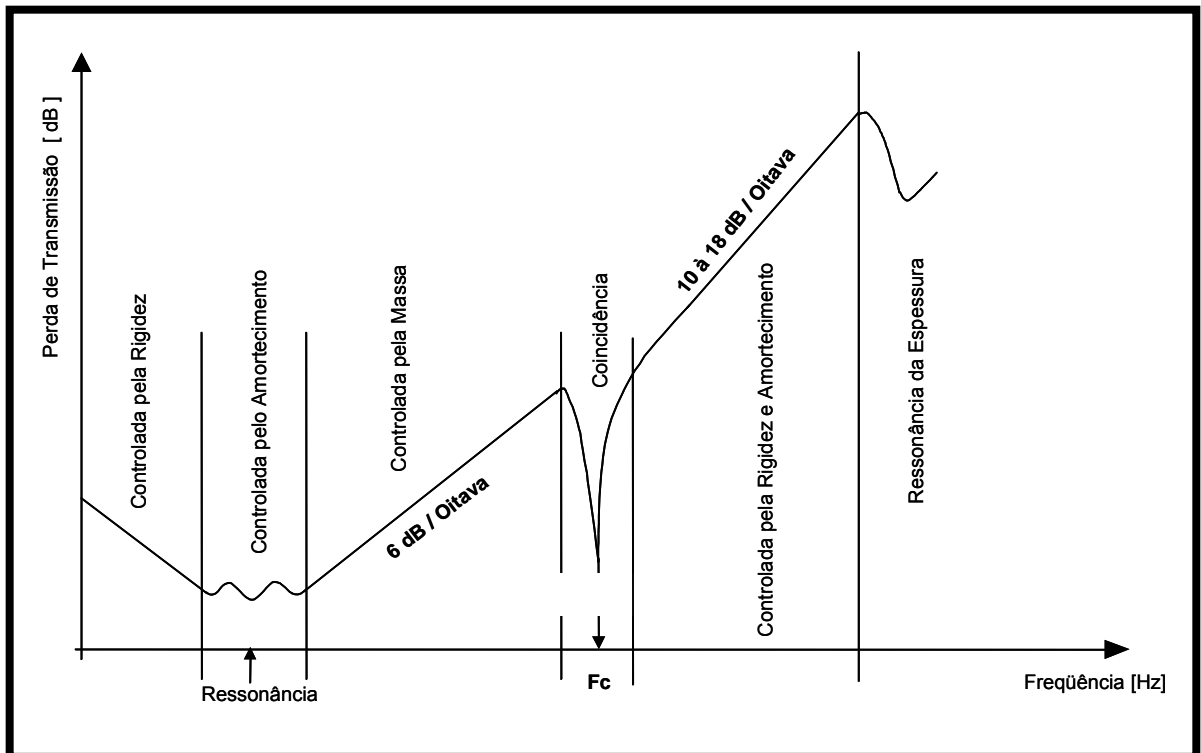


Figura 15 – Curva típica de Índice de Redução Sonora para paredes simples espessas
 Fonte: PAIXÃO, 2002

Ao contrário da figura 13, que era dividida em 4 regiões, a figura 15 pode ser dividida em 6 regiões, que são:

- 1) Região controlada pela rigidez, há um decréscimo no Índice de Redução Sonora;
- 2) Região controlada pelo amortecimento, onde o Índice de Redução Sonora (R) é pequeno, havendo grande transmissão sonora.
- 3) Região controlada pela Lei da Massa, crescimento no Índice de Redução Sonora (R) de 6 dB/oitava;
- 4) Região da coincidência, onde se situa a freqüência crítica. Para paredes usualmente estudadas na construção civil, é a região mais importante, devido à faixa de freqüências que abrange e a acentuada diminuição que provoca no Índice de Redução Sonora (R);

5) Região controlada pela rigidez e pelo amortecimento, há um aumento linear no Índice de Redução Sonora, conforme o material utilizado;

6) Região onde surge nova diminuição no Índice de Redução Sonora, devido às ressonâncias relativas à espessura da parede.

2.3.4.6 Transmissão marginal ou “transmissão por flancos”

Segundo Santos Lopes (1998), uma das causas que podem explicar as falhas nas análises do isolamento sonoro, em edificações, pode ser a não consideração da chamada “transmissão por flancos”, entre a emissão e a recepção. Esse é um tipo de transmissão que não envolve exclusivamente o elemento separador entre dois ambientes, mas refere-se a todos os caminhos de transmissão da energia sonora, como mostra a figura 16.

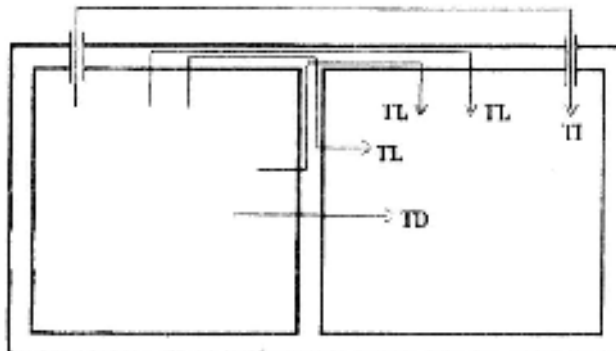


Figura 16 – Diferentes caminhos de propagação da energia sonora entre dois espaços
Fonte: SANTOS LOPES, 1998

onde:

TL: Transmissão lateral

TI: Transmissão indireta

TD: Transmissão direta

Patrício (2003) ressalta que, do ponto de vista de sons aéreos, a previsão da transmissão marginal pode ser ilustrada em três situações esquematizadas na figura 17 e descritas a seguir.

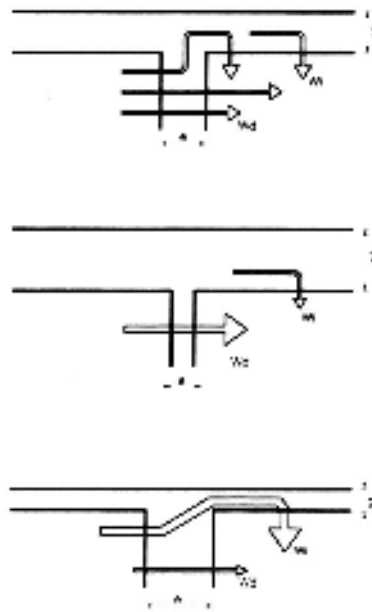


Figura 17 – Esquema exemplificativo da influência da transmissão marginal
 Fonte: PATRÍCIO, 2003

Fazendo-se uma análise caso a caso, tem-se que:

- a) Quando a densidade superficial do elemento separador é igual à densidade superficial dos elementos adjacentes, a transmissão por via direta é igual à transmissão por via indireta, o índice de redução sonoro cai em média 3 dB;
- b) Quando a densidade superficial do elemento separador é menor que a densidade superficial dos elementos adjacentes, a transmissão ocorre essencialmente pelo elemento separador, a influência da transmissão marginal é desprezível;
- c) Quando a densidade superficial do elemento separador é muito superior que a densidade superficial dos elementos adjacentes, a transmissão ocorre essencialmente pelos elementos adjacentes, diminuindo-se a eficácia do sistema separador.

2.3.4.7 Outros fatores que influenciam no isolamento de uma parede

Méndez (1994) salienta que paredes com grande porosidade podem apresentar baixo isolamento acústico, mesmo tendo bom desempenho quanto a rigidez e massa. O autor destaca também que os fenômenos de ressonância ocorrem em frequências 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).

3. METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se quanto à natureza como uma pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa. Quanto aos objetivos, é uma pesquisa explicativa porque aprofunda o conhecimento, identificam os fatores que contribuem para os resultados obtidos, configurando uma pesquisa experimental quanto aos procedimentos técnicos aplicados.

Foram realizados testes numa parede de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, no Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. A análise dos resultados considerou a variação das formas de conexão entre a parede em estudo e as câmaras reverberantes, o uso ou não de revestimento na alvenaria, bem como o tempo de realização dos ensaios.

Nos tópicos a seguir são feitas considerações sobre as normas utilizadas na realização desses ensaios, a determinação do Índice de Redução Sonora (R), o local de realização dos ensaios, a forma de execução da parede em estudo, os equipamentos utilizados para as medições.

3.1 Considerações sobre as Normas Internacionais ISO 140 e ISO 717

A medição em laboratório dos Índices de Isolação Sonora de elementos construtivos (paredes, portas, janelas, etc.) deve seguir os procedimentos especificados pela norma ISO 140 (Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements). A ISO 140 é um conjunto de doze normas técnicas que dizem respeito ao isolamento acústico de edificações.

A ISO 140 – 3 (Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 3: Laboratory measurements airborne sound insulation of buildings elements) consiste na parte dessa norma, indicada para especificar as medições da isolação sonora por ruídos aéreos, realizadas em laboratório, de elementos como paredes, janelas, portas, pisos, vidros, etc, servindo de referência para os laboratórios brasileiros. Está constituída de nove itens, cujos conteúdos podem ser sucintamente descritos como:

- Item 1: Explica os objetivos e utilizações;
- Item 2: Cita normas usadas como referência;
- Item 3: Define termos e conceitos utilizados;
- Item 4: Estabelece requisitos para os equipamentos;
- Item 5: Descreve as condições necessárias para as salas e instalação dos elementos ensaiados;
- Item 6: Trata dos procedimentos de teste e avaliação;
- Item 7: Fala sobre a precisão requerida;
- Item 8: Mostra como devem ser expressos os resultados;
- Item 9: Exemplifica o que deve constar no laudo técnico.

O Índice de Redução Sonora (R), também chamado de Perda de Transmissão (PT), adotado pela norma ISO 140 – 3, é um dos parâmetros mais importantes para a caracterização acústica de uma parede, ou qualquer outro elemento de fachada, quanto as suas características de isolamento sonoro.

Para se avaliar o coeficiente de isolamento sonora de elementos construtivos, deve-se realizar medições em bandas de frequência de oitava ou de 1/3 de oitava. Para facilitar a avaliação desses índices de isolamento 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 frequências. Esse número é determinado através da comparação da curva do espectro de frequências do material avaliado, a uma curva padrão, conforme valores mostrados na tabela 01.

Tabela 01 – Curva Padrão da Norma ISO 717

FREQUÊNCIA	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)	
	BANDAS DE 1/3 DE OITAVA	BANDAS DE OITAVA
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Fonte: ISO 717

A comparação é efetuada plotando-se a curva de referência obtida, através da medição em uma parede de tijolos sem furos com espessura de 25 cm, e deslocando-se esta 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 frequência de 500 Hz, após a realização dos procedimentos acima descritos.

3.2 Local de realização dos ensaios (Câmaras Reverberantes da UFSM)

Os ensaios foram realizados nas Câmaras Reverberantes do setor de Acústica da UFSM. São duas salas com volumes de 60 e 67m³, construídas para ensaios de transmissibilidade, separadas por pórtico com 55cm, composta de paredes e lajes de concreto armado com 30 centímetros de espessura. Cada câmara possui uma porta dupla, com chapa de aço de 12,7mm de espessura, 1,50m de largura e 2,50 m de altura vedada com borracha em todo o seu contorno, fechada sob pressão, para garantir uma perfeita estanqueidade. As superfícies das câmaras não são paralelas para que se obtenha um campo difuso. Essa estrutura é apoiada sobre isoladores (neoprene), os quais descarregam nos pilares, e daí, para as fundações, conforme mostra a figura 18.

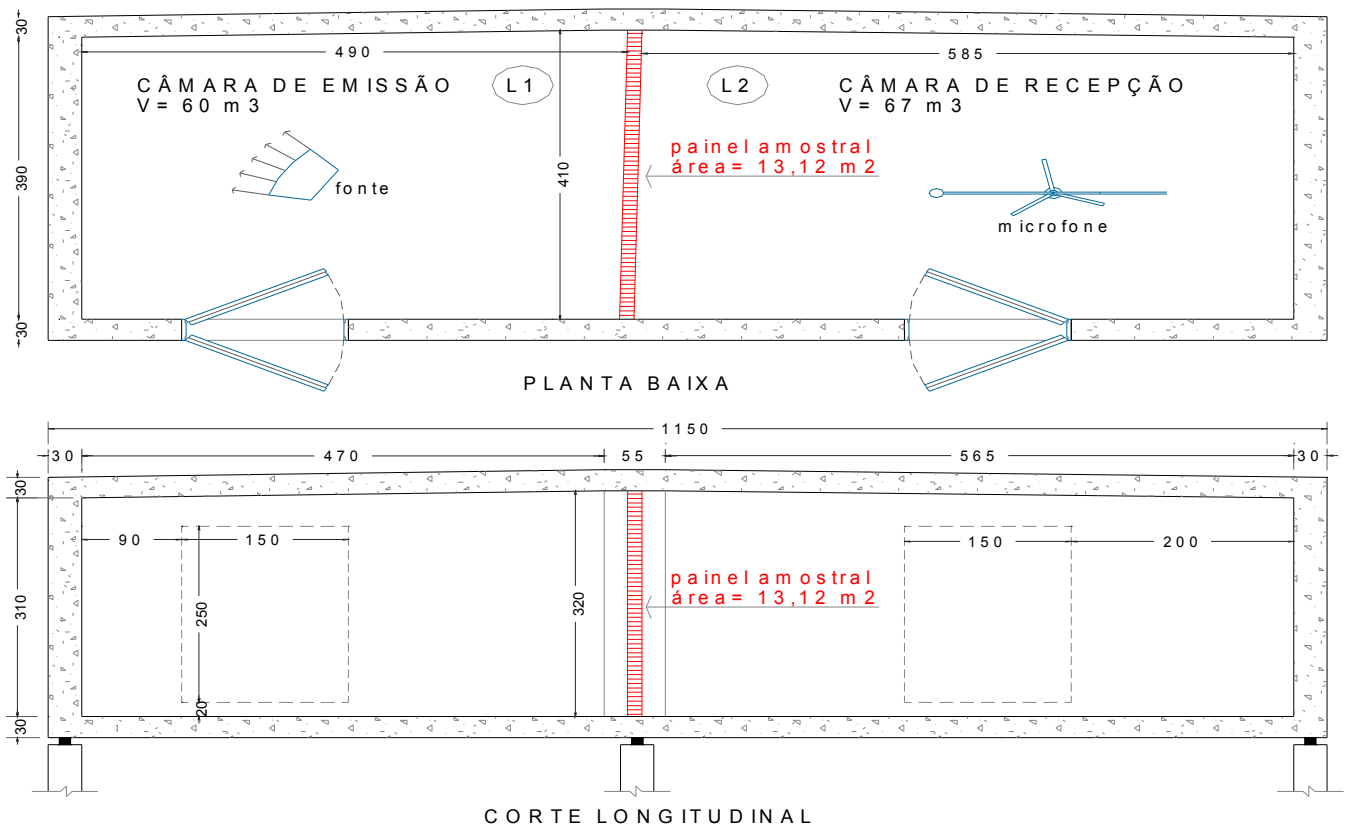


Figura 18 – Câmaras Reverberantes da UFSM

Comenta-se, a seguir, a determinação das condições ambientais durante a execução dos ensaios, através da medição das condições de temperatura e umidade.

3.3 Condições ambientais

Durante todos os ensaios realizados nas câmaras reverberantes, foram determinadas as condições de temperatura e umidade através do Analisador Climático, tipo 1213, com os transdutores de temperatura do ar, tipo MM0034 e de umidade, tipo MM0037, todos os equipamentos da Brüel & Kjaer (B&K).

No próximo item, detalha-se a parede fonte do estudo, seu sistema construtivo, o tipo de bloco utilizado, argamassa de assentamento, revestimentos e conexões.

3.4 A Parede em estudo

Foi construída uma parede de alvenaria estrutural, com blocos cerâmicos estruturais, classe de resistência de 7,0 MPa, vazados e ranhurados (140x190x290mm), nas dimensões de 4,10 metros de largura e 3,20 metros de altura, na separação das duas câmaras reverberantes, para a execução dos ensaios acústicos. As juntas verticais e horizontais foram preenchidas com argamassa.

Para assentamento dos blocos foi utilizada uma argamassa industrializada com traço 1:3:12 (cimento:cal:areia), em juntas de 1 cm, rendimento de aproximadamente 47 kg de argamassa por metro quadrado. Para a execução do revestimento (reboco em camada única), utilizou-se uma argamassa industrializada com traço 1:2:8 (cimento:cal:areia), com espessura de 1,0 cm, rendimento de aproximadamente 23 kg de argamassa por metro quadrado revestido

Seqüência para execução da referida parede:

- Limpeza da superfície das câmaras, eliminando-se sobras de materiais testados anteriormente;
- Uma borracha com 7,5 centímetros de largura e 5,0 milímetros de espessura foi colocada nas bordas laterais e superior da parede para diminuir o vazamento da energia sonora da alvenaria estrutural para as superfícies de concreto das câmaras. A borda inferior foi executada com a mesma argamassa de assentamento.
- Levantamento da alvenaria até a laje superior, com juntas horizontais de 1,0 cm de espessura. As juntas verticais apresentam a mesma espessura.

- Preenchimento da diferença de largura da borracha (7,5 cm) e do bloco cerâmico (14 cm), com silicone, para uma melhor vedação. A borracha ficou centralizada em relação ao bloco cerâmico.

Primeiramente, realizaram-se ensaios acústicos com a parede sem revestimento e as conexões elásticas (borracha+silicone), executados em dois períodos: 7 e 14 dias após a execução da alvenaria. Posteriormente, aconteceu o revestimento do lado da câmara de emissão, para a verificação do isolamento sonoro agregado, uma vez que os vazados verticais dos blocos permitem a passagem das tubulações de água e luz no seu interior, evitando-se rasgos na alvenaria. Repetiram-se, então, os ensaios com as conexões elásticas (borracha+silicone) em dois períodos: 7 e 14 dias após a execução do revestimento. A seguir, revestiu-se o outro lado da alvenaria, lado da câmara de recepção, e repetiram-se os ensaios nos mesmos períodos. Com o fim desse grupo de ensaios, foram substituídas as conexões elásticas (borracha+silicone) por conexões rígidas (argamassa). O preenchimento da borda foi, então, executado com a mesma argamassa utilizada para o assentamento dos blocos. Foram realizados ensaios acústicos com a parede revestida dos dois lados e as conexões rígidas (argamassa), nos períodos de 7 e 14 dias após a substituição das conexões.

O resumo dos ensaios acústicos está expresso na Tabela 02. São definidos: o tipo de conexão utilizada entre a parede em estudo e a câmara reverberante, a presença ou não de revestimento na alvenaria, o período (n.º de dias) decorridos desde a execução da parede, e do revestimento, bem como a data em que aconteceram as medições.

Quanto ao tipo de conexão entre a parede em estudo e as paredes da câmara tem-se que:

- Conexões elásticas: somente a presença da borracha e do silicone nas conexões;
- Conexões semi-rígidas: a presença da borracha, do silicone, com revestimento de 1 cm de argamassa;
- Conexões rígidas: retira-se totalmente o material elástico (borracha+silicone) e preenche-se o espaço com argamassa.

Tabela 02 – Caracterização dos ensaios

Ensaio	Data (2005)	Descrição Alvenaria							
		Revestimento		Nºdias			Tipo de conexão		
		Emissão	Recepção	n1	n2	n3	Elástica	Semi-Rígida	Rígida
01	01/05	-	-	0	7	0	Sim	-	-
02	08/05	-	-	0	14	0	Sim	-	-
03	21/05	Sim	-	7	27	0	-	Sim	-
04	27/05	Sim	-	13	33	0	Sim	-	-
05	04/06	Sim	-	21	41	0	Sim	-	-
06	18/06	Sim	Sim	35	55	7	Sim	-	-
07	25/06	Sim	Sim	42	62	14	Sim	-	-
08	09/07	Sim	Sim	56	76	28	-	Sim	-
09	16/07	Sim	Sim	63	83	35	-	-	Sim (07)*
10	22/07	Sim	Sim	69	89	41	-	-	Sim (14)*

n₁: n° de dias de assentamento do revestimento na câmara de emissão

n₂: n° de dias de assentamento da parede

n₃: n° de dias de assentamento do revestimento na câmara de recepção

* número de dias referente à aplicação da conexão

Descrevem-se, no próximo item, os equipamentos utilizados nas medições, bem como os procedimentos adotados.

3.5 Equipamentos empregados

A figura 19 mostra os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios nas Câmaras Reverberantes da UFSM.



Fonte Sonora – modelo 4224



Microfone Rotativo – modelo 3923



Analizador Acústico – modelo 4418



Calibrador – modelo 4230



Analizador Climático



Desumidificador

Figura 19 – Equipamentos utilizados nos ensaios

3.6 Experimentos realizados

Os experimentos realizados seguem uma seqüência de execução, que pode ser resumidamente descrita como:

- Afere-se o conjunto de medição como o uso do calibrador;
- Gera-se o ruído aéreo para medir o NPS_1 na câmara de emissão;
- Mede-se o NPS_2 na câmara de recepção, com o ruído aéreo gerado na emissão;
- Mede-se o Tempo de Reverberação (TR) e o ruído de fundo (RF) na câmara de recepção.

Os resultados obtidos através das medições, registrados na memória do analisador acústico são calculados através das equações:

- Diferença de Nível

$$D = NPS_1 - NPS_2$$

Equação 12

onde: NPS_1 e NPS_2 são os Níveis de Pressão Sonora nas Câmaras 1 (emissão) e 2 (recepção).

- D_{nT} = Diferença de Nível Padrão (ISO 140 – 3)

$$D_{nT} = D + 10 \log \left(\frac{TR}{0,5} \right) \quad \text{Equação 13}$$

onde:

TR é o Tempo de Reverberação na Câmara de Recepção.

- R = Diferença de Nível Normalizada ou Índice de Redução Sonora (ISO 140 – 3)

$$R = D + 10 \log \left(\frac{6,15 \cdot S \cdot TR}{V} \right) \quad \text{Equação 14}$$

onde: TR = tempo de reverberação na câmara de recepção;
 S = área da alvenaria ensaiada ($13,12 \text{ m}^2$);
 V = volume da câmara de recepção (71 m^3), pois é função da espessura da parede em estudo. A análise das câmaras de emissão e recepção, sem agregar o pórtico entre as duas, resulta em volumes de 60 e 67 m^3 , respectivamente.

A seguir, na figura 20, é mostrada a parede de alvenaria estrutural, para o início da execução dos ensaios.

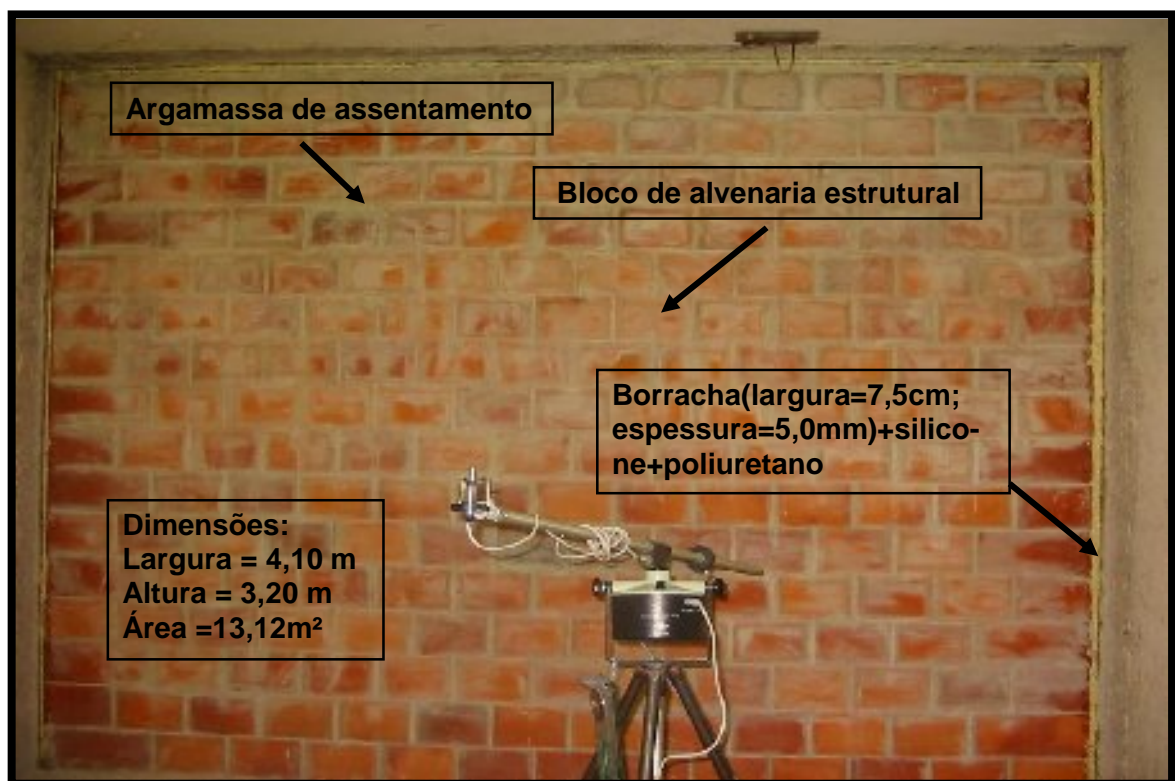


Figura 20 – Parede de alvenaria estrutural

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS

O presente capítulo apresenta os resultados dos ensaios acústicos realizados na parede de alvenaria estrutural, construída nas Câmaras Reverberantes do Setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os resultados são representativos de dez ensaios. Cada ensaio resulta da média aritmética de 03 repetições, visando comprovar a repetibilidade dos valores medidos.

Durante a realização dos ensaios 06, 07 e 10, defeitos ocorreram no microfone rotativo (*Rotating Microphone Boom*), por isso, os ensaios ocorreram com o equipamento parado, sem rotação. Para atender a norma ISO 140, cada ensaio foi realizado 4 vezes, modificando-se a posição do microfone ortogonalmente. O índice de isolamento sonora resultante é o valor médio calculado entre aqueles medidos em cada posição do microfone.

O estudo analisou a influência do tipo de conexão utilizada (entre a parede estudada e a câmara), do revestimento e da secagem da argamassa.

Os gráficos são apresentados de forma a permitir a análise espectral do ensaio realizado segundo a Norma ISO 140 – parte 3.

4.1 Resultados dos ensaios e análise comparativa parcial

O presente item mostra o resultado obtido em cada grupo de ensaios, comparando-os quanto ao fator cronológico proposto para o trabalho.

4.1.1 Ensaio 01

A figura 21 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolamento sonora, dos três ensaios realizados, após 07 dias, da alvenaria estrutural executada, sem revestimento e com as conexões elásticas (borracha nas bordas).

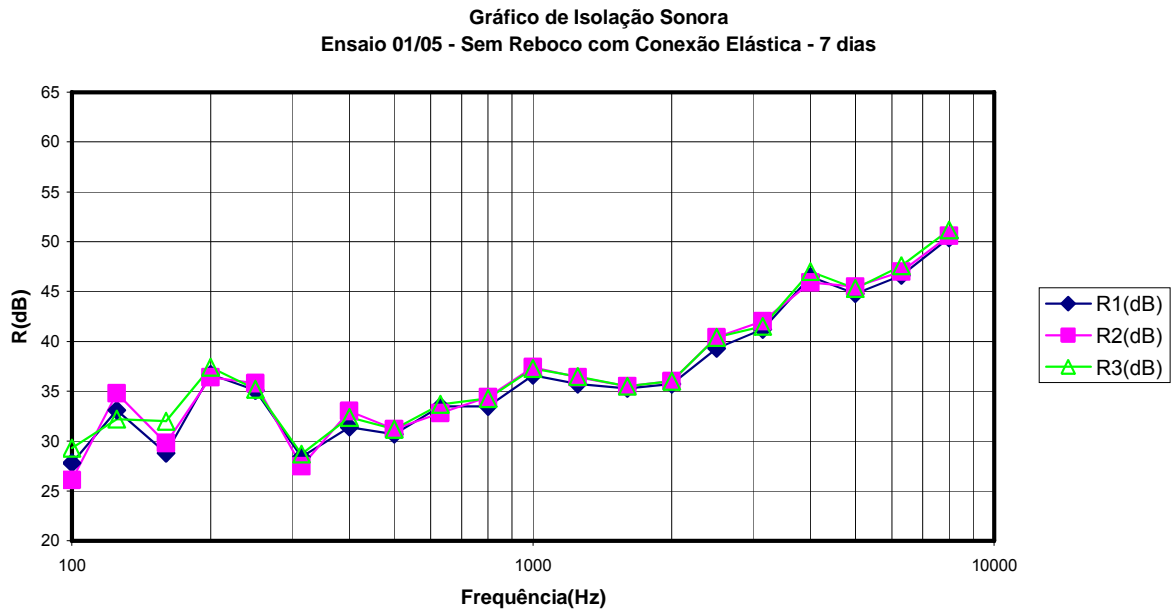


Figura 21 – Ensaio 01 - Conexões elásticas sem reboco aos 7 dias.

Observam-se, neste grupo de ensaios, duas quedas bem definidas, no índice de redução sonora, para as frequências de 160 Hz e 315 Hz, identificando a zona de coincidência do elemento estrutural. Essa identificação, possibilitada pela presença das conexões elásticas, é importante, pois aí se localiza o ponto de maior transmissão sonora.

Outros vales significativos surgem em 1600 Hz e 5000 Hz, referentes à ressonância devida à espessura da parede, como explicado e comprovado em Paixão (2002).

Percebe-se ainda que, confirmando a teoria, os menores índices de isolação sonora estão associados às frequências mais baixas, enquanto que os maiores índices estão relacionados às frequências mais altas.

4.1.2 Ensaio 02

A figura 22 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolação sonora, após 14 dias da alvenaria estrutural executada, sem revestimento e com as conexões elásticas. Verifica-se, também, neste grupo de ensaios, duas quedas bem definidas, no índice de redução sonora, para as frequências de 160 Hz e 315 Hz, Outros vales significativos surgem em 1600 Hz e 5000 Hz, referentes à ressonância

devida à espessura da parede.

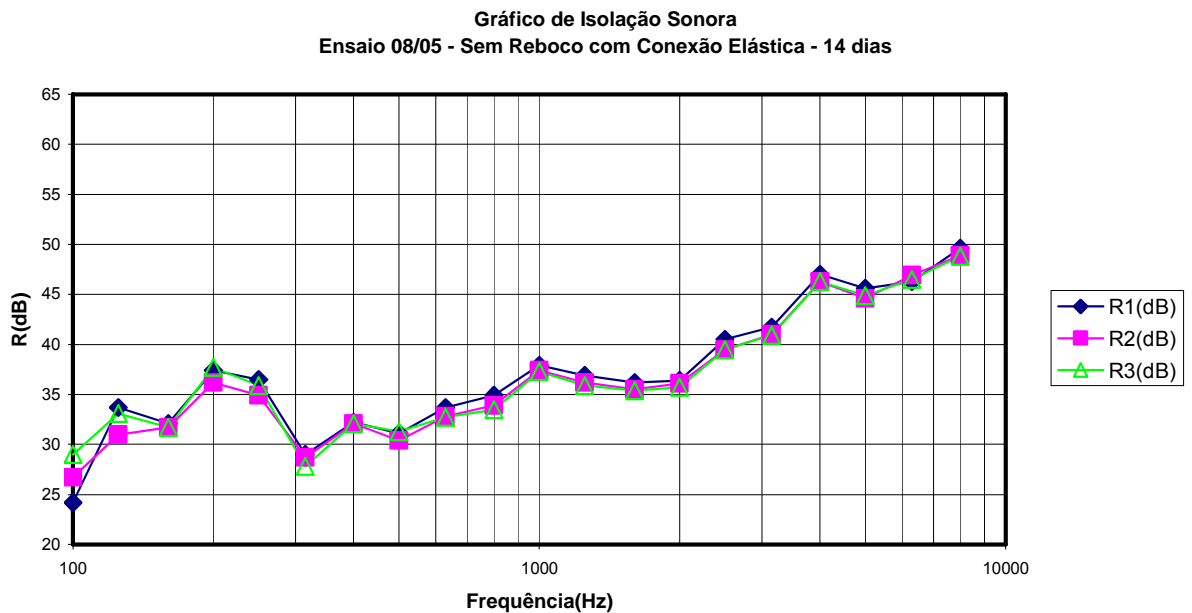


Figura 22 – Ensaio 02 - Conexões elásticas sem reboco aos 14 dias.

4.1.3 Comparativo entre os ensaios 01 e 02

A figura 23 apresenta o comparativo entre os ensaios 01 e 02, realizados aos 07 e 14 dias, respectivamente, ambos com parede sem revestimento e com conexões elásticas.

Percebe-se que não há diferenças significativas entre os resultados dos ensaios realizados aos 07 dias e aos 14 dias.

Nota-se que o tempo de execução da alvenaria não é um fator de grande influência nos resultados dos ensaios, confirmando o que já havia sido mostrado em Paixão (2002), que estudou a diferença entre 14 e 28 dias.

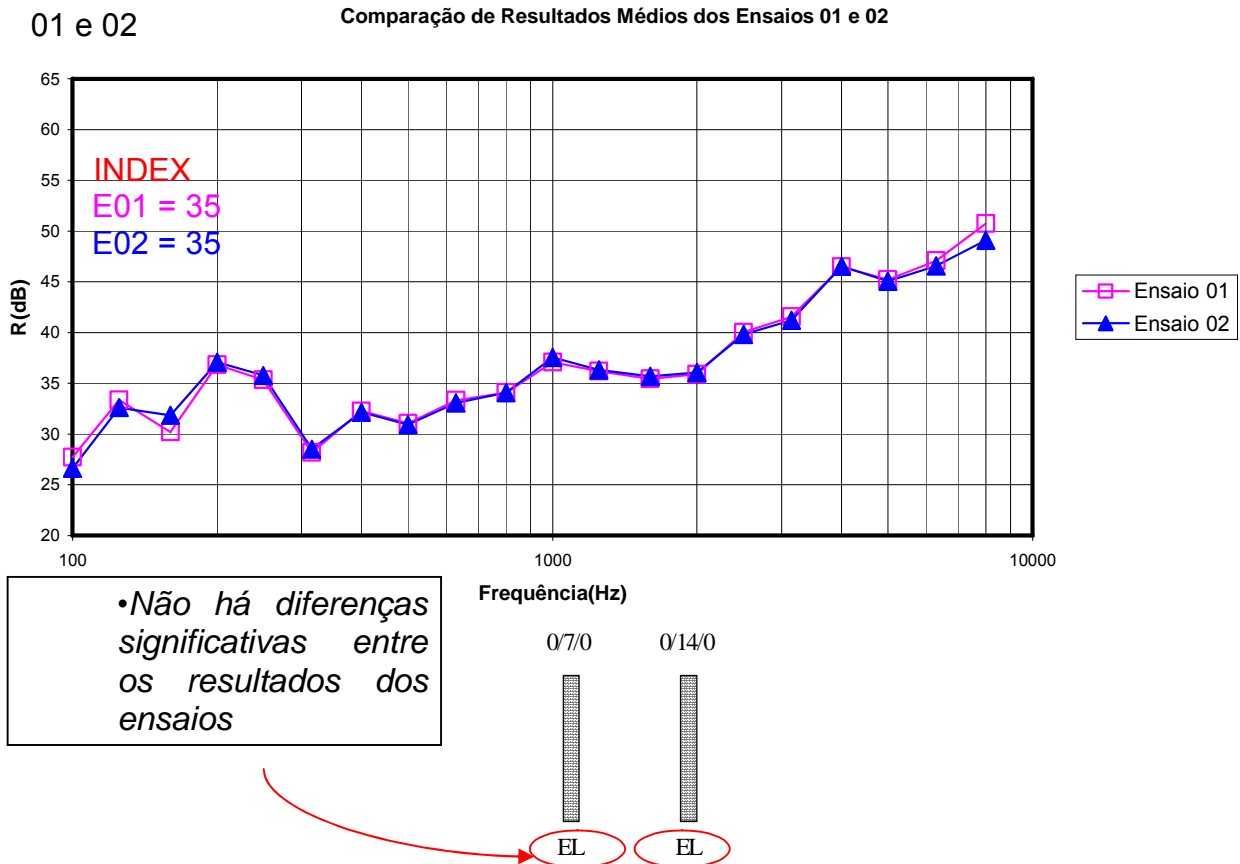


Figura 23 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 01 e o Ensaio 02

4.1.4 Ensaio 03

A figura 24 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolamento sonora, após 27 (vinte e sete) dias da alvenaria estrutural executada, 07 (sete) dias do revestimento na sala de emissão e com as conexões ditas *semi-rígidas*. As conexões semi-rígidas são aquelas em que, no momento da execução da argamassa de revestimento, há a cobertura da conexão elástica, criando uma ligação entre as superfícies da Câmara Reverberante e a parede em estudo.

Neste grupo de ensaios, apresentam-se as mesmas duas quedas, para as frequências de 160 Hz e 315 Hz, porém, não tão definidas quanto nos ensaios anteriores, com conexões elásticas.

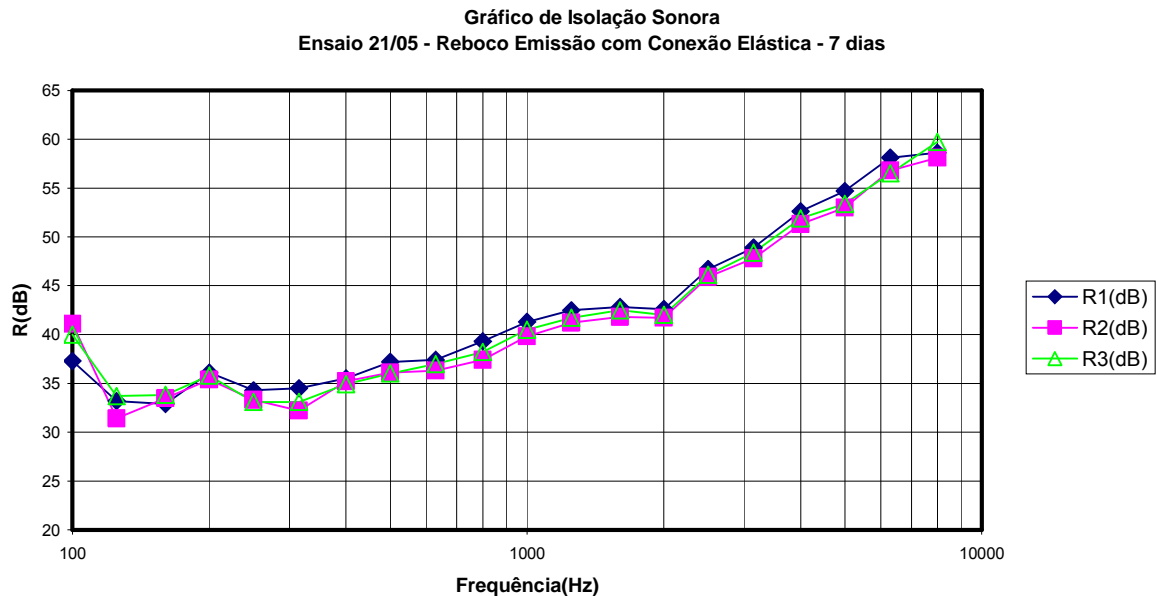


Figura 24 – Ensaio 03 - 07 dias do revestimento da parede e conexões semi-rígidas

4.1.5 Comparativo entre ensaio 02 e 03

A figura 25 demonstra a importância do revestimento da parede para o isolamento e o efeito das pontes acústicas na transmissão da energia sonora. Mostra os resultados do ensaio 03, característico dos 07 dias após o revestimento realizado apenas na sala de emissão, comparados com os do ensaio 02 – aos 14 dias sem revestimento. Verificou-se a alteração significativa do R com a presença do revestimento chegando até as paredes das câmaras, ou seja, colocado sobre a conexão elástica, constituindo as chamadas conexões semi-rígidas.

Houve um ganho no Índice de Redução Sonora, com o uso do revestimento, devido ao aumento da parcela de energia sonora refletida, da massa superficial da parede e da rigidez do sistema.

A presença da conexão semi-rígida faz com que os valores de R fiquem mais próximos entre si nas baixas frequências, entre 125 Hz e 315 Hz, como mostra a figura 24, devido à parcela de energia sonora transmitida pela estrutura, denominada de *transmissão por flancos* ou *transmissão marginal*.

Observa-se, também, no ensaio 03, o desaparecimento do vale em 5000 Hz e o deslocamento do vale de 1600 Hz para 2000 Hz. O aumento da rigidez do sistema aumenta a frequência natural da estrutura, ocasionando o deslocamento da frequência de ressonância de espessura da parede.

02 e 03

Comparação de Resultados Médios dos Ensaio 02 e 03

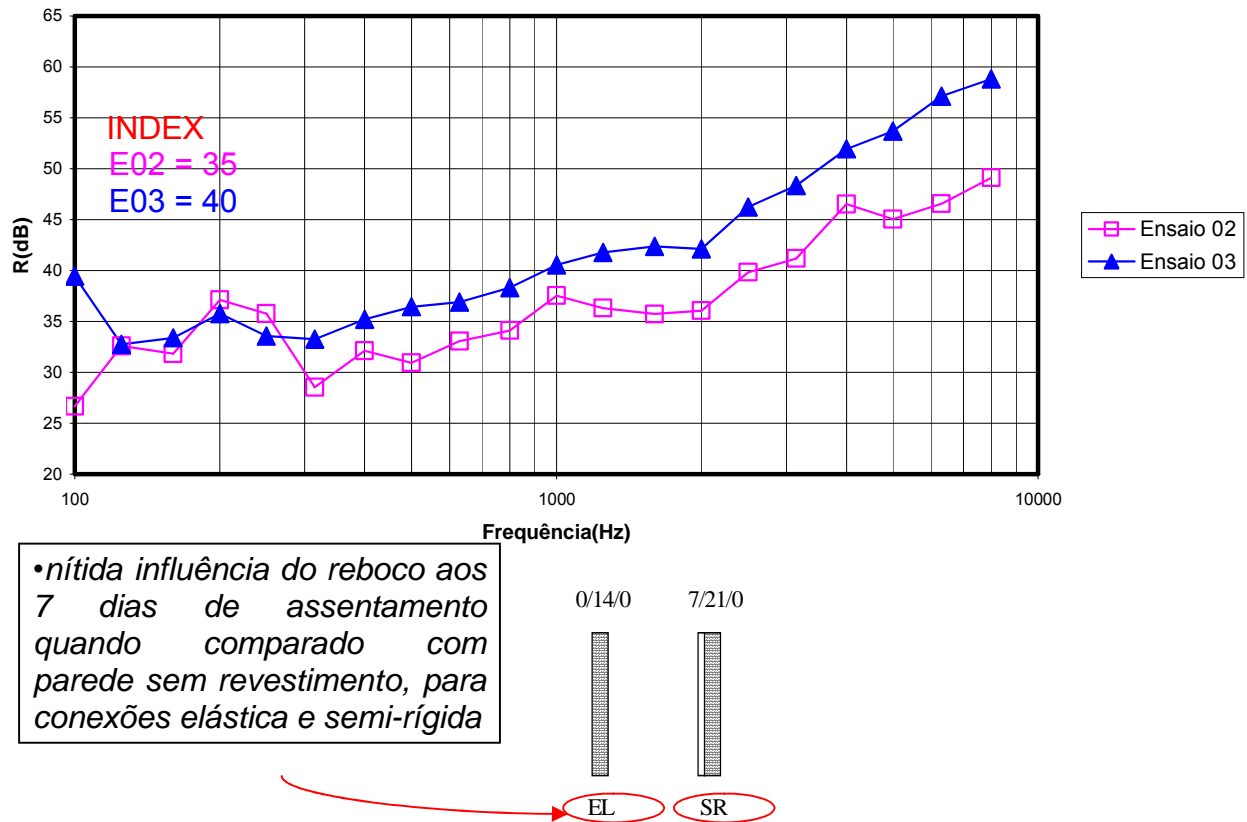


Figura 25 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 02 e o Ensaio 03

4.1.6 Ensaio 04

A figura 26 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolamento sonora, após 33 (trinta e três) dias da alvenaria estrutural executada, 13 (treze) dias do revestimento na sala de emissão e com as conexões elásticas.

Nessa etapa, foi retirada apenas aquela parcela de revestimento sobre as conexões elásticas, para simular as condições iniciais, de elasticidade nas conexões.

Com a presença do revestimento, o índice de redução sonora, apresentou um crescimento, para as baixas frequências, definindo um pico acentuado na frequência de 200 Hz, associado à frequência natural da câmara. A presença das conexões elásticas permitiu a identificação da frequência crítica de coincidência da parede em $f = 315$ Hz.

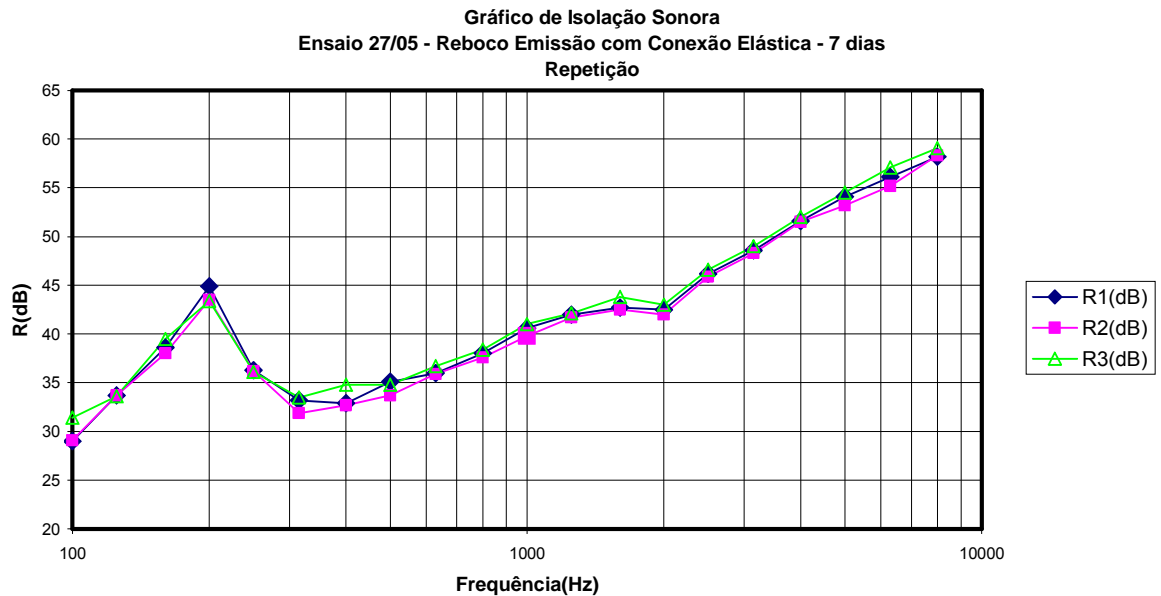


Figura 26 – Ensaio 04 -conexões elásticas com reboco

4.1.7 Comparativo entre os ensaios 03 e 04

A figura 27 compara os resultados dos ensaios realizados aos 07 e 14 dias após a colocação do revestimento na sala de emissão. Observa-se que em ambos os casos as conexões são elásticas, mas aos 07 dias o revestimento foi até a parede da câmara, caracterizando a conexão semi-rígida.

O resultado final da comparação entre esses ensaios apresentou desempenhos similares em médias e altas frequências, pois o tipo de conexão não altera significativamente a resposta obtida.

Comprovou-se, no entanto, que o tipo de apoio (conexão) interfere bastante na identificação da frequência de coincidência e que a presença de conexões semi-rígidas ocasiona queda no índice de redução sonora para baixas frequências. Há uma melhor definição da frequência crítica de coincidência ($f_0 = 315$ Hz) com as conexões elásticas.

03 e 04

Comparação de Resultados Médios dos Ensaio 03 e 04

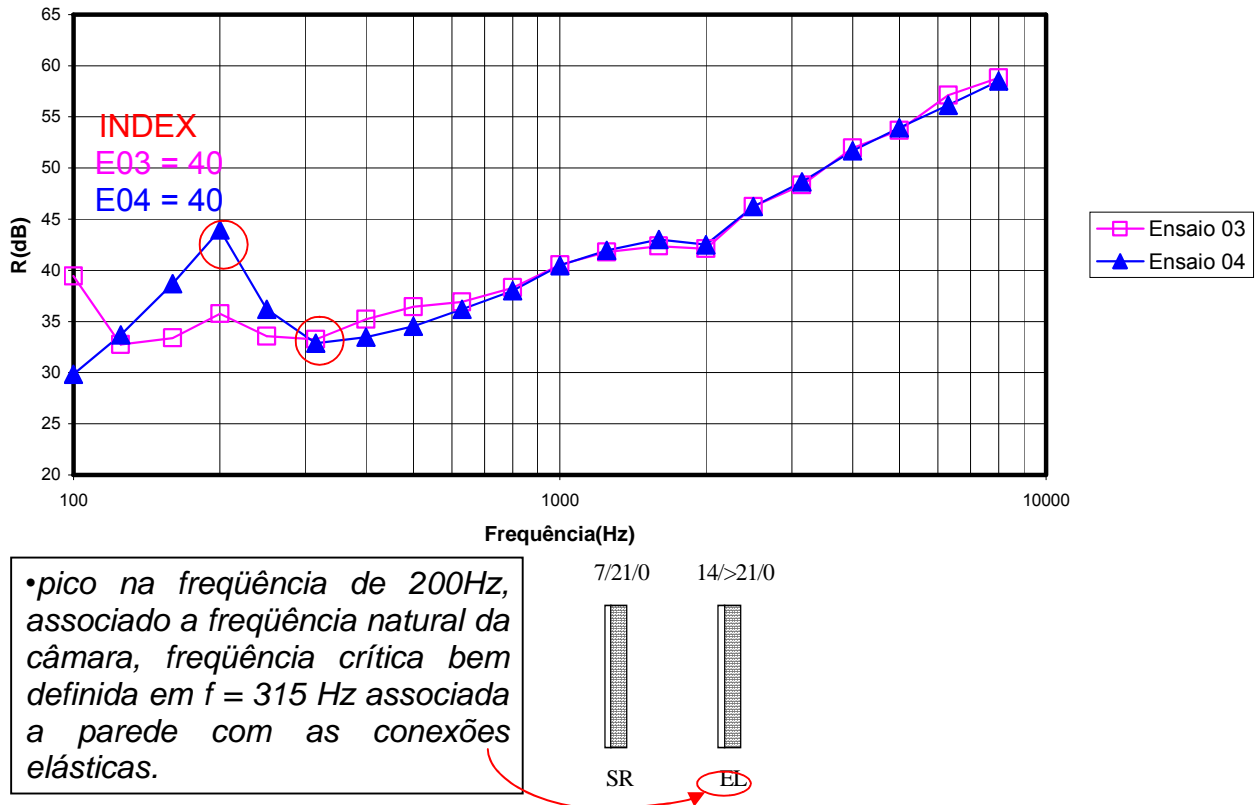


Figura 27 – Comparação do índice de isolamento entre o Ensaio 03 e o Ensaio 04

4.1.8 Ensaio 05

Após 41 (quarenta e um) dias da alvenaria estrutural executada, 21 (vinte e um) dias do revestimento na sala de emissão e com as conexões elásticas, foi executado o Ensaio 05, cujos resultados, como nos demais casos, são a média de três repetições.

Esse ensaio objetivou analisar a influência do número de dias de aplicação do revestimento, antes da retomada dos ensaios, que foram paralisados. Distinguiu, do ensaio 04 (parede na sala de emissão revestida e com conexão elástica), apenas no número de dias.

Observou-se que o comportamento foi similar ao do ensaio anterior, como mostra o comparativo apresentado a seguir.

4.1.9 Comparativo entre ensaio 04 e 05

A figura 28 apresenta a comparação dos resultados do índice de redução sonora, entre os ensaios 04 e 05, revelando desempenhos similares e a comprovação da freqüência de coincidência e da ressonância devida à espessura da parede.

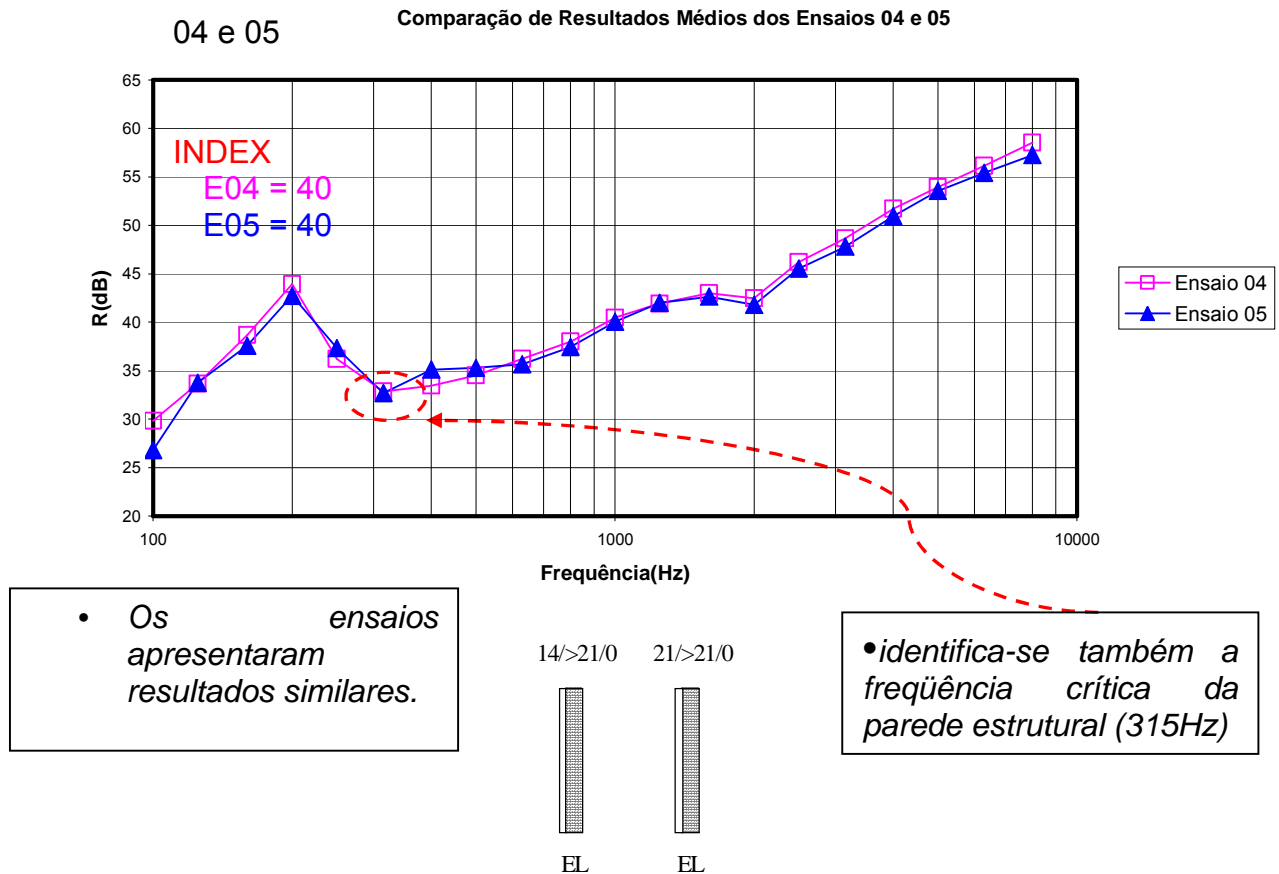


Figura 28 – Comparação do Índice de Isolação Sonora entre o Ensaio 04 e o Ensaio 05.

4.1.10 Ensaio 06

Devido a defeitos no microfone rotativo (*Rotating Microphone Boom*), os ensaios foram realizados com o equipamento parado, sem rotação. Para atender a norma ISO 140, cada ensaio foi realizado 4 vezes, modificando-se a posição do microfone ortogonalmente. O índice de isolação sonora resultante é o valor médio calculado entre aqueles medidos em cada posição do microfone.

A figura 29 apresenta os resultados obtidos para as medições em cada uma das 4 (quatro) posições ortogonais, após 55 (cinquenta e cinco) dias da alvenaria estrutural executada, 35 (trinta e cinco) dias do revestimento na sala de emissão, 7 (sete) dias do revestimento na sala de recepção e com as conexões elásticas.

Aqui, aplicou-se o revestimento no outro lado da parede, ou seja, no lado da câmara de recepção e, após 07 dias desta aplicação, realizou-se o ensaio.

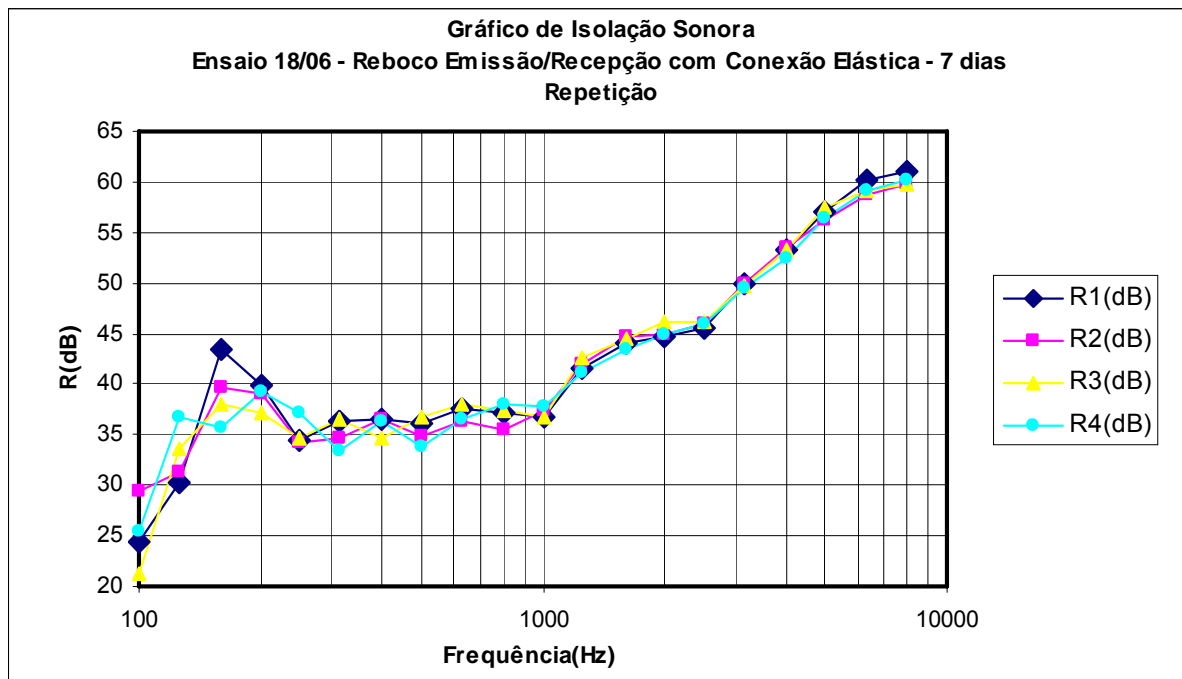


Figura 29 – Ensaio 06 - Parede revestida nos dois lados com conexões elásticas aos 7 dias

4.1.11 Comparativo entre ensaio 05 e 06

A figura 30 traz resultados relativos à presença do revestimento da parede no lado da câmara de recepção, ensaio 06. Comparam-se os resultados desse ensaio, com os do ensaio anterior (ensaio 05), ambos com as conexões elásticas, constatando-se desempenhos similares. Observa-se que o revestimento na recepção ocasiona desempenhos superiores, em especial, para as frequências acima de 1250 Hz. Existe, ainda, uma maior definição do patamar do efeito de coincidência, em baixas frequências.

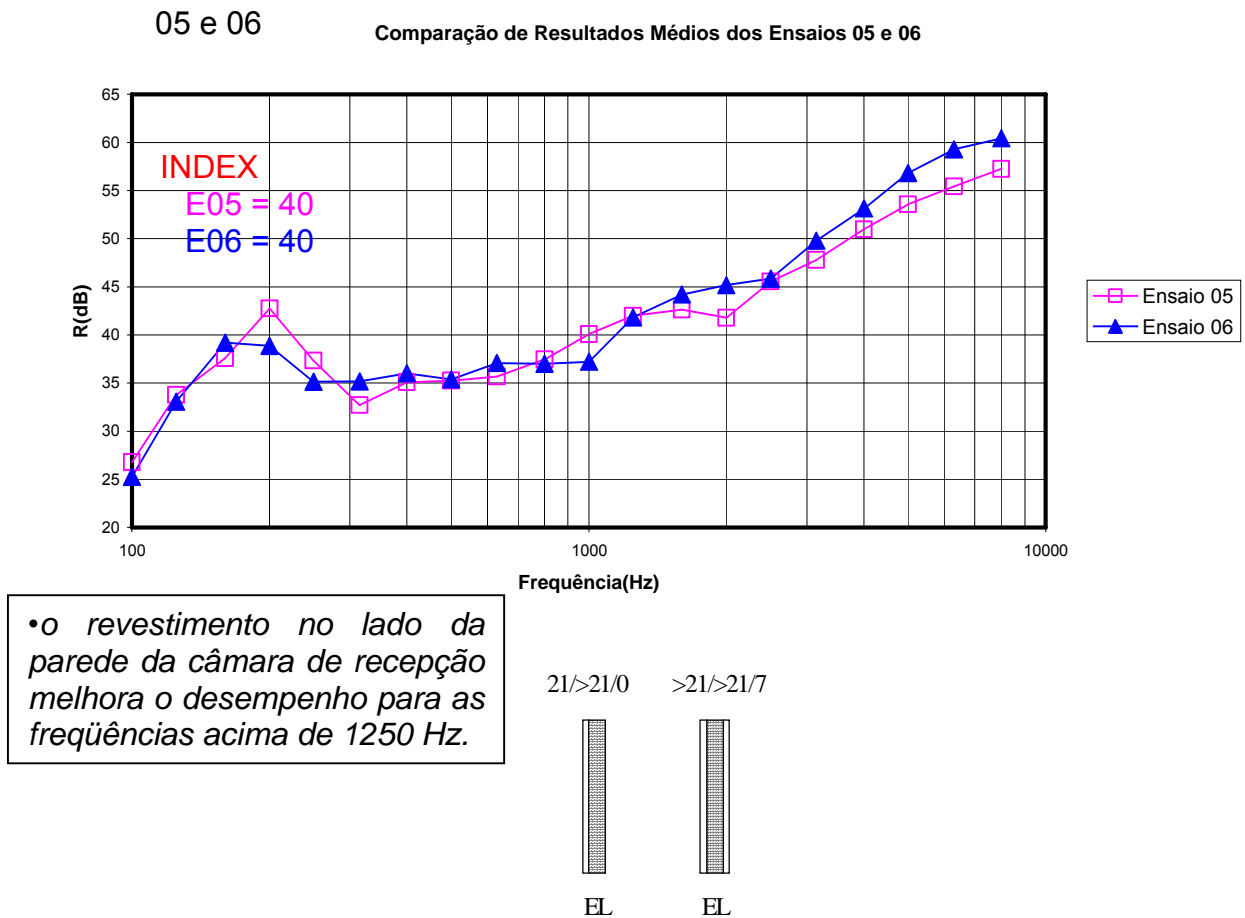


Figura 30 – Comparação do Índice de Isolamento Sonoro entre o Ensaio 05 e o Ensaio 06.

4.1.12 Ensaio 07

O ensaio 07 foi realizado após 62 (sessenta e dois) dias da alvenaria estrutural executada, 42 (quarenta e dois) dias do revestimento na sala de emissão, 14 (quatorze) dias do revestimento na sala de recepção e com as conexões elásticas.

Este ensaio teve por objetivo observar a influência do tempo de execução da argamassa na sala de recepção e também foi executado com o microfone parado em quatro posições ortogonais, devido a defeitos no microfone rotativo. Observou-se que os resultados em relação ao ensaio anterior, ensaio 06, são similares, conforme figura 31.

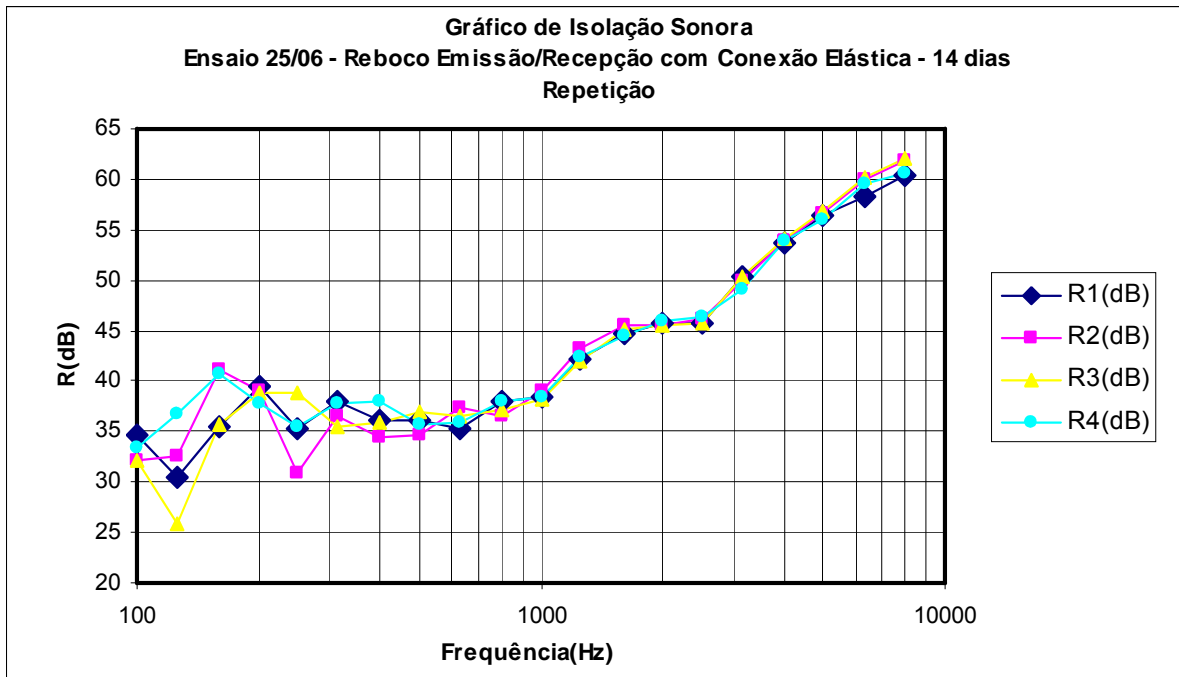


Figura 31 – Ensaio 07 - Parede revestida nos dois lados com conexões elásticas aos 14 dias

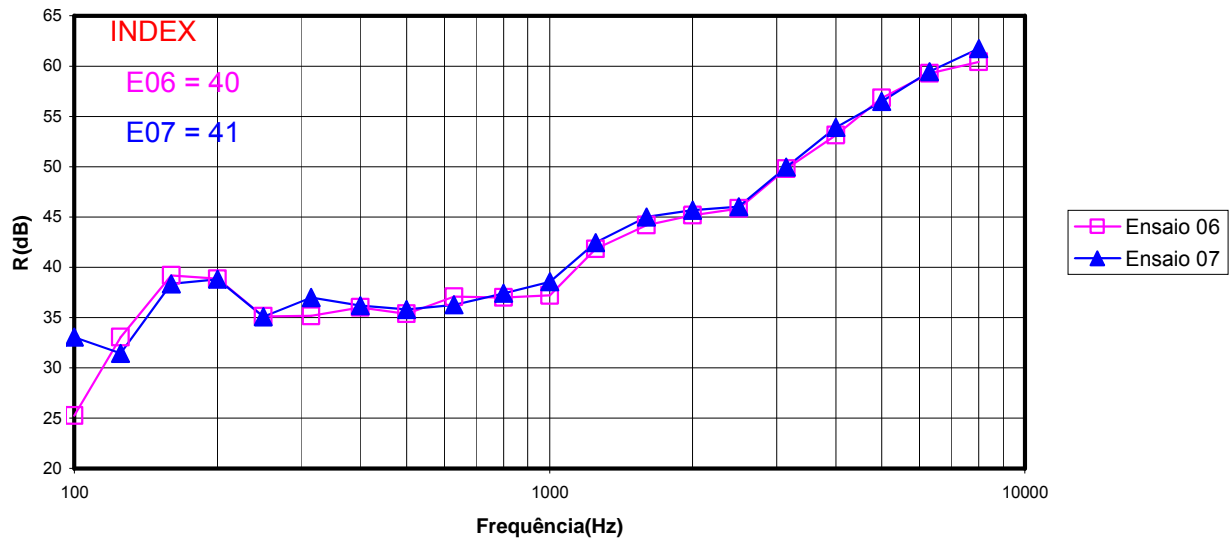
4.1.13 Comparativo entre ensaio 06 e 07

Verifica-se, na figura 32, que a diferença no número de dias de aplicação do revestimento na sala de recepção não altera, significativamente, os resultados obtidos no índice de redução sonora.

O ensaio 07, com 14 dias do revestimento na recepção apresentou um desempenho ligeiramente superior ao ensaio 06, com 07 dias do revestimento na recepção.

06 e 07

Comparação de Resultados Médios dos Ensaio 06 e 07



•os 14 dias de assentamento do revestimento no lado da parede da câmara de recepção apresentou um desempenho ligeiramente superior.

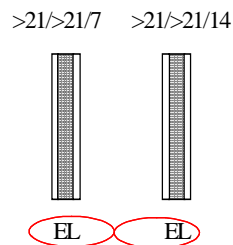


Figura 32 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 06 e o Ensaio 07.

4.1.14 Ensaio 08

A figura 33 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolamento sonora, após 76 (setenta e seis) dias da alvenaria estrutural executada, 56 (cinquenta e seis) dias do revestimento na sala de emissão, 28 (vinte e oito) dias do revestimento na sala de recepção e com as conexões semi-rígidas. Nesse ensaio, revestiu-se a região das conexões com argamassa para que se caracterizasse, novamente, a situação de conexões semi-rígidas, já apresentadas no ensaio 03, para o caso da sala de emissão.

Observa-se um patamar de frequências bem definido, onde o índice de isolamento sonora se mantém constante para um aumento da frequência na faixa de 1600 Hz a 2500 Hz.

O emprego de conexões semi-rígidas ou rígidas dificulta a identificação da frequência de coincidência da estrutura.

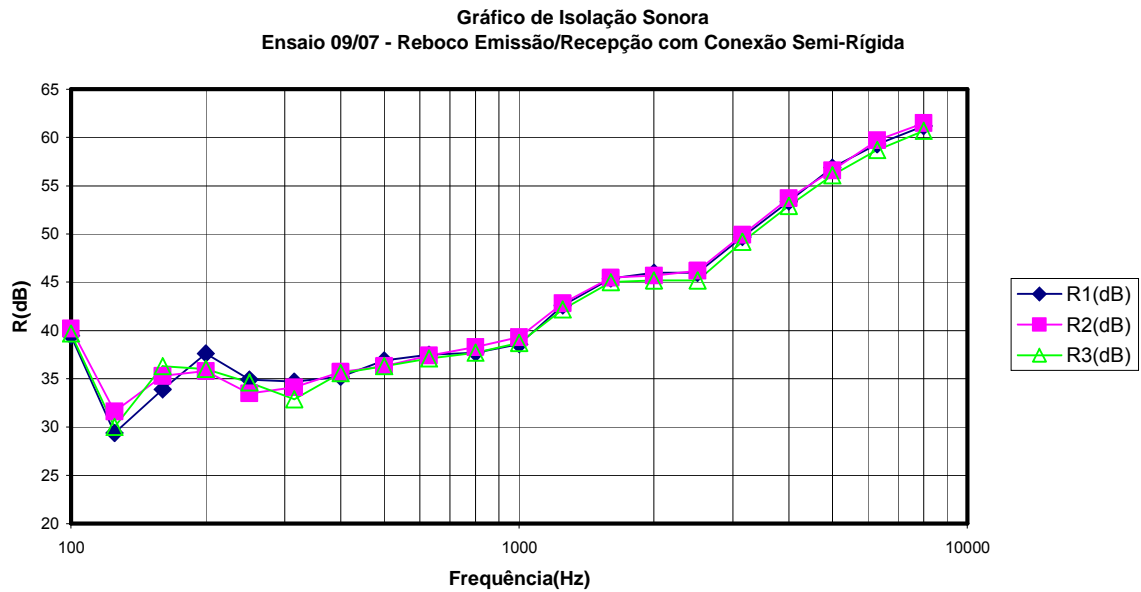


Figura 33 – Ensaio 08 - Parede revestida nos dois lados com conexões semi-rígidas

4.1.15 Comparativo entre ensaio 07 e 08

Na figura 34, comparam-se os resultados do ensaio 07 e 08, levando-se em conta apenas o tipo de conexão utilizada na parede, respectivamente, elásticas e semi-rígidas.

Verifica-se que a mudança no tipo de conexão na sala de emissão e de recepção influencia o desempenho da isolação sonora da parede apenas para frequências abaixo de 1000 Hz. A presença da conexão semi-rígida causa uma queda no isolamento nas frequências abaixo 400 Hz, devido ao fenômeno, já relatado, da “transmissão pelos flancos”. Nas demais frequências, há uma concordância com os resultados do ensaio com conexões elásticas.

07 e 08

Comparação de Resultados Médios dos Ensaio 07 e 08

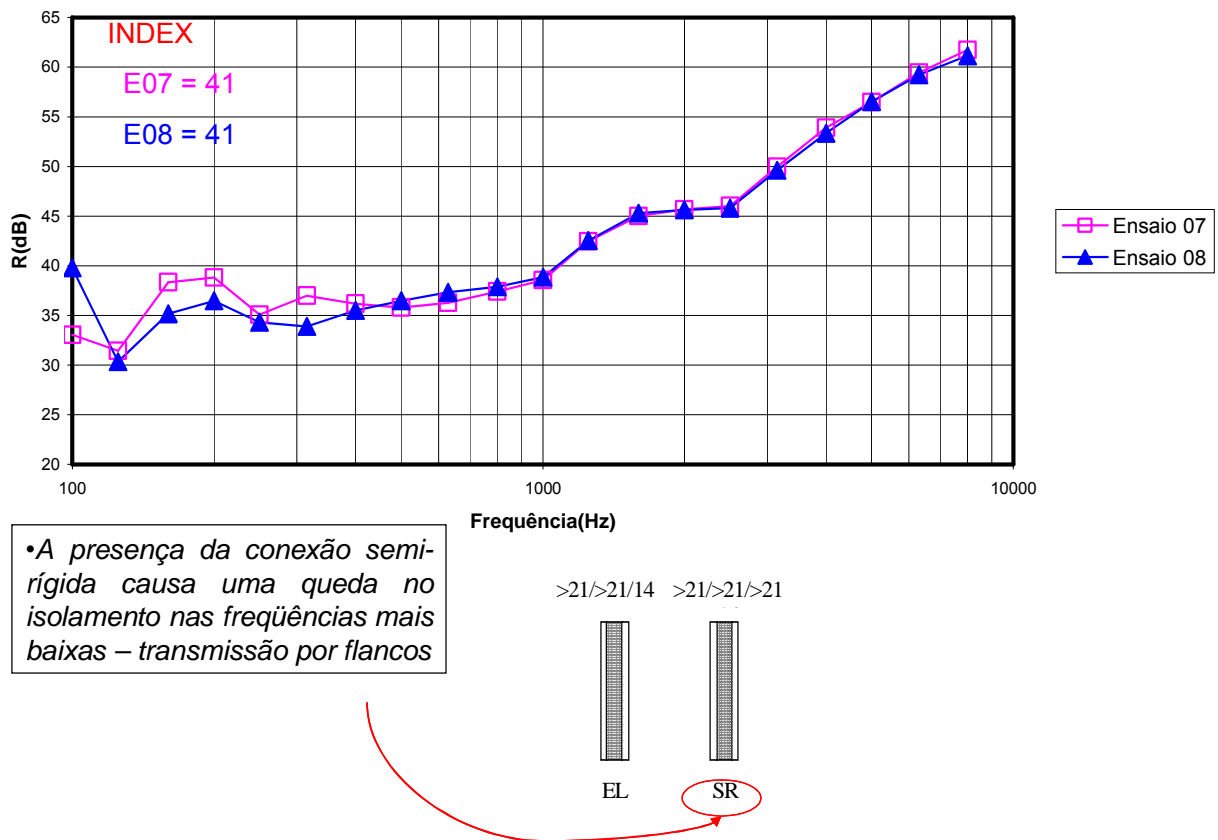


Figura 34 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 07 e o Ensaio 08.

4.1.16 Ensaio 09

A figura 35 apresenta os resultados obtidos dos índices de isolamento sonora, após 83 (oitenta e três) dias da alvenaria estrutural executada, 63 (sessenta e três) dias do revestimento na sala de emissão, 35 (trinta e cinco) dias do revestimento na sala de recepção e com as conexões rígidas.

Neste ensaio, repetido três vezes (R1, R2 e R3), retirou-se completamente o material elástico das conexões das paredes, preenchendo-se o local com a mesma argamassa utilizada para execução do revestimento, configurando-se, dessa forma, como conexão rígida.

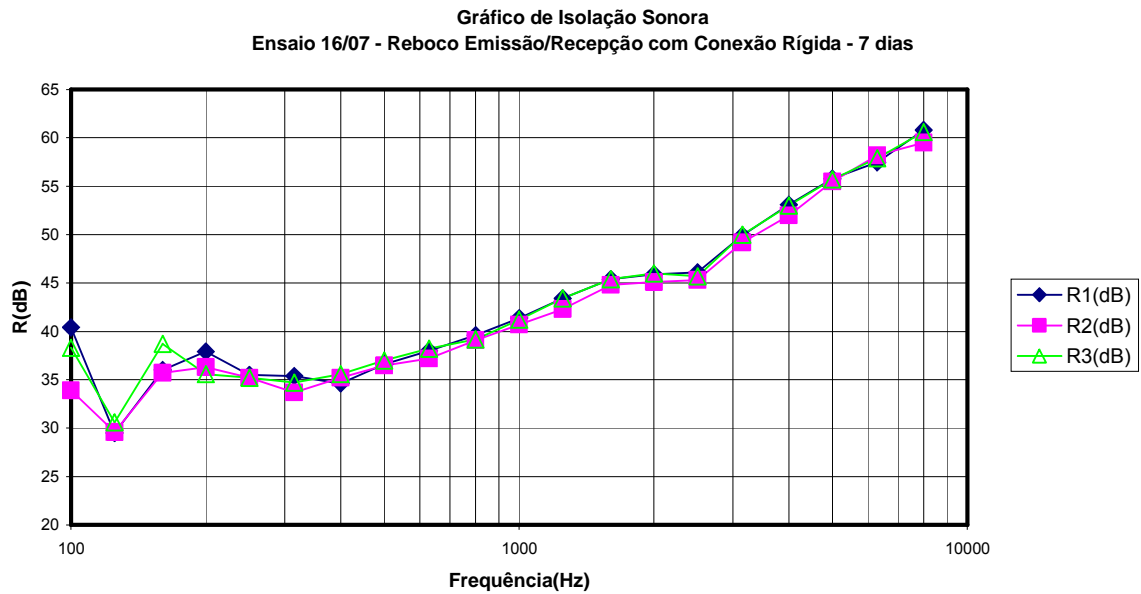


Figura 35 – Ensaio 09 - conexões rígidas e reboco na emissão e recepção

4.1.17 Comparativo entre ensaio 08 e 09

A figura 36 compara os resultados dos ensaios 08 e 09, mostrando o desempenho da parede com conexões semi-rígidas e rígidas, respectivamente.

No ensaio 09, verifica-se que ocorre um ganho no índice de isolamento sonora, para as frequências abaixo de 1000 Hz, enquanto que, para frequências acima de 1000 Hz, nota-se uma perda nesses índices.

Em relação ao patamar já observado (entre 1600 Hz e 2500 Hz), verifica-se que ele manifesta-se tanto com as conexões semi-rígidas quanto rígidas.

08 e 09

Comparação de Resultados Médios dos Ensaios 08 e 09

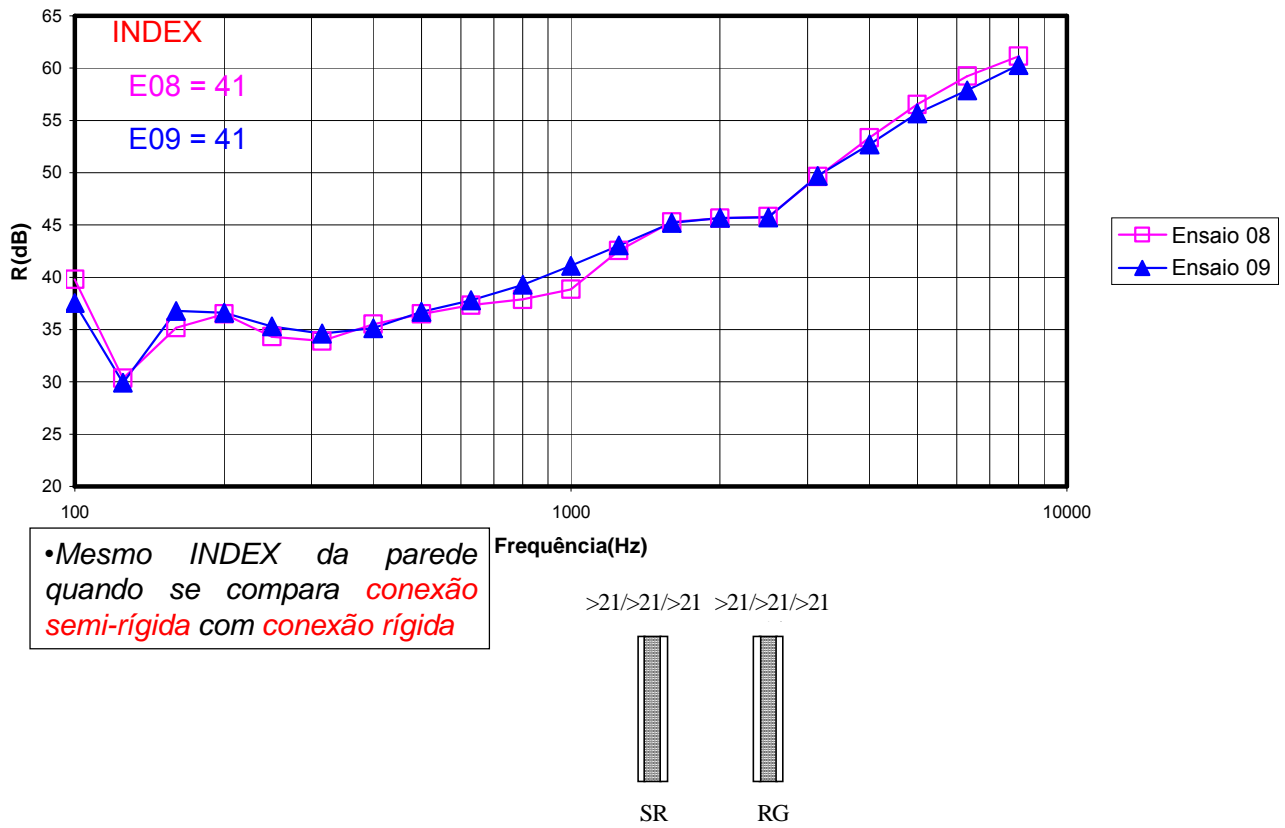


Figura 36 – Comparação do índice de isolamento sonora entre o Ensaio 08 e o Ensaio 09.

4.1.18 Ensaio 10

O ensaio 10 avaliou os índices de isolamento sonora, após 89 (oitenta e nove) dias da alvenaria estrutural executada, 69 (sessenta e nove) dias do revestimento na sala de emissão, 41 (quarenta e um) dias do revestimento na sala de recepção e com as conexões rígidas.

Neste último ensaio, buscou-se analisar a influência do número de dias da colocação da conexão rígida, no desempenho final da parede. Este ensaio foi realizado com o microfone parado, devido a defeitos no rotativo.

4.1.19 Comparativo entre ensaio 09 e 10

A análise da figura 37 pretende avaliar o resultado dos desempenhos dos ensaios 09 e 10, considerando-se apenas a influência do tempo de execução do tipo de conexão utilizada, no caso, as conexões rígidas.

O ensaio 10, após 14 dias da colocação da conexão rígida, apresentou resultados um pouco superiores, por frequência, aos índices obtidos do ensaio 09, após 07 dias da colocação dessa conexão, porém o resultado final mostrou o mesmo INDEX para os ensaios. Acredita-se que a secagem na argamassa confira maior rigidez ao sistema, e daí melhor redução sonora.

09 e 10

Comparação de Resultados Médios dos Ensaio 09 e 10

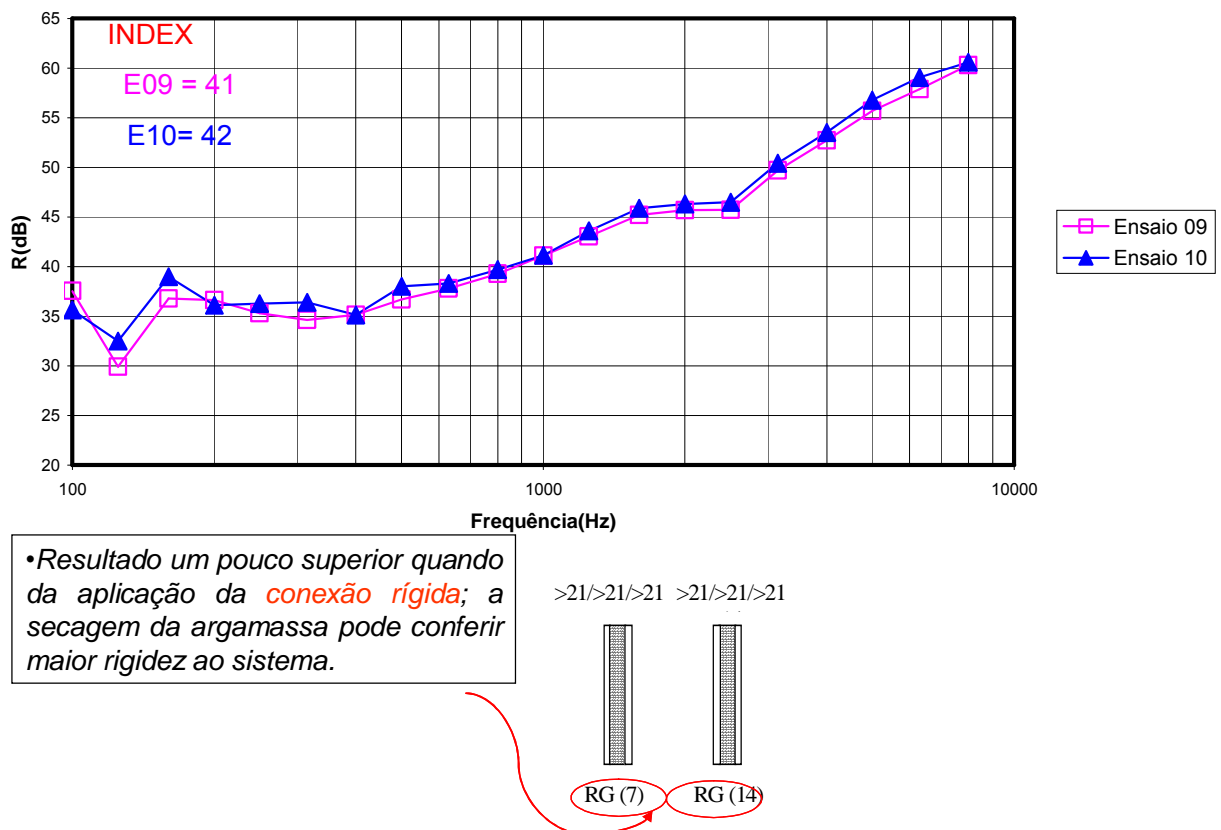


Figura 37 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 09 e o Ensaio 10.

4.1.20 Evolução do INDEX

A tabela 03 identifica o INDEX obtido em cada ensaio, de acordo com a norma ISO 717, define quanto o objeto estudado, no presente caso a parede de alvenaria estrutural, está isolando acusticamente.

Tabela 03 – INDEX (dB) dos ensaios

ENSAIO	DATA	INDEX (dB)
01	01/mai	35,0
02	08/mai	35,0
03	21/mai	40,0
04	27/mai	40,0
05	04/jun	40,0
06	18/jun	40,0
07	25/jun	41,0
08	09/jul	41,0
09	16/jul	41,0
10	22/jul	42,0

Na figura 38 é possível visualizar-se a evolução do INDEX ao longo do trabalho

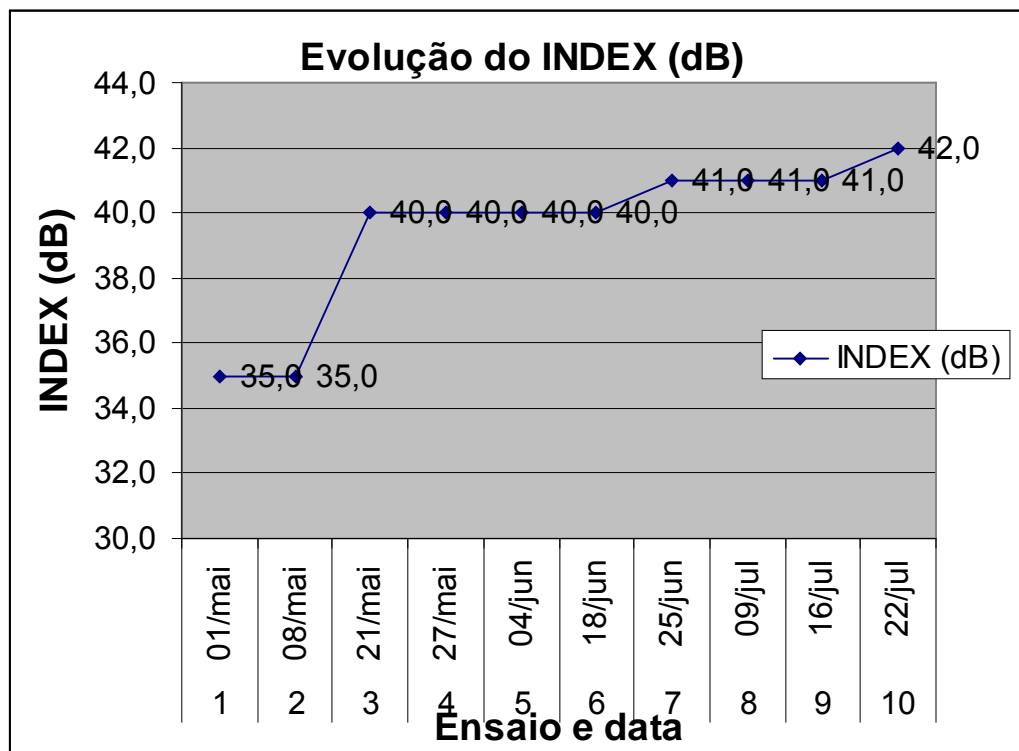


Figura 38 – Evolução do INDEX (dB)

4.2 Análise global dos resultados dos ensaios

A análise global dos resultados dos ensaios é realizada em três focos: a influência do revestimento da parede na sala de emissão, posteriormente, na sala de recepção e, finalmente, quanto ao tipo de conexão utilizada.

4.2.1 Comparativo entre ensaio 02 e 04

A análise da figura 39 tem por objetivo caracterizar o efeito, somente, do revestimento na sala de emissão (ensaio 04), em relação à parede sem revestimento (ensaio 02), ambos os ensaios com as conexões elásticas.

Levando-se em conta apenas a variável do revestimento na sala de emissão, verifica-se um ganho de 5 dB (INDEX), no índice de isolamento sonora quando da parede revestida. Isso se deve ao fato, já explicado anteriormente, da diminuição da porosidade da alvenaria estrutural, resultando uma superfície mais reflexiva, diminuindo-se as parcelas das ondas acústicas transmitidas pela parede. Acredita-se que, outro fator determinante é o aumento da rigidez do sistema, quando da execução do revestimento. Pode-se constatar isso observando-se mudanças na frequência ressonante de 1600 Hz no ensaio 02 para 2000 Hz no ensaio 04. Paixão (2002) ressalta que acima da frequência de coincidência, a Perda de Transmissão (PT), ou o Índice de Redução Sonora, é controlado pela rigidez do sistema, dependendo do tamanho do painel, dos seus contornos e do seu amortecimento interno, podendo chegar a 10 ou 18 dB por oitava.

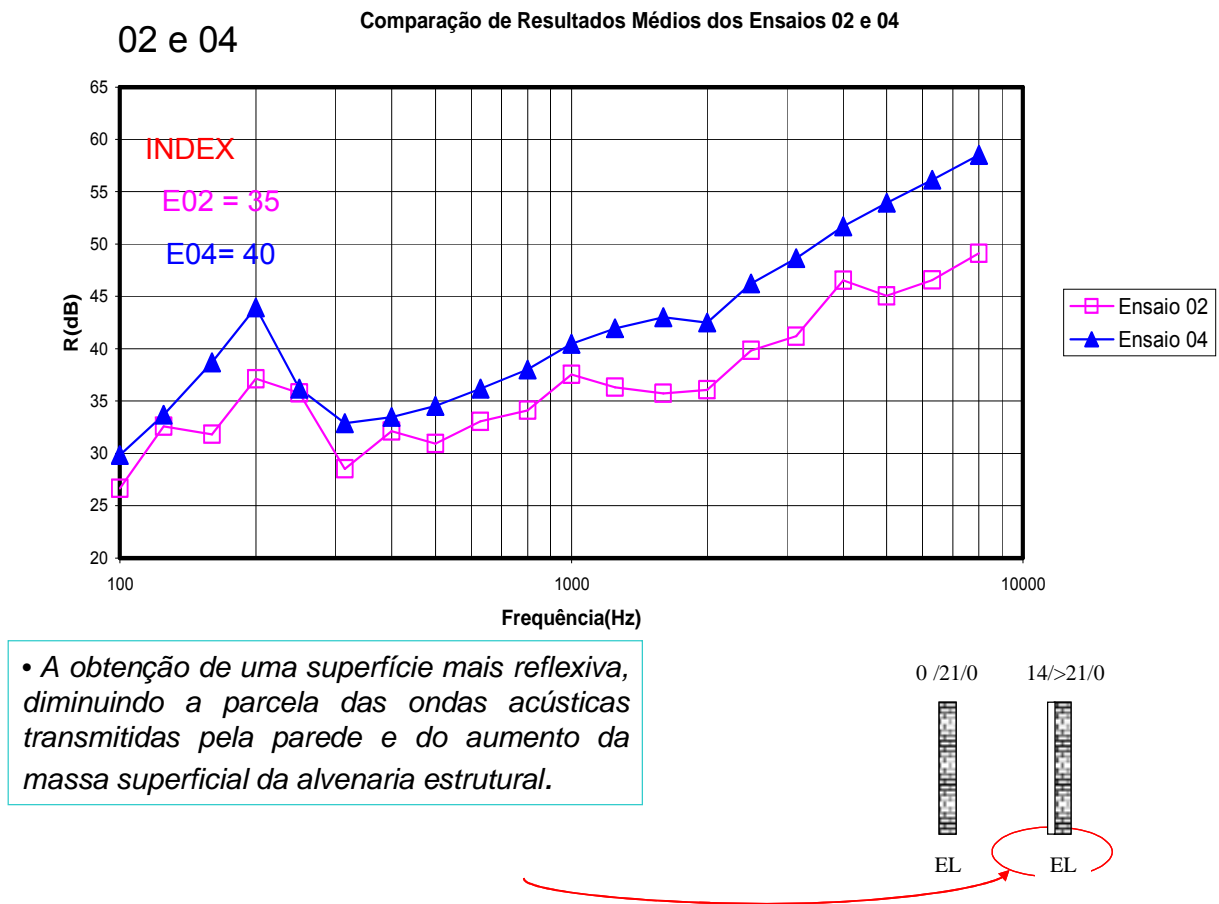


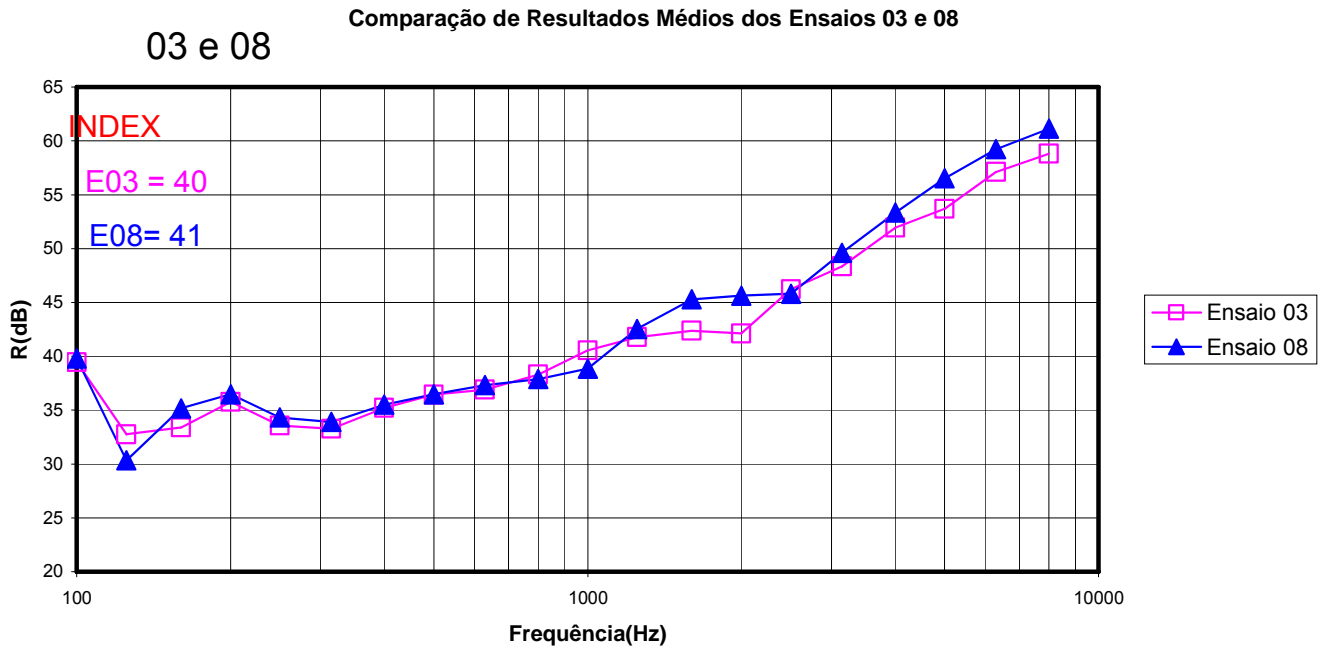
Figura 39 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 02 e o Ensaio 04.

4.2.2 Comparativo entre ensaio 03 e 08

A análise da figura 40 tem por objetivo caracterizar o efeito do revestimento na sala de recepção (ensaio 08), em relação à parede sem revestimento nesta sala (ensaio 03), ambos os ensaios com as conexões semi-rígidas.

Nestes dois ensaios, a sala de emissão encontrava-se revestida, no ensaio 03 não havia revestimento na recepção, no ensaio 08, sim.

Para o caso de conexões semi-rígidas, verifica-se que a parede revestida na recepção, ensaio 08, apresenta um INDEX de 41 dB, superior ao INDEX do ensaio 03, de 40 dB, sem revestimento na recepção. Conclui-se que, embora pequeno, o desempenho do índice de redução sonora, é superior, quando do revestimento na recepção. No caso do revestimento na recepção, verifica-se um melhor isolamento, em especial para as frequências superiores a 1250 Hz.



• Quando revestida a recepção, tem-se um desempenho superior no INDEX, embora pequeno, ambos os casos com revestimento na emissão e conexões semi-rígidas.

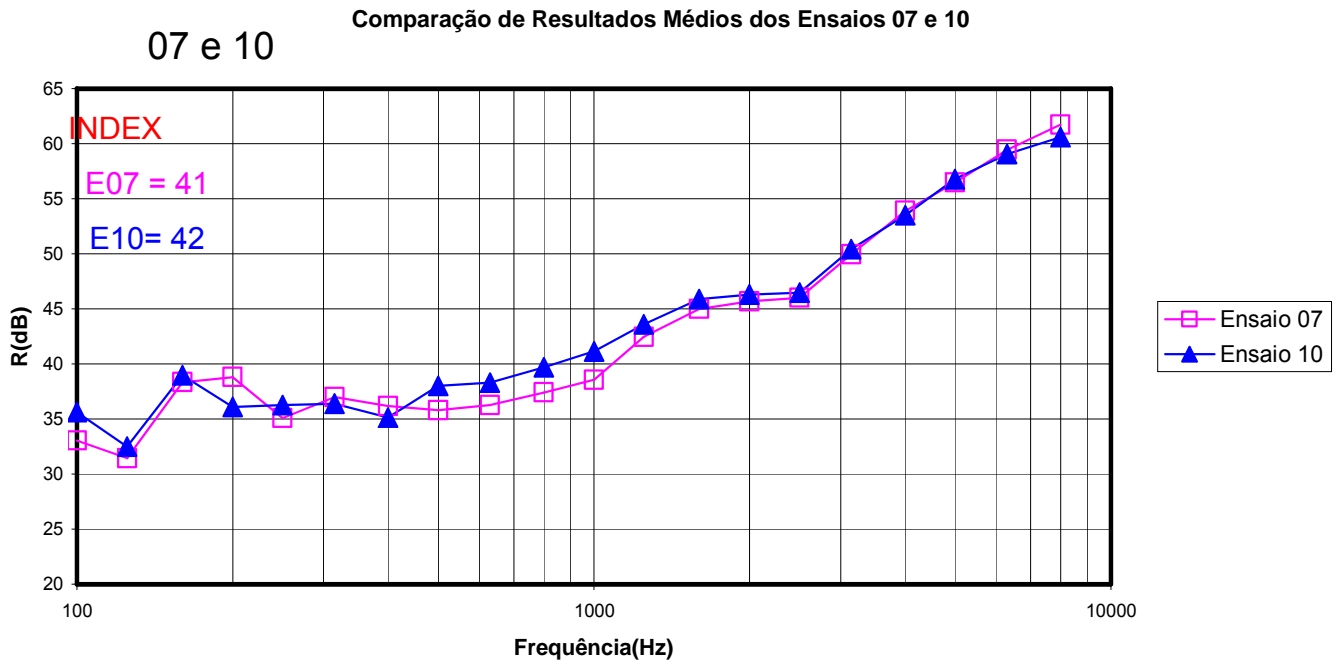
Figura 40 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 03 e o Ensaio 08.

4.2.3 Comparativo entre ensaio 07 e 10

A análise da figura 41 tem por objetivo, caracterizar o efeito do tipo de conexão utilizada.

Ambos os ensaios referem-se às salas de emissão e de recepção com revestimento. No ensaio 07 as conexões são elásticas e no ensaio 10, rígidas.

Levando-se em conta apenas a variável do tipo de conexão, para o caso de conexões rígidas (ensaio 10), verifica-se um melhor isolamento geral em relação ao ensaio com as conexões elásticas (ensaio 07), principalmente nas frequências entre 500 Hz e 2000 Hz. Acredita-se que haja a influência de uma maior rigidez do conjunto, com a colocação da argamassa, contribuindo para um ganho de 1 dB (INDEX) a favor do ensaio 10.



• Melhor isolamento para conexões rígidas, principalmente nas frequências entre 500 Hz e 2000 Hz.

Figura 41 – Comparação do Índice de Isolamento Sonora entre o Ensaio 07 e o Ensaio 10.

4.3 Cálculos analíticos para comparação com os ensaios

4.3.1 Frequência crítica

Na região da coincidência, calcula-se a frequência crítica pela equação 11, apresentada anteriormente.

onde:

c_1 = velocidade longitudinal de propagação do som na parede, definida como:

$$c_1 = \left[\frac{E}{\rho(1-\nu^2)} \right]^{1/2} \quad \text{Equação 15}$$

onde:

E = módulo de elasticidade (N/m^2)

ρ = densidade (Kg/m^3)

ν = coeficiente de Poisson

Os dados das propriedades mecânicas (módulo de elasticidade, densidade e coeficiente de Poisson), para o cálculo da frequência crítica da região de coincidência da parede de alvenaria estrutural, foram cedidos pelo Engenheiro Civil Marcus Daniel Friederich dos Santos, que gentilmente forneceu as informações de sua pesquisa, que serão utilizadas em sua Tese de Doutorado, a ser brevemente defendida, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.

Considerando-se a área líquida dos blocos, situação mais próxima da realidade, uma vez que esses blocos apresentam um volume bastante acentuado de vazios, os dados utilizados no presente trabalho constituem a tabela 04.

Tabela 04 – Características da parede estudada

<i>Tipo</i>	<i>E (N/m²)</i>	<i>ρ(Kg/m³)</i>	<i>ν</i>	<i>c_l(m/s)</i>	<i>f_c(Hz)</i>
Parede em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos 14x19x29 cm	5,0x10 ⁹	2006,6	0,22	1618,2	283,5

Observa-se uma divergência muito pequena entre o valor calculado (283 Hz) e o valor experimental (315 Hz) da frequência crítica de coincidência, pois o valor calculado encontra-se dentro da faixa da Banda de 315 Hz (282 Hz- 355 Hz) para filtros de 1/3 de oitava, como mostra Gerges (2000).

Essa diferença entre o cálculo e os ensaios já era esperada, devido às características da alvenaria, que por sua ortotropia, apresenta velocidades diferentes para as ondas longitudinais, transversais e de flexão.

4.3.2 Método do Patamar

Gerges (2000) explica que a condição para a aplicabilidade do Método do Patamar é de que a menor dimensão da parede em questão, no caso a altura (h), dividida pela espessura da parede, deve ser maior do que 20. Obteve-se o valor 20 para a parede em estudo.

O Método do patamar não pode ser aplicado na sua totalidade, para uma parede de alvenaria estrutural, uma vez que, na bibliografia, não se encontram dados, de largura e altura do patamar, para esse material, como demonstrado na Tabela 05.

Optou-se, no entanto, em apresentar nessa Dissertação alguns cálculos que identificam como seria o procedimento e que valores poderiam ser definidos para esse tipo de parede. Tais valores, a partir de uma comprovada repetibilidade, poderão auxiliar na ampliação das tabelas usuais sobre características de materiais.

A seguir, explica-se a seqüência para aplicação desse método:

- Calcula-se PT da parede em 500 Hz usando a equação 08 (Lei da Massa de Campo) e traça-se uma linha com inclinação de 6 dB/oitava.
- Obtém-se a altura do patamar na tabela 05. Traça-se uma linha, em cuja interseção com a linha definida no item anterior, dará origem à frequência inferior de coincidência [fi].
- A ‘frequência superior [fs]’ é dada pela equação:

$$f_s = f_i \cdot L_p \quad \text{Equação 16}$$

onde:

Lp: largura do patamar dado na Tabela 05.

- Acima da ‘frequência superior’ traça-se uma linha com inclinação de 10 a 18 dB/oitava.

Tabela 05 – Método do Patamar

Material	Densidade de área [Kg/m ² por cm de espessura]	Altura do Patamar [dB]	Largura do Patamar [Lp]
Alumínio	26,6	29	11
Concreto	22,8	38	4,5
Vidro	24,7	27	10
Chumbo	112	56	4
Aço	76	40	11
Tijolo	21	37	4,5
Madeira	5,7	19	6,5

Fonte: GERGES, 2000

No presente trabalho, não foram realizados ensaios mecânicos na parede em estudo. Dessa forma, utilizar-se-á dados de densidade superficial, para o cálculo da equação 08, publicados por Silva (2000).

Silva (2000) destaca, no ensaio 006 da sua Dissertação de Mestrado defendida no PPGEC/UFSM, que uma parede de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos 14x19x29 cm, apresenta densidade superficial total de 174,3 Kg/m², descontando-se os revestimentos.

Considerando-se que 1,0 cm de argamassa de revestimento apresenta uma densidade superficial de aproximadamente 23,0 Kg/m², conforme o fabricante da argamassa, tem-se que a parede em estudo, com revestimento na emissão e na recepção, apresenta uma densidade superficial de 220,3 Kg/m², para uma espessura de 16 cm. Logo, tem-se que a densidade superficial, para parede revestida na emissão e na recepção é de 13,77 Kg/m² por centímetro de espessura.

O cálculo do Método do Patamar, para o caso da parede de alvenaria estrutural em estudo, a partir desse ponto, é simulado considerando-se os resultados do ensaio n. 09, ou seja, das respostas experimentais chega-se aos valores que deveriam estar tabelados para avaliar o desempenho desse material.

– Cálculo da Perda na Transmissão para 500 Hz (M = 13,77 kg/m² e f = 500 Hz):

$$PT = 20 \log [13,77 \cdot 500] - 47,4 \rightarrow PT = 29,36 \text{ dB (linha 1)}$$

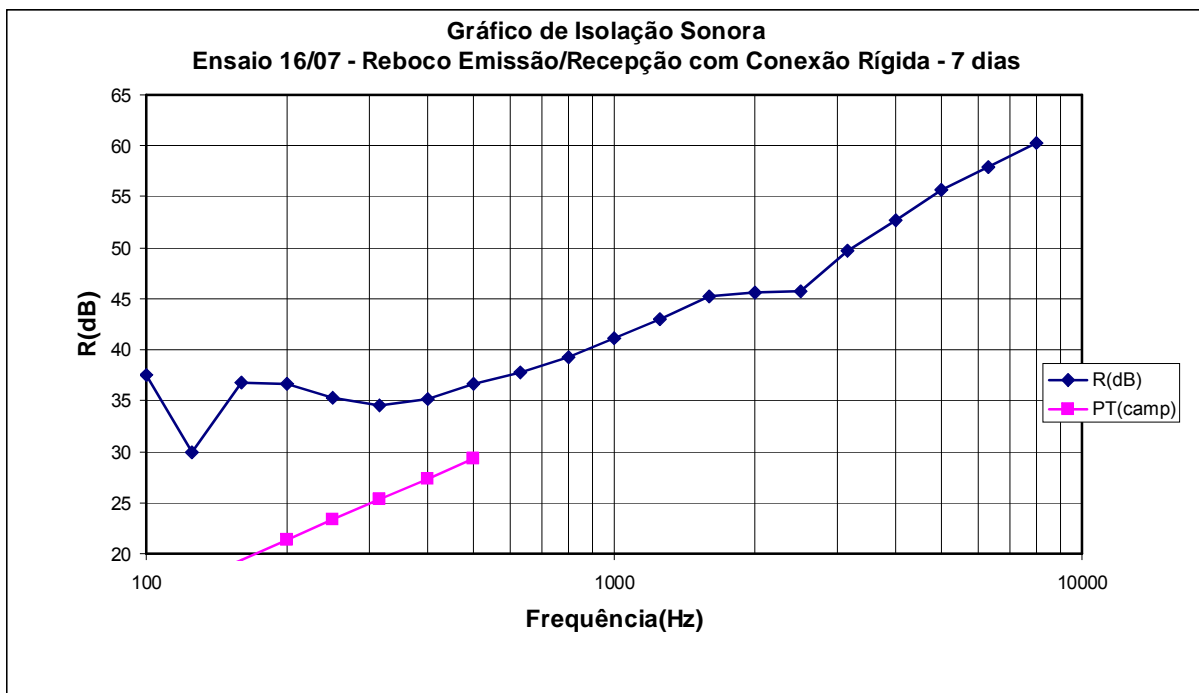


Figura 42 – Traçado da linha com inclinação de 6 dB/octava

Verifica-se, pela figura anterior, que o desempenho do isolamento acústico da parede de alvenaria estrutural nos ensaios é superior ao desempenho esperado teoricamente, a partir de sua densidade superficial.

4.4 Aspectos gerais da análise

O estudo evidenciou aspectos importantes na determinação da performance acústica de uma parede de alvenaria estrutural, a partir da realização dos ensaios normalizados, em Câmaras Reverberantes, segundo a ISO 140 - parte 3. citam-se:

- O tempo de execução da alvenaria, bem como, do revestimento, não altera significativamente os resultados.
- O uso de revestimento na emissão fornece um ganho de 5 dB (INDEX) no Índice de Redução Sonora da parede.
- O revestimento na recepção, depois de revestida a emissão, não tem influência direta no INDEX. Com revestimento na recepção, tem-se um melhor desempenho para frequências acima de 1250 Hz.
- O simples revestimento das conexões elásticas, configurando as conexões semi-rígidas, não altera o INDEX, interfere sim, no resultado dos ensaios nas frequências abaixo de 500 Hz, diminuindo o isolamento, típico da transmissão por flancos.
- Quando do uso de conexões semi-rígidas ou rígidas, verifica-se, nas baixas frequências, uma divergência nos valores dos resultados.
- Uma parede de alvenaria perfeitamente revestida em ambos os lados com o uso de conexões rígidas apresenta desempenho de 42 dB (INDEX).
- Para o cálculo do Método do Patamar são necessários dados mais confiáveis, uma vez que a bibliografia, mesmo da Acústica, não cita materiais referentes à Alvenaria Estrutural.

5.1 Considerações finais

O crescimento das cidades traz consigo a elevação dos níveis de ruído, que devem ser combatidos.

O aumento do custo da construção era um dos fatores inibidores da realização de tratamentos acústicos nas edificações. Hoje, percebe-se que cuidados aplicados já na fase de projeto levam a um acréscimo pequeno, frente aos benefícios proporcionados aos usuários. As correções, embora mais onerosas, são viáveis, atualmente, na maioria dos casos.

O isolamento sonoro é um dos pontos mais destacados pelos usuários, que buscam privacidade e conforto nas edificações.

O presente estudo mostra um Índice de Redução Sonora em torno de 42 dB (INDEX), quando a parede de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos é perfeitamente revestida em ambos os lados (espessura total de 16 cm).

No decorrer da realização dos ensaios, modificaram-se as conexões entre a parede em estudo e as paredes das câmaras reverberantes. A parede de alvenaria estrutural foi confeccionada, primeiramente, com conexões elásticas (borracha+silicone) nas bordas laterais e superior. Com o desenvolver do trabalho, revestiram-se as conexões elásticas, tornando-as conexões semi-rígidas e, após, substituiu-se as conexões elásticas por conexões rígidas, preenchendo-se as bordas com argamassa. Ficou demonstrado que o simples revestimento das conexões elásticas origina as “pontes acústicas”, interferindo nos resultados dos ensaios para as baixas frequências. Essa queda no desempenho é fruto da parcela transmitida através da estrutura, chamada transmissão por flancos.

Os ensaios realizados com configurações similares, levando-se em conta apenas o tipo de conexão (elástica ou rígida), mostram que o Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria estrutural com as conexões rígidas é 1 dB (INDEX) superior. Dessa forma, confirma-se a teoria citada por Patrício (2003), a partir da qual, se a densidade superficial do elemento separador é menor que a densidade superficial dos elementos adjacentes, a transmissão ocorre essencialmente pelo elemento separador, pois a influência da transmissão marginal é desprezível.

Quanto ao tipo de conexão, observa-se que as conexões elásticas permitem uma identificação gráfica bem definida da frequência de coincidência.

Verifica-se que, em todos os ensaios, com o uso de conexões rígidas ou semi-rígidas, há uma divergência nos resultados, nas baixas frequências, mais acentuada, ainda, quando existe revestimento na recepção. Esse fenômeno pode ser atribuído, à geometria das salas e das paredes em teste, conforme explicam Schmitz & Méier (2000, Apud Paixão, 2002).

Outro aspecto importante que o estudo evidencia é a presença do revestimento da parede. O uso do revestimento somente na sala de emissão origina um ganho de 5 dB (INDEX) no desempenho dessa parede em relação a “parede em osso”, fato esse atribuído ao aumento da parcela de energia sonora refletida, da massa superficial e da rigidez do sistema.

O uso do revestimento faz com que o vale, que surge nas altas frequências, referente à ressonância devida à espessura da parede, desapareça. O outro vale, visualizado nas médias frequências desloca-se em direção as maiores frequências. O aumento da rigidez do sistema ocasiona o aumento da frequência natural da estrutura, deslocando a frequência de ressonância de espessura da parede.

Considerando-se que a sala de emissão esteja revestida, o posterior revestimento na sala de recepção não influencia no desempenho da parede.

No decorrer do trabalho, os primeiros resultados obtidos através dos ensaios dizem respeito ao tempo de execução da alvenaria, bem como ao tempo de execução do revestimento nessa alvenaria. Verificou-se que os ensaios, com as mesmas configurações, executados aos 7 e aos 14 dias resultaram índices bastante parecidos, confirmando o que foi demonstrado em Paixão (2002), que comparou ensaios realizados com paredes de tijolos maciços sem revestimento, aos 14 e aos 28 dias. Aqueles ensaios também apresentaram resultados similares.

Considera-se que os objetivos da pesquisa foram alcançados, pois os valores encontrados e explicados no trabalho podem servir de subsídios aos engenheiros e arquitetos, a fim de que projetem edificações com uma melhor qualidade acústica.

Os níveis sonoros adequados não devem ser encarados apenas como um fator determinante no conforto ambiental, mas como um direito do cidadão.

Outra questão a ser lembrada refere-se às comunidades já assentadas, ameaçadas pela poluição sonora de novas obras públicas. A transformação de uma tranqüila rua em avenida, a construção de um aeroporto ou de uma auto-estrada, ou

uma via elevada, podem ampliar o ruído, justificando a necessidade de materiais com bom isolamento sonoro.

A poluição sonora não se restringe apenas a regiões de grande concentração industrial, como a poluição atmosférica; nem a estritas regiões, como a poluição radioativa. O barulho está presente em qualquer comunidade, em qualquer tipo de trânsito de veículos, em qualquer processo fabril, em qualquer obra civil.

O presente trabalho, portanto, contribui para a melhoria do conforto acústico e da qualidade de vida das pessoas, através da difusão de conhecimentos, bem como com a quantificação de valores de isolamento sonoro, referentes a um importante sistema construtivo, de crescente utilização no Brasil – a alvenaria estrutural.

5.2 Sugestões para futuros trabalhos

- Propor um modelo numérico para caracterizar o Índice de Redução Sonora de uma parede de alvenaria estrutural;
- Investigar o desempenho acústico de uma parede de alvenaria estrutural, utilizando-se de outros tipos de blocos, com diferentes dimensões, podendo-se, ainda, fazer o preenchimento dos vazados verticais desses blocos com material absorvente;
- Estudar o comportamento de outros materiais usados comumente na construção civil (blocos de concreto, tijolos furados, etc.), enfocando a mesma metodologia utilizada no presente trabalho;
- Investigar a influência do revestimento, diferentes traços e espessuras, no isolamento acústico das edificações;
- Propor ensaios, revestindo-se, primeiramente, a sala de recepção, para que se obtenha o desempenho isolado do revestimento nessa sala.
- Propor ensaios com tempos de execução inferior aos sete dias, uma vez que ensaios realizados aos 7 e aos 14 dias resultaram Índices de Redução Sonora similares;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual técnico de alvenaria**. 1990. 275 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1986.

AZEVEDO, Alberto Vieira de. **Avaliação e Controle do Ruído Industrial**. Rio de Janeiro:CNI, 1984, 117p.

BERANEK, Leo L. **Noise Reduction**. Huntington, New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1980, 752 p.

BERANEK, Leo L. **Noise and Vibration Control**. Revised Edition. Washington, DC: Institute of Noise Control Engineering, 1988, 672 p.

CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, 2001. 52 p. Notas de aula.

CARVALHO, Maria Luiza de U.; MACIEL, Cândida de A.; CALIXTO, Rodrigo J. **Avaliação do isolamento acústico de portas de alta densidade com melhorias na vedação das frestas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC 2006). p.3142-3151. Florianópolis: UFSC, 2006.

CAVALHEIRO, Odilon P. **Fundamentos de alvenaria estrutural**. Santa Maria: UFSM, 1995. Não paginada. Apostila.

- COÊLHO, Ronaldo Sérgio de A. **Alvenaria Estrutural**. São Luís:UEMA, 1998, 146p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do CONAMA;1984/91**. 4.ed. rev. e aum. Brasília, IBAMA, 1992, 245 p.
- COSTA, Ennio C.da **Acústica técnica**. 1.ed. São Paulo, SP: E. Blücher Ltda., 2003. 127p.
- CRAIK, Robert J.M. **Sound transmission through buildings using Statistical Energy Analysis**. Hampshire, Gower, 1996, 261 p.
- DE MARCO, Conrado S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 2.ed. São Paulo, SP: Nobel, 1990. 129p.
- DUARTE, Ronaldo B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Ronaldo Bastos Duarte. Porto Alegre, 1999, 79 p.
- EMERY, O.; RHEINGANTZ, Paulo A. **Saber ouvir a arquitetura (O ouvido do arquiteto)**. III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado – RS, 1995.
- FAHY, F. **Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response**. London: Academic Press Inc., 1985, 309 p.
- FERNANDES, João C. **Acústica e Ruídos**. Bauru: UNESP, 2002. 98 p. Apostila.
- FRANCO, Luís S. **O desenvolvimento de processos construtivos em alvenaria estrutural**. 1992. 10 p. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- _____. **Racionalização construtiva, inovação tecnológica e pesquisas**. In: Curso de Formação em Mutirão. 1996. 13 p. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRIFFITH, A. **Quality management in United Kingdom building construction.** In: CIB TRIENNIAL CONGRESS, 11., Paris, 1989. Quality for building users throughout the world. s.l., CIB, 1989. v.2, t.3, p.379-87.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2.ed. Revista e ampliada, Florianópolis, SC: NR editora, 2000. 675p.

HALL, B.; FLETCHER K. **Quality assurance of building in the United Kingdom.** Building Research and Practice, n.1., p.61-4, Jan./Feb. 1990.

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

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

JÚNIOR, Valdir O. **Recomendações para projeto de edifícios em alvenaria estrutural.** 1992. 266 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada.** 2.ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002, 104p.

LJUNGGREN, S. **Airborne sound insulation of thin walls.** In: Journal of Acoustical Society of America, 89 (5), 1991a, 2338-2345.

MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2004, 116 p.

MÉNDEZ, Antonio M. **Acustica arquitectonica.** 1.ed. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238p.

PAIXÃO, Dinara X. da **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. 161p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

PATRÍCIO, Jorge **A acústica nos edifícios**. 2.ed. Lisboa: [s.n.], 2003. 31p.

PEDROSO, Gilson M. **Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento na alvenaria estrutural**. 2001. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

POPOV, Egor P. **Introdução a mecânica dos solos**. Tradução: Mauro Amorelli. Revisão Técnica: Amo Blass. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

POZZOBON, Marco A. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural**. 2003. 305 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo, SP: Pini, 2003. 174 p.

RAUBER, Felipe C. **Construtibilidade e desempenho no projeto de alvenaria estrutural**. 2005. 122 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

RECUERO, M. & GIL, C. **Acustica Architectonica**. Madri: Ártica, 1993, 784 p.

REYNOLDS, Douglas D. **Engineering Principles of Acoustics**. Boston: Alliy and Bacon Inc., 1981, 641 p.

ROMAN, Humberto R.; MUTTI, Cristine do N.; ARAÚJO, Hércules N.de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis, SC: UFSC, 1999. 83 p.

ROSSO, S. **Alvenaria estrutural: A gravidade como aliada**. Revista Técnica. Ed. Pini. São Paulo. nº 31, p.38-41, set./out. 1994. 60 p.

SABBATINI, Fernando H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária.** 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, Flávio Antônio dos. **Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios de alvenaria estrutural.** 2001. 153 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS LOPES, L.P. **Análise previsional de isolamento sonoro:** Importância das transmissões marginais. In : *Acústica 98*, Lisboa, p.177-180, 1998.

SCHMITZ, A. & MEIER, A. Total Loss Factor in Building Acoustics – Measurement and Application. In: XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. **Anais...** Belo Horizonte, 15-19 abril – 2000, p.111-132.

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

SOUZA, Lea Cristina L.de. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica:** ouvindo a arquitetura. 1.ed. Bauru, SP: [s.n.], 2003. 149p.

APÊNDICES

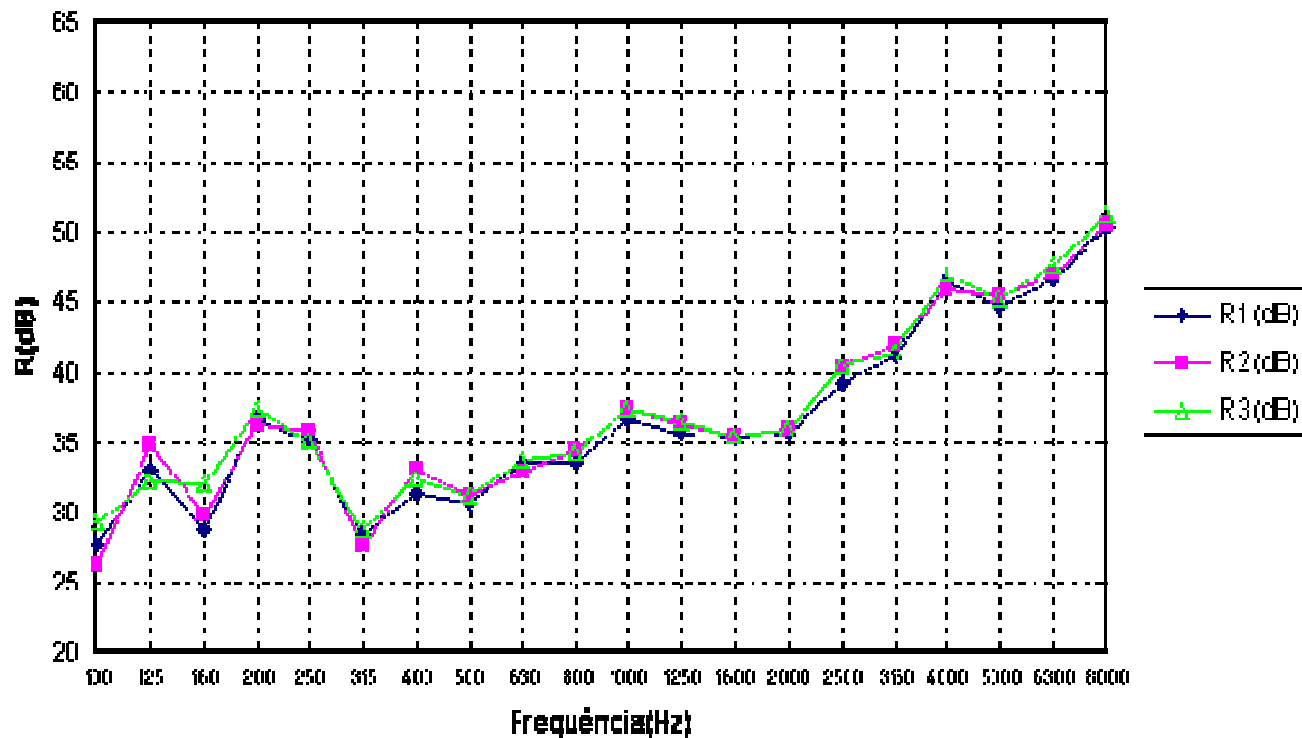
APÊNDICE 1

Resumo dos ensaios realizados

Ensaio 01

Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 01/05 - Sem Reboco com Conexão Elástica - 7 dias

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	27,8	26,1	29,3
125	33,1	34,8	32,2
160	28,8	29,8	32,0
200	36,7	36,4	37,4
250	35,1	35,8	35,2
315	28,4	27,5	28,7
400	31,4	33,0	32,4
500	30,7	31,2	31,2
630	33,5	32,8	33,7
800	33,5	34,4	34,3
1000	36,6	37,4	37,3
1250	35,7	36,4	36,5
1600	35,3	35,5	35,5
2000	35,7	36,0	36,0
2500	39,3	40,4	40,4
3150	41,2	42,0	41,5
4000	46,5	45,9	47,0
5000	44,8	45,5	45,3
6300	46,6	47,0	47,6
8000	50,4	50,6	51,2



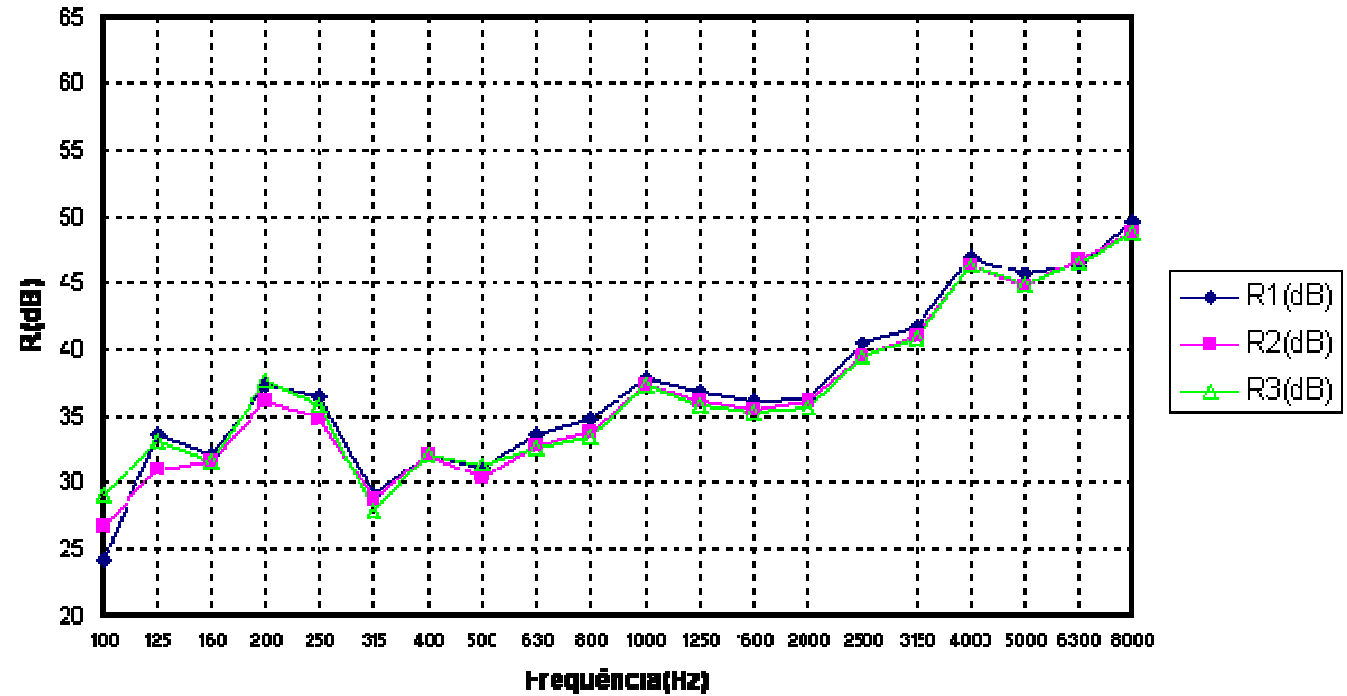
Dpadrão
Médio 0,60841

Ensaio 02

Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 08/05 - Sem Reboco com Conexão Elástica - 14 dias

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	24,2	26,7	29,0
125	33,7	31,0	33,1
160	32,1	31,7	31,7
200	37,4	36,2	37,7
250	36,5	34,9	35,9
315	29,0	28,7	27,8
400	32,2	32,1	32,1
500	31,1	30,4	31,3
630	33,7	32,8	32,7
800	34,9	33,9	33,5
1000	37,9	37,4	37,3
1250	36,9	36,2	35,9
1600	36,2	35,5	35,4
2000	36,4	36,1	35,7
2500	40,5	39,5	39,5
3150	41,7	41,0	40,9
4000	47,0	46,3	46,3
5000	45,6	44,6	44,9
6300	46,3	46,9	46,5
8000	49,6	48,9	48,8

Dpadrão
Médio 0,618586

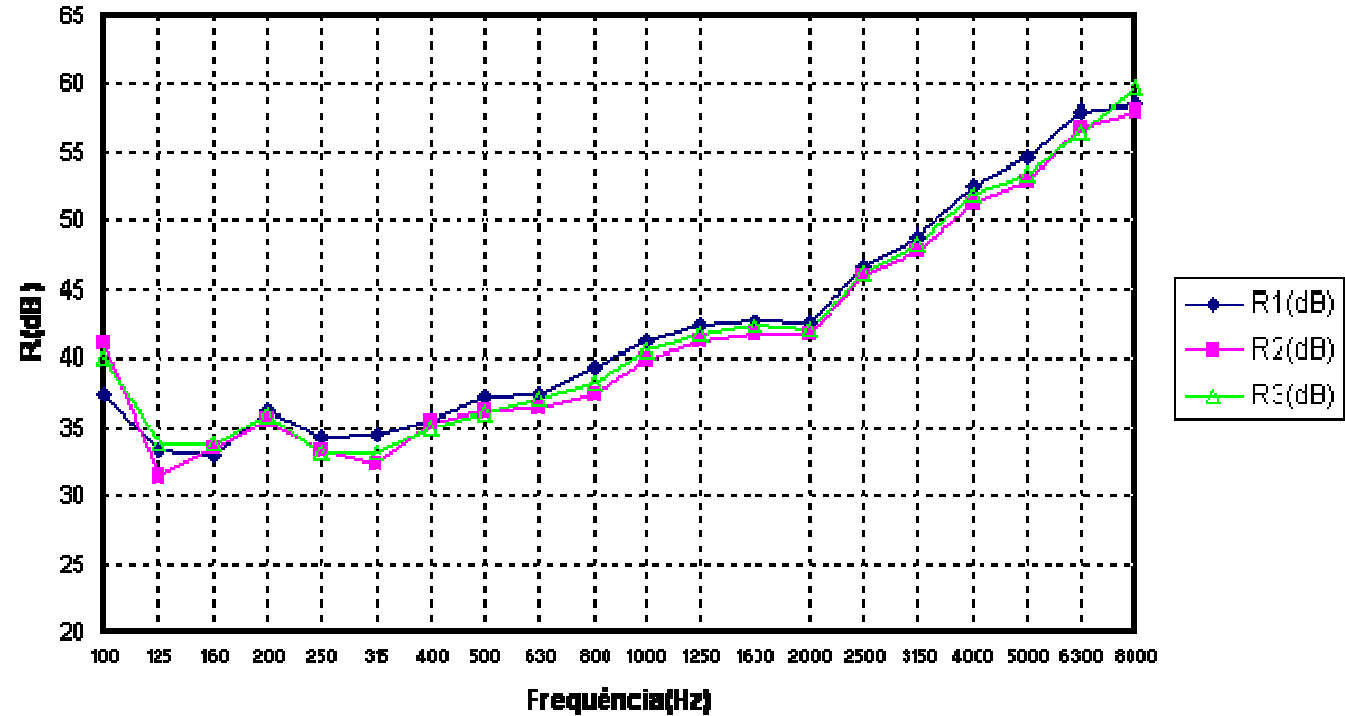


Ensaio 03

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	37,3	41,1	40,0
125	33,2	31,4	33,7
160	32,9	33,5	33,8
200	36,1	35,4	35,8
250	34,3	33,3	33,1
315	34,5	32,2	33,1
400	35,5	35,2	34,9
500	37,2	36,1	36,0
630	37,4	36,3	37,0
800	39,3	37,4	38,2
1000	41,3	39,8	40,5
1250	42,5	41,2	41,7
1600	42,8	41,8	42,5
2000	42,6	41,7	42,0
2500	46,7	45,9	46,1
3150	48,9	47,8	48,4
4000	52,6	51,3	51,9
5000	54,7	53,0	53,4
6300	58,1	56,8	56,5
8000	58,6	58,1	59,7

Dpadrão
Médio 0,740312

Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 2105 - Reboco Emissão com Conexão Elástica - 7 dias

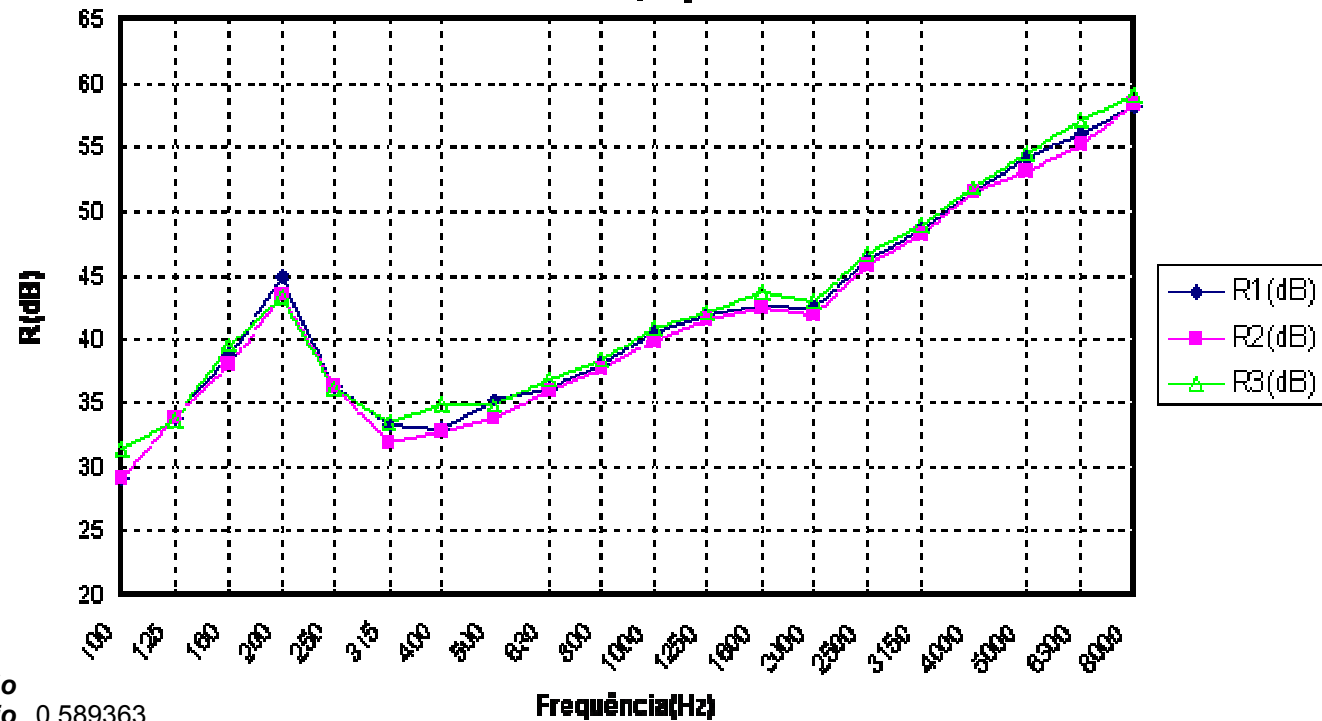


Ensaio 04

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	29,0	29,1	31,4
125	33,7	33,7	33,6
160	38,6	38,0	39,5
200	44,9	43,5	43,4
250	36,3	36,2	36,1
315	33,2	31,9	33,5
400	32,9	32,7	34,8
500	35,1	33,7	34,8
630	36,0	35,9	36,7
800	38,0	37,6	38,4
1000	40,6	39,8	41,0
1250	42,0	41,7	42,1
1600	42,7	42,5	43,8
2000	42,5	42,0	43,0
2500	46,2	45,9	46,6
3150	48,6	48,3	49,0
4000	51,6	51,5	52,0
5000	54,1	53,2	54,5
6300	56,1	55,2	57,1
8000	58,2	58,3	59,1

Dpadrão
Médio 0,589363

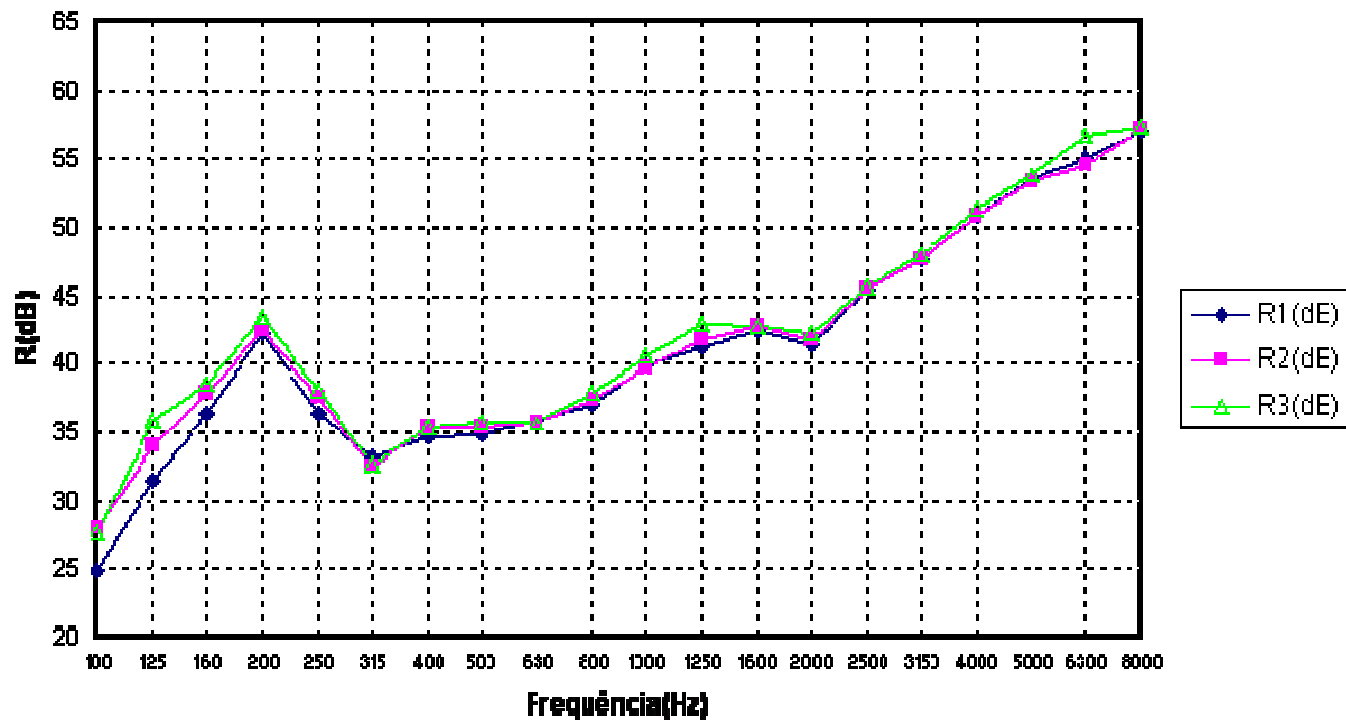
Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 27/05 - Reboco Emissão com Conexão Elástica - 7 dias
Repetição



Ensaio 05

Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 04.06 - Reboco Emissão com Conexão Elástica - 14 dias

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	24,9	27,9	27,6
125	31,5	34,0	35,8
160	36,4	37,9	38,5
200	42,2	42,5	43,5
250	36,4	37,5	38,1
315	33,1	32,4	32,6
400	34,6	35,4	35,3
500	34,8	35,3	35,7
630	35,8	35,6	35,6
800	37,1	37,4	37,9
1000	39,9	39,7	40,6
1250	41,2	41,8	43,0
1600	42,4	42,7	42,8
2000	41,4	41,8	42,2
2500	45,4	45,5	45,7
3150	47,7	47,7	48,0
4000	50,8	50,8	51,3
5000	53,5	53,4	53,8
6300	55,0	54,6	56,7
8000	57,0	57,3	57,5



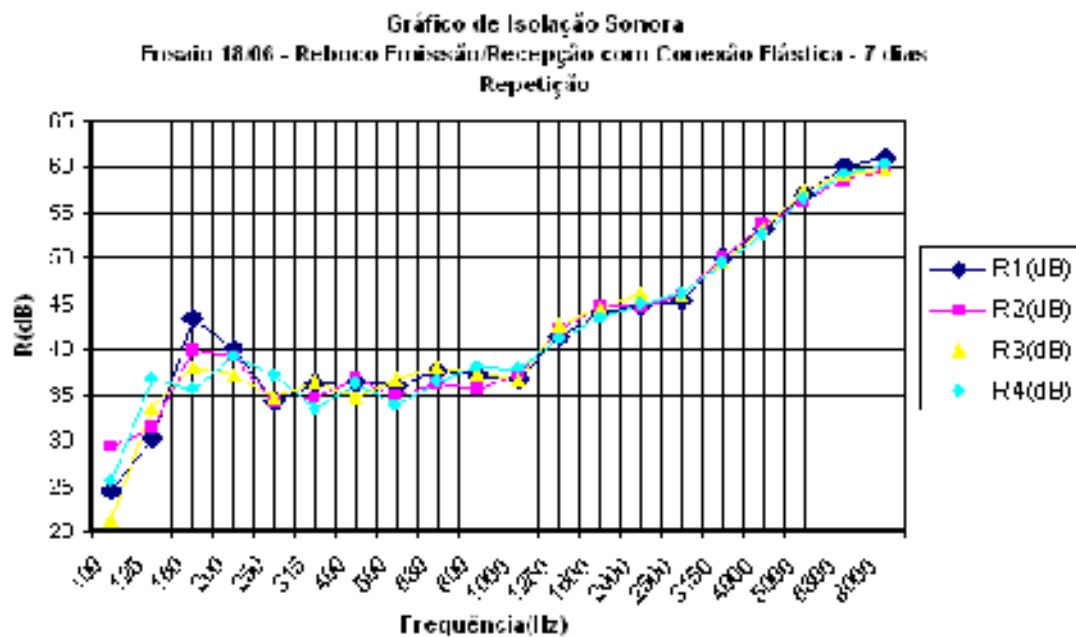
Dpadrão
Médio 0,619501

Ensaio 06

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)	R4(dB)
100	24,5	29,4	21,3	25,5
125	30,4	31,3	33,7	36,8
160	43,4	39,7	38,0	35,6
200	40,0	39,1	37,1	39,2
250	34,4	34,2	34,6	37,3
315	36,3	34,6	36,4	33,4
400	36,6	36,6	34,6	36,3
500	36,0	34,8	36,7	33,9
630	37,6	36,3	38,0	36,4
800	37,1	35,5	37,3	38,0
1000	36,7	37,5	36,8	37,9
1250	41,5	42,1	42,6	41,1
1600	44,2	44,6	44,5	43,4
2000	44,7	44,8	46,2	45,0
2500	45,5	45,9	46,1	46,0
3150	50,0	50,0	49,7	49,5
4000	53,3	53,5	53,2	52,5
5000	57,1	56,3	57,4	56,5
6300	60,2	58,6	59,2	59,1
8000	61,0	59,7	59,8	60,3

Dpadrão
Médio

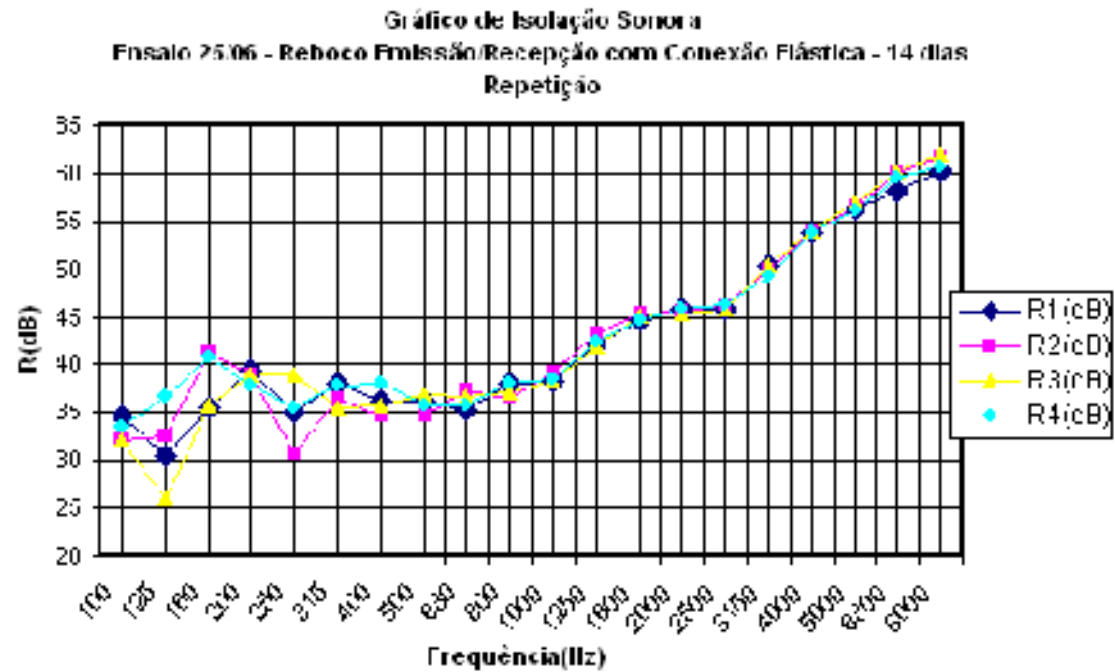
1,146513



Ensaio 07

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)	R4(dB)
100	34,6	32,1	32,1	33,4
125	30,5	32,6	25,8	36,7
160	35,5	41,1	35,7	40,8
200	39,4	39,0	38,9	37,8
250	35,2	30,8	38,9	35,5
315	38,0	36,4	35,6	37,9
400	36,2	34,5	35,9	38,1
500	36,2	34,6	36,9	35,7
630	35,3	37,4	36,6	35,8
800	38,1	36,4	37,2	38,0
1000	38,4	39,1	38,2	38,4
1250	42,2	43,2	41,9	42,4
1600	44,8	45,5	45,1	44,6
2000	45,8	45,6	45,4	45,9
2500	45,7	46,2	45,8	46,3
3150	50,4	50,0	50,3	49,1
4000	53,8	53,8	54,0	53,9
5000	56,4	56,6	56,9	56,0
6300	58,2	59,9	60,1	59,5
8000	60,3	61,8	62,1	60,7

Dpadrão
Médio 1,138428



Ensaio 08

Gráfico de Isolção Sonora
Ensaio 0907 - Reboce Emissão/Recepção com Conexão Semi-Rígida

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	39,5	40,2	39,7
125	29,4	31,6	30,0
160	33,9	35,3	36,3
200	37,6	35,8	36,0
250	34,9	33,5	34,6
315	34,7	34,1	32,9
400	35,2	35,7	35,6
500	36,9	36,3	36,3
630	37,5	37,4	37,1
800	37,7	38,3	37,7
1000	38,6	39,3	38,7
1250	42,6	42,8	42,2
1600	45,4	45,5	45,0
2000	46,0	45,7	45,2
2500	46,0	46,2	45,2
3150	49,7	49,9	49,2
4000	53,4	53,7	52,9
5000	56,9	56,6	56,1
6300	59,3	59,7	58,7
8000	61,2	61,5	60,7

Dpadrão
Médio 0,52337

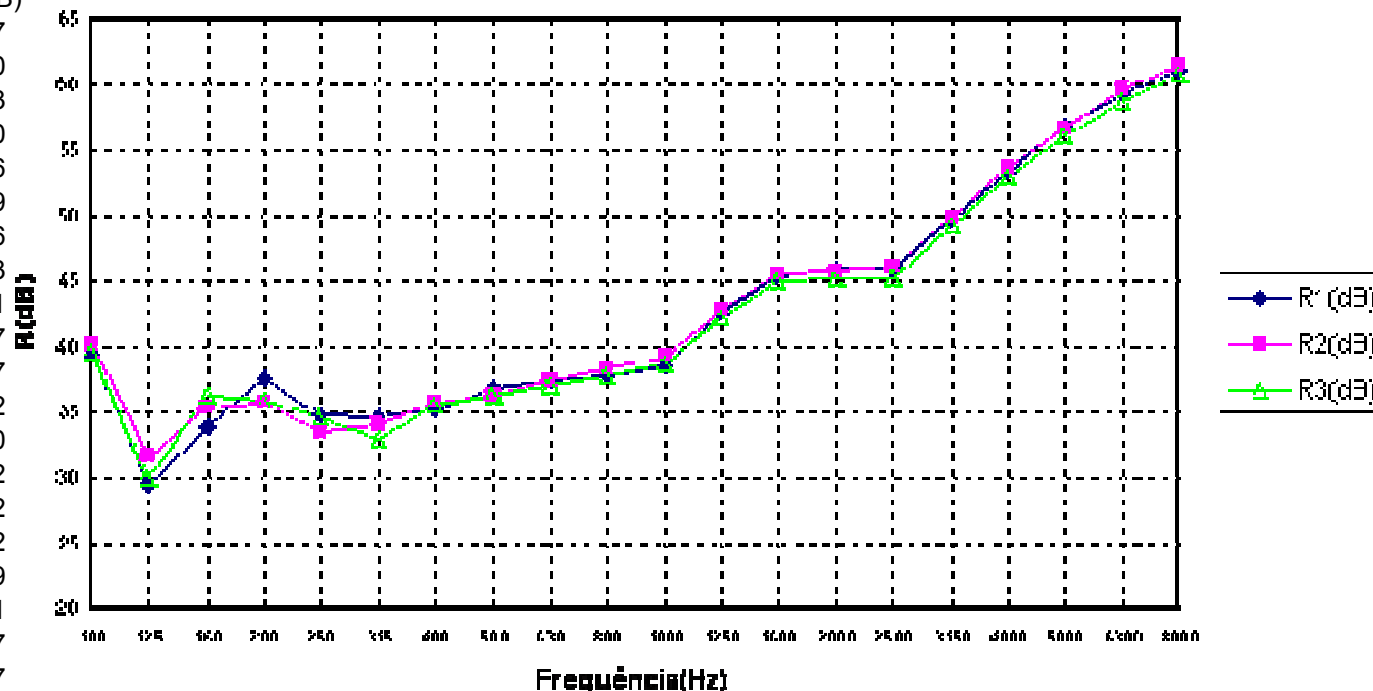
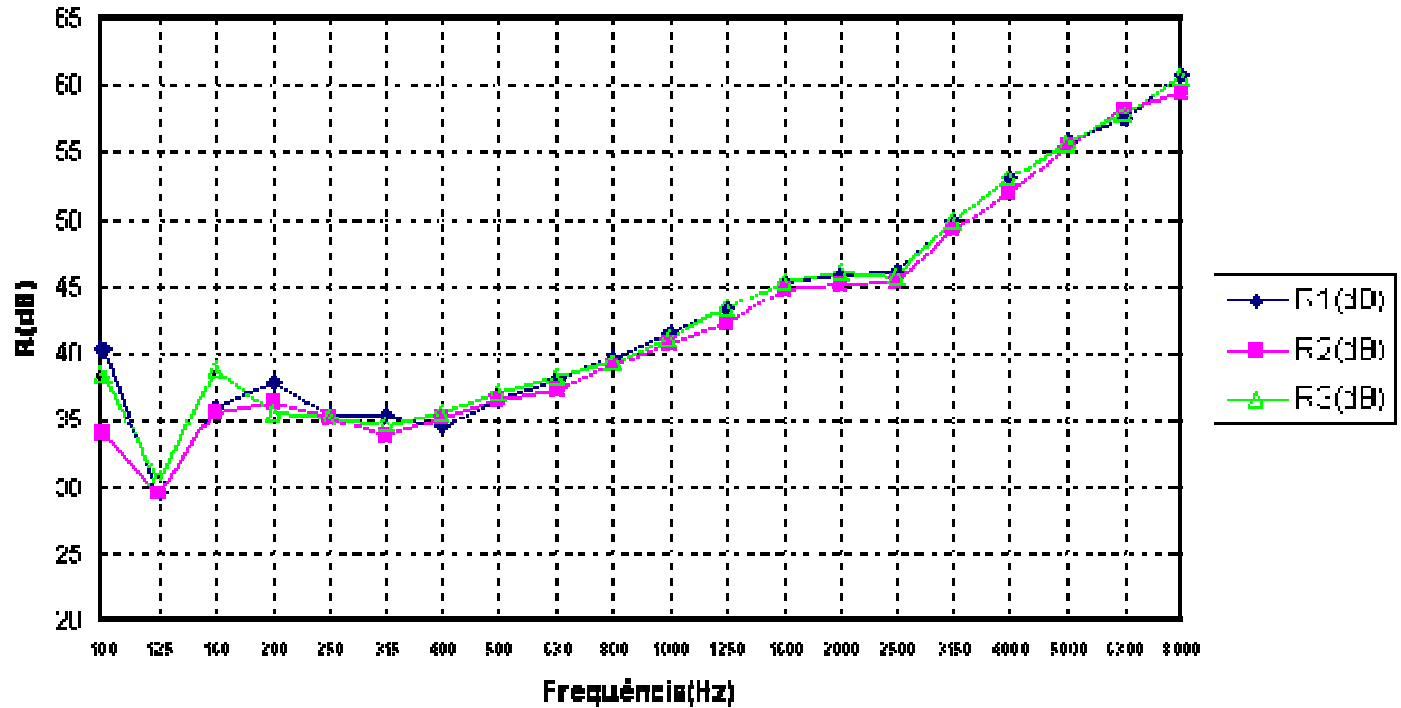


Gráfico de Isolação Sonora
Ensaio 16/07 - Reboco Emissão/Recepção com Conexão Rígida - 7 dias

Ensaio 09

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)
100	40,4	33,9	38,3
125	29,5	29,6	30,6
160	36,0	35,7	38,7
200	37,9	36,3	35,6
250	35,5	35,2	35,2
315	35,4	33,7	34,7
400	34,6	35,2	35,6
500	36,6	36,5	37,0
630	38,0	37,2	38,2
800	39,6	39,1	39,2
1000	41,4	40,7	41,2
1250	43,4	42,3	43,4
1600	45,4	44,8	45,4
2000	45,9	45,1	46,0
2500	46,1	45,3	45,7
3150	49,9	49,2	50,0
4000	53,1	52,0	53,0
5000	55,8	55,5	55,7
6300	57,5	58,2	57,9
8000	60,8	59,5	60,6

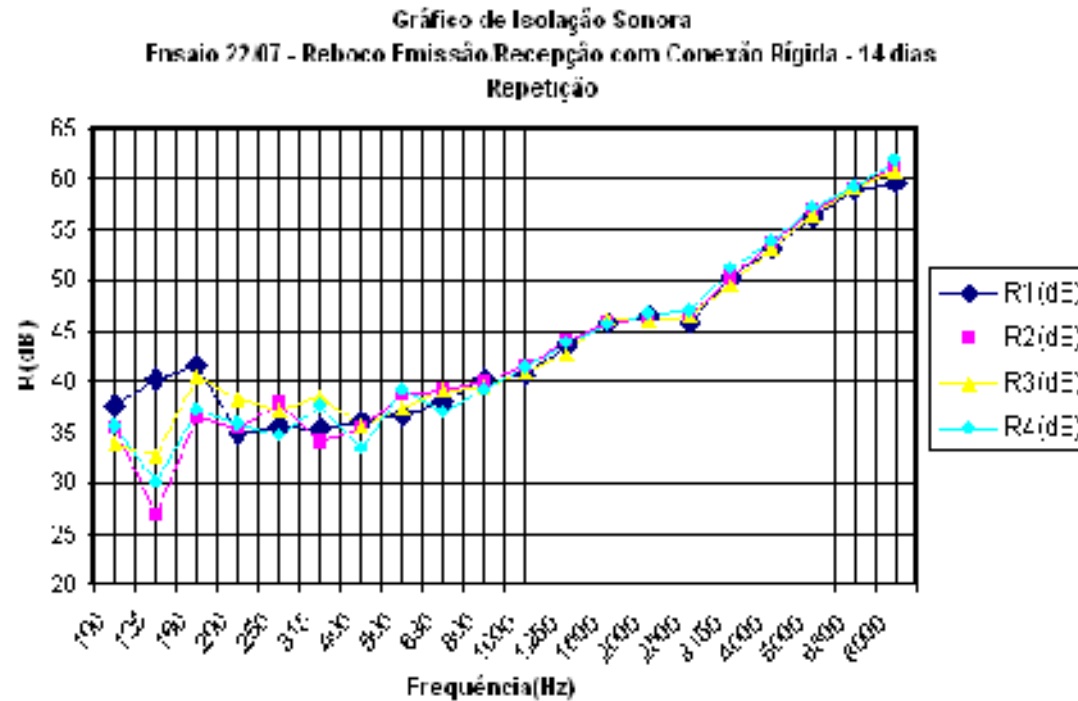


Dpadrão
Médio 0,691467

Ensaio 10

Freq.(Hz)	R1(dB)	R2(dB)	R3(dB)	R4(dB)
100	37,6	35,3	33,9	35,7
125	40,3	27,0	32,6	30,1
160	41,5	36,4	40,5	37,2
200	34,9	35,4	38,2	35,9
250	35,5	37,8	37,1	34,7
315	35,4	34,0	38,6	37,6
400	36,1	35,3	35,7	33,5
500	36,8	38,7	37,3	39,2
630	38,1	39,1	39,1	37,0
800	40,4	40,0	39,3	39,1
1000	40,6	41,6	40,9	41,4
1250	43,6	44,1	42,8	43,8
1600	45,9	45,7	46,2	45,7
2000	46,5	46,1	46,1	46,7
2500	45,9	46,6	46,5	47,0
3150	50,3	50,3	49,7	51,3
4000	53,2	53,7	53,3	53,8
5000	56,4	56,9	56,6	57,2
6300	59,1	58,9	59,3	59,1
8000	59,7	61,1	60,7	61,8

Dpadrão
Médio 1,138659

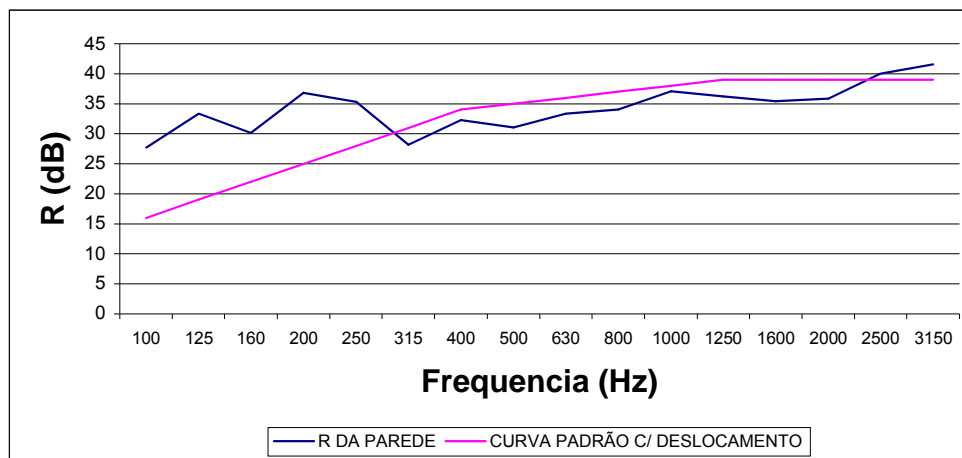


APÊNDICE 2

INDEX – Ensaio

Umidade(%) = 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 01/05/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	27,7333333
125	33,3666667
160	30,2
200	36,8333333
250	35,3666667
315	28,2
400	32,2666667
500	31,0333333
630	33,3333333
800	34,0666667
1000	37,1
1250	36,2
1600	35,4333333
2000	35,9
2500	40,0333333
3150	41,5666667
4000	46,4666667



Incremento = 83

Diferença = 24,4666667

Obs.: Diferença Max <ou= 32

Rw = **35**

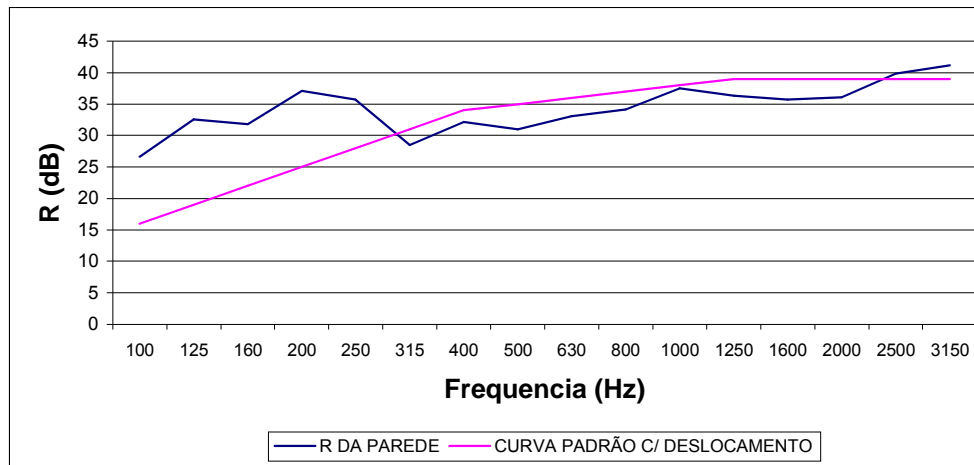
R (dBA) = **35,7**

Características da Amostra:

ENSAIO 01 - Parede de alvenaria estrutural sem reboco, com conexões elásticas, aos 7 dias.

Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 08/05/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	26,6333333
125	32,6
160	31,8333333
200	37,1
250	35,7666667
315	28,5
400	32,1333333
500	30,9333333
630	33,0666667
800	34,1
1000	37,5333333
1250	36,3333333
1600	35,7
2000	36,0666667
2500	39,8333333
3150	41,2
4000	46,5333333



Incremento = 83

Diferença = 23,6333333

Obs.: Diferença Max <ou= 32

Rw = 35

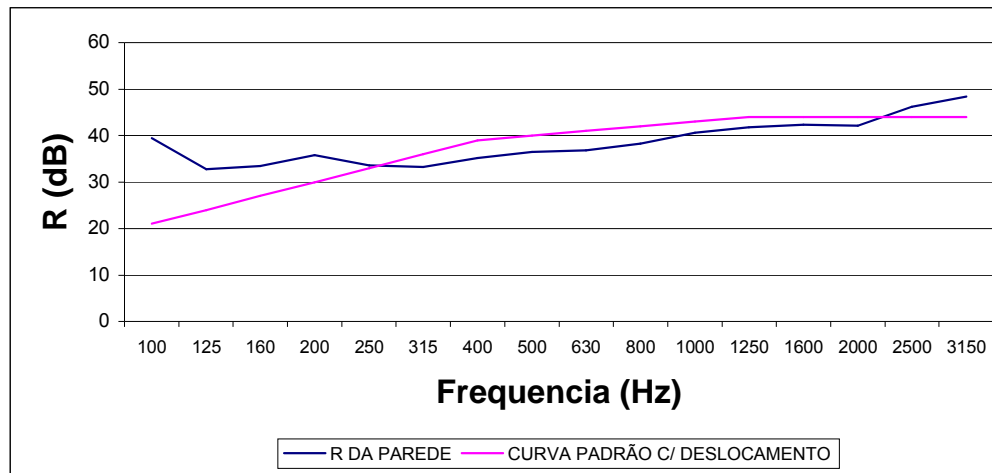
R (dBA) = 35,8

Características da Amostra:

ENSAIO 02 - Parede de alvenaria estrutural sem reboco, com conexões elásticas, aos 14 dias.

Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 21/05/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	39,4666667
125	32,7666667
160	33,4
200	35,7666667
250	33,5666667
315	33,2666667
400	35,2
500	36,4333333
630	36,9
800	38,3
1000	40,5333333
1250	41,8
1600	42,3666667
2000	42,1
2500	46,2333333
3150	48,3666667
4000	51,9333333



Incremento = 88

Diferença = 26,1

Obs.: Diferença Max <ou= 32

Rw = 40

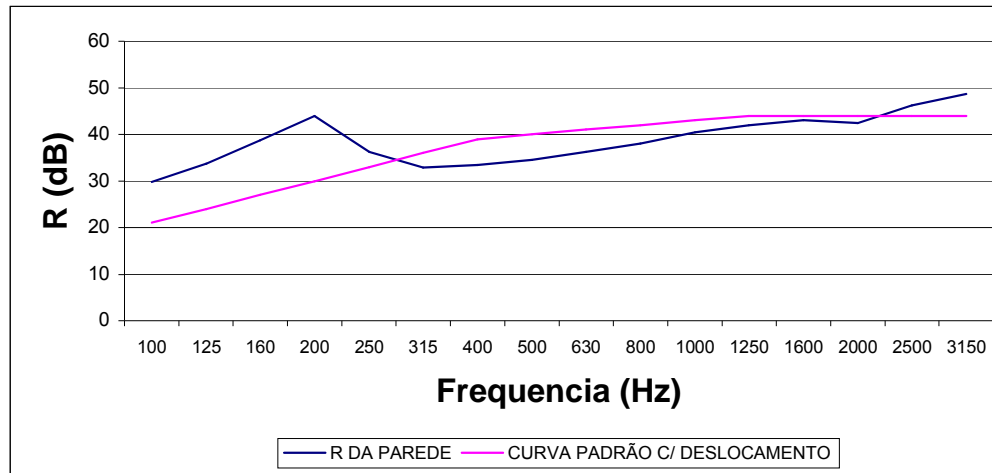
R (dBA) = 40,3

Características da Amostra:

ENSAIO 03 - Parede de alvenaria estrutural aos 7 dias do reboco na emissão, com conexões semi-rígidas.

Umidade(%) = 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 27/05/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	29,8333333
125	33,6666667
160	38,7
200	43,9333333
250	36,2
315	32,8666667
400	33,4666667
500	34,5333333
630	36,2
800	38
1000	40,4666667
1250	41,9333333
1600	43
2000	42,5
2500	46,2333333
3150	48,6333333
4000	51,7



Incremento = 88

Diferença = 30,0333333

Obs.: Diferença Max <ou= 32

Rw = 40

R (dBA) = 40,0

Características da Amostra:

ENSAIO 04 - Parede de alvenaria estrutural aos 14 dias do reboco na emissão, com conexões elásticas

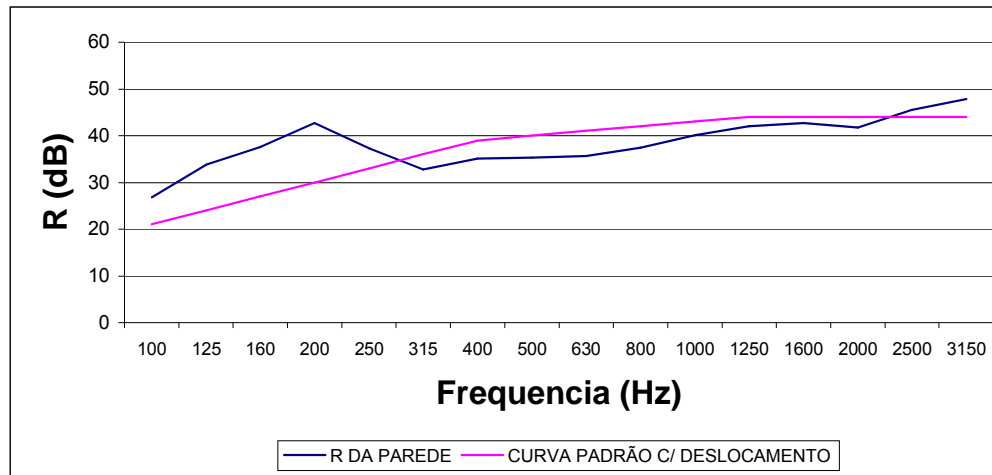
Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 04/06/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	26,8
125	33,7666667
160	37,6
200	42,7333333
250	37,3333333
315	32,7
400	35,1
500	35,2666667
630	35,6666667
800	37,4666667
1000	40,0666667
1250	42
1600	42,6333333
2000	41,8
2500	45,5333333
3150	47,8
4000	50,9666667

50,9666667
 Incremento = 88

Diferença = 30,3

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 40

R (dBA) = 40,0

Características da Amostra:

ENSAIO 05 - Parede de alvenaria estrutural aos 21 dias do reboco na emissão, com conexões elásticas

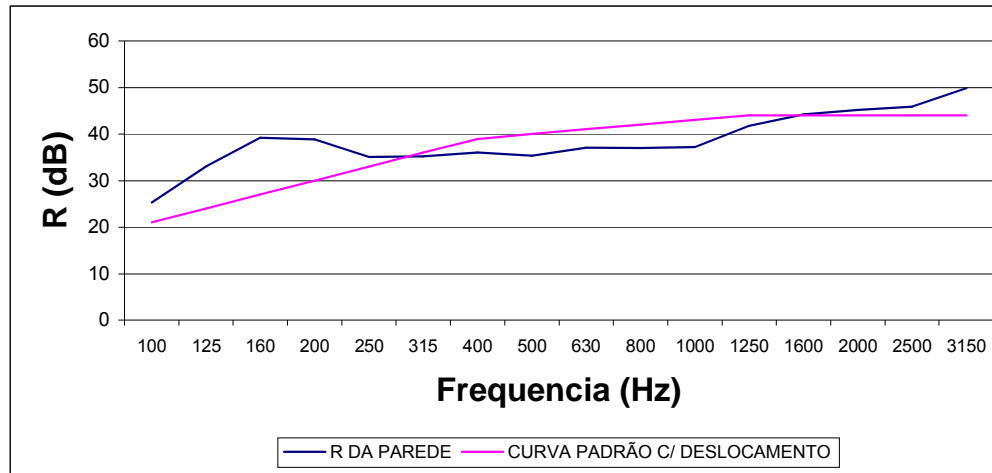
Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 18/06/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	25,2578567
125	33,0499998
160	39,2121492
200	38,8594517
250	35,1073314
315	35,1762873
400	36,0288065
500	35,3753632
630	37,0961554
800	36,9878827
1000	37,1870493
1250	41,8031746
1600	44,1805305
2000	45,1751635
2500	45,8598015
3150	49,8020151
4000	53,1304948

50,9666667
 Incremento = 88

Diferença = 25,345281

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 40

R (dBA) = 40,2

Características da Amostra:

ENSAIO 06 - Parede de alvenaria estrutural aos 07 dias do reboco na recepção, com conexões elásticas

Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 25/06/05

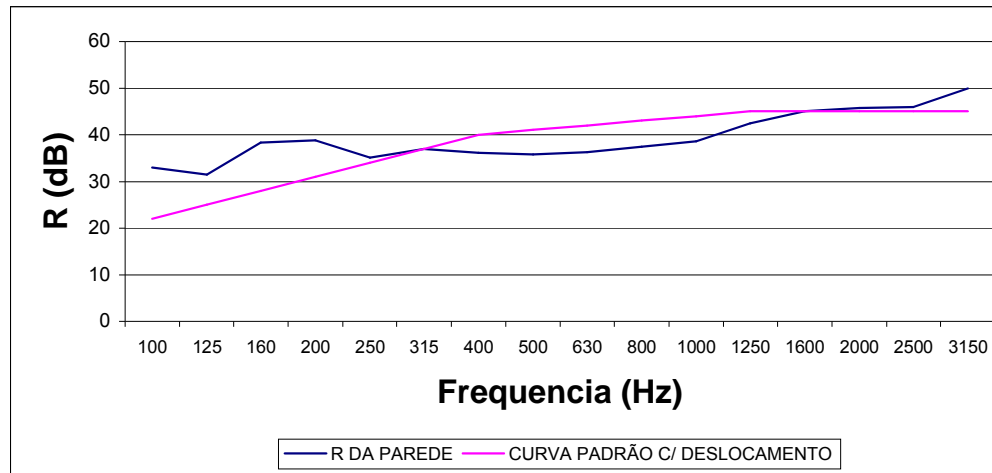
FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	33,0378884
125	31,4401833
160	38,3268429
200	38,8000078
250	35,1012156
315	36,9751466
400	36,1669346
500	35,8249669
630	36,2602804
800	37,4316028
1000	38,5439782
1250	42,4393757
1600	44,9809252
2000	45,6876367
2500	45,9968155
3150	49,9616697
4000	53,8795446

50,9666667

Incremento = 89

Diferença = 28,3767896

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 41

R (dBA) = 40,7

Características da Amostra:

ENSAIO 07 - Parede de alvenaria estrutural aos 14 dias do reboco na recepção, com conexões elásticas

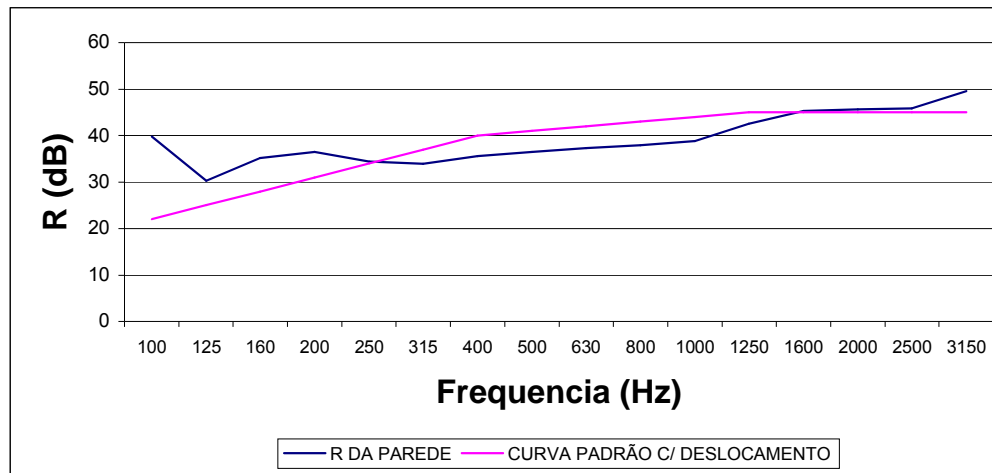
Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 09/07/05

FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	39,8
125	30,3333333
160	35,1666667
200	36,4666667
250	34,3333333
315	33,9
400	35,5
500	36,5
630	37,3333333
800	37,9
1000	38,8666667
1250	42,5333333
1600	45,3
2000	45,6333333
2500	45,8
3150	49,6
4000	53,3333333

50,9666667
 Incremento = 89

Diferença = 29,4666667

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 41

R (dBA) = 40,7

Características da Amostra:

ENSAIO 08 - Parede de alvenaria estrutural aos 28 dias do reboco na recepção, com conexões semi-rígidas

Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 16/07/05

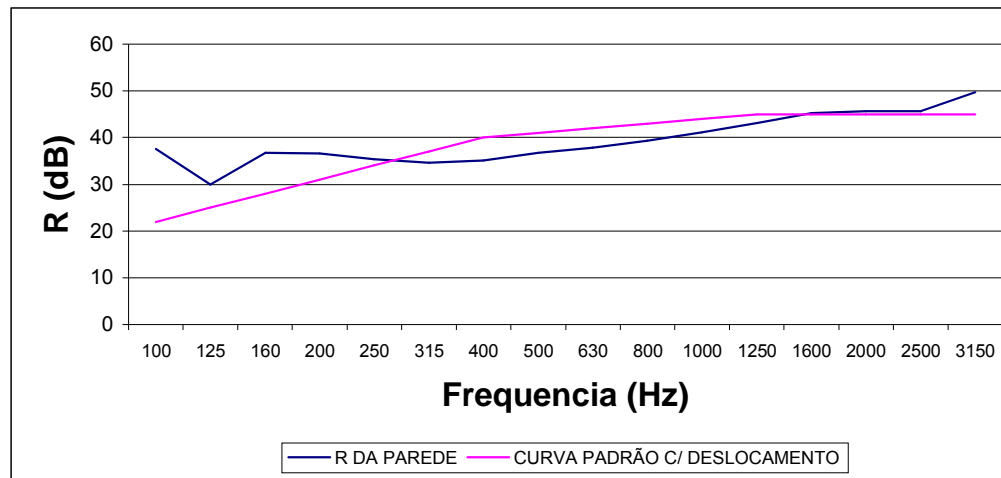
FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	37,5333333
125	29,9
160	36,8
200	36,6
250	35,3
315	34,6
400	35,1333333
500	36,7
630	37,8
800	39,3
1000	41,1
1250	43,0333333
1600	45,2
2000	45,6666667
2500	45,7
3150	49,7
4000	52,7

50,9666667

Incremento = 89

Diferença = 24,3333333

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 41

R (dBA) = 41,3

Características da Amostra:

ENSAIO 09 - Parede de alvenaria estrutural aos 35 dias do reboco na recepção, com 07 dias da utilização de conexões rígidas

Umidade(%) 80
 Temperatura (oC) = 20
 Área de teste (m2) = 13,1
 Volume da Câmara (m3) = 132
 Velocidade do som (m/s) = 340
 Data: 22/07/05

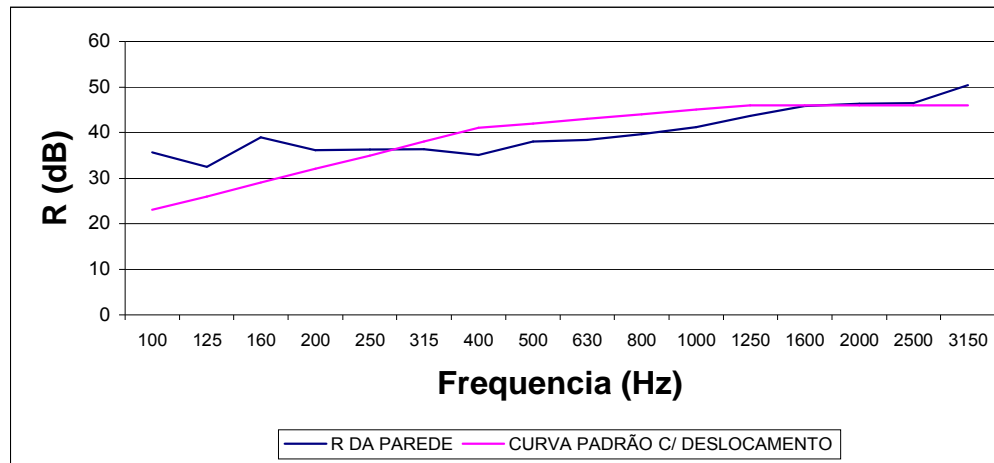
FREQUENCIA	R DA PAREDE
100	35,6239256
125	32,5095326
160	38,9638833
200	36,1202614
250	36,2848457
315	36,3994197
400	35,1368428
500	38,0174916
630	38,3126982
800	39,6881935
1000	41,1269617
1250	43,5852728
1600	45,9045452
2000	46,3330661
2500	46,4784495
3150	50,4096232
4000	53,5050748

50,9666667

Incremento = 90

Diferença = 26,8285745

Obs.: Diferença Max <ou= 32



Rw = 42

R (dBA) = 42,0

Características da Amostra:

ENSAIO 10 - Parede de alvenaria estrutural aos 41 dias do reboco na recepção, com 14 dias da utilização de conexões rígidas

APÊNDICE 3
Fotografia dos ensaios



Parede sem revestimento c/ conexões elásticas



Parede com revestimento na sala de emissão



Detalhe da conexão elástica entre a parede e a laje de teto da Câmara




Detalhe da montagem para a realização de ensaios

ANEXOS

ANEXO 1

Relatório dos ensaios dos blocos – Cerâmica Pallotti

	LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – LMCC		1/3
	ENDEREÇO: Cidade Universitária – Camobi, Santa Maria/RG – CEP 97105-900 TELEFONE: (95) 220 8608 (Fax) – Direção • 220 8313 – Secretaria • 220 8488 – Ensaios E-MAIL: lmcc@ct.ufam.br		
ÁREA DE ENSAIOS – ALVENARIA ESTRUTURAL		RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 29125	
Amostra nº: 1122		Data de entrada: 08 / 11 / 2004	
Interessado: Cerâmica PALLOTTI			
Referência: Ensaio de controle			
Material declarado: Blocos Cerâmicos Estruturais com Paredes Vazadas Ranhurado 140x190x290mm (NBR 7171/92)			
Objetivo: Determinação das características geométricas e da resistência à compressão			
1. INTRODUÇÃO			
<p>Este relatório apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão referente a uma amostra de blocos cerâmicos estruturais contendo oitenta corpos-de-prova. O ensaio foi realizado por constituir parte dos ensaios necessários para controle de produção dos blocos estruturais. A amostra entregue ao LMCC recebeu as seguintes identificações:</p>			
LMCC	Interessado		
1122	Data da coleta:	03 / 11 / 2004	
	Data de extrusão:	29 / 10 / 2004	
	Data de queima:	01 / 11 / 2004	
	Classe de resistência:	7,0 MPa	
	Dimensões nominais:	140 x 190 x 290 mm	
	Identificação do lote:	LOTE 18 (BPVR 29)	
	Equipamento que produziu:	Extrusora a Vácuo	
2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS			
NBR 7171/92 Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação			
NBR 6461/83 Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão – Método de ensaio			
3. RESULTADOS			
<p>As inspeções visuais, as determinações dimensionais e os resultados das determinações de resistência à compressão da amostra de blocos cerâmicos estruturais são apresentados nas Tabelas 01 a 03.</p>			
<p>Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.</p>			



Relatório de ensaio nº 29125

TABELA 01 – Características visuais e geométricas individuais – NBR 7171/92

Exemplar	Dimensões médias dos blocos (mm)			Espessura mínima (mm)			Desvio (mm)	
	Largura	Altura	Comprimento	Septo externo	Parede externa	Vazados	Esquadro	Flecha
1580	138,0	191,5	287,5	7,0	28,5	75,0	1,0	0,5
1581	138,0	192,5	288,0	7,5	29,0	76,0	1,5	0,0
1582	138,0	192,5	288,0	7,5	28,5	76,5	0,0	1,5
1583	138,0	191,5	287,5	8,0	29,0	77,0	0,5	1,0
1584	138,0	192,0	287,5	7,5	29,0	77,0	3,0	1,0
1585	138,0	191,5	287,5	8,0	29,5	75,0	1,5	0,0
1586	137,5	192,0	288,0	7,0	30,0	76,0	3,0	0,5
1587	138,0	192,0	288,0	7,5	29,0	76,5	1,0	0,5
1588	138,0	190,5	287,5	8,0	28,5	76,0	2,5	0,0
1589	137,0	191,0	288,0	7,5	29,0	76,0	1,0	0,0
1590	137,5	190,5	287,5	7,5	28,0	75,0	0,0	1,0
1591	138,0	191,0	287,5	7,0	29,5	76,0	0,0	1,5
1592	138,0	191,0	288,0	8,0	30,5	77,0	0,5	0,0
Características visuais	Os blocos têm aspecto homogêneo, sem quebras ou trincas e possuem arestas vivas.							

TABELA 02 – Determinação da resistência à compressão – NBR 6461/83

Exemplar	Tipologia do Bloco (L x C)	Área Bruta Média (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)		
				Limite Individual	Média	f _{0,95,est} ¹
1580		39.675	487.500	12,3	11,7	9,8
1581		39.744	462.500	11,6		
1582		39.744	527.500	13,3		
1583		39.675	510.000	12,9		
1584		39.675	447.500	11,3		
1585		39.675	537.500	13,5		
1586		39.600	430.000	10,9		
1587		39.744	457.500	11,5		
1588		39.675	462.500	11,7		
1589		39.456	407.500	10,3		
1590		39.531	407.500	10,3		
1591		39.675	392.500	9,9		
1592	39.744	490.000	12,3			

- Data de realização dos ensaios: 12 / 11 / 2004
- Desvio padrão obtido no ensaio: 1,2 MPa
- Coeficiente de variação da amostra: 8,9%
- A resistência à compressão é determinada em relação à área designada como face de assentamento do bloco, computando-se todos os vazados (área bruta). Este bloco possui relação entre Área Líquida e Área Bruta média é igual a 0,39
- Unidades no SI, considerando 1,0 kgf = 10 N.

¹ A f_{0,95,est} (Resistência à compressão característica estimada) é obtido através da expressão: $f_{0,95,est} = 2 \cdot \left(\frac{f_1 + f_2 + \dots + f_m}{m-1} \right) - f_m$, sendo que: m = $\frac{n}{2}$, se n for par e m = $\frac{n-1}{2}$, se n for ímpar. Onde: f₁, f₂, ..., f_m são os valores individuais de resistência à compressão, em ordem crescente e n é o número de corpos-de-prova da amostra.

A f_{0,95,est} adotada não poderá ser maior que 85% da média dos corpos-de-prova de amostra, nem menor que 1/5 f₁.

Sendo 1/5 estipulado de acordo com o número de corpos-de-prova, para três corpos-de-prova o valor é 0,99.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



TABELA 03 – Determinação das dimensões por medição direta – NBR 7171/92

Dimensões Padronizadas (L x H x C)	Medição 24 blocos Alinhados (mm)			Dimensões médias dos blocos (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento	Largura	Altura	Comprimento
(140 x 190 x 290) mm	3.325	4.609	6.925	138,5	192,0	288,5


4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

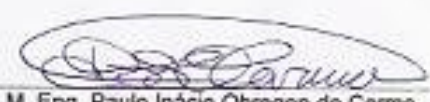
Para os blocos cerâmicos estruturais deve-se tomar como referência de resistência o menor limite de resistência individual. A amostra apresentou limite mínimo de resistência igual a **9,9MPa** e $f_{tk,est}$ adotada = 9,8MPa, determinado de acordo com processo estatístico, **atendendo às especificações para blocos cerâmicos, classe 70, de resistência de 7,0MPa (Tabela 3, NBR 7171/92).**

Quanto à análise dimensional, a NBR 7171/92 especifica no item 4.7.1, Tabela 2, que as dimensões médias para os blocos de vedação determinadas por medição de 24 exemplares alinhados deve ter tolerância de ± 3 mm. A espessura mínima das paredes externas deve ser de 7mm (item 5.2, NBR 7171/92), o desvio em relação ao esquadro e a flecha máxima (planeza das faces) permitida é de 3mm (Tabela 2 da NBR 7171/94). Os ensaios realizados permitiram verificar que o lote analisado **está em conformidade com a Norma.**

Quanto ao aspecto visual, a NBR 7171/92 especifica no item 4.6 que os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos (trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações), **estando o lote analisado em conformidade com as especificações.**

Santa Maria-RS, 12 de novembro de 2004.


 Prof. M. Eng. Odilon Bancaro Cavalheiro
 Chefe de Pesquisa Desenvolvimento em Materiais Construtivos - QF042
 Coordenador


 M. Eng. Paulo Inácio Obregon do Carmo
 Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC
 Responsável Técnico