

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

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO  
REVESTIMENTO NA ISOLAÇÃO SONORA DE  
PAREDES DE ALVENARIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Adriana Flores Friedrich**

Santa Maria, RS, Brasil  
2010

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

# **AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO REVESTIMENTO NA ISOLAÇÃO SONORA DE PAREDES DE ALVENARIA**

**por**

**Adriana Flores Friedrich**

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

Orientadora: Profa. Dra. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, RS, Brasil  
2010

**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

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO REVESTIMENTO NA  
ISOLAÇÃO SONORA DE PAREDES DE ALVENARIA**

elaborada por

**Adriana Flores Friedrich**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA**

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

**Prof. Erasmo Felipe Vergara Miranda, Dr. (UFSM)**  
(co-orientador)

**Prof. Marco Antônio Silva Pinheiro, Dr. (UFSM)**

**Prof. João Gualberto de Azevedo Baring, Dr. (USP)**

Santa Maria, 25 de março de 2010

*Dedico esta dissertação de mestrado ao Fernando, meu marido, pelo carinho, companheirismo e compreensão com que me acompanhou durante esses anos de trabalho e desenvolvimento dessa pesquisa.*

*Dedico também aos meus pais, Vitor e Lisete e, à minha irmã Laura, que sempre acreditaram nos meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre apontar o caminho certo, pela saúde e pela força interior.

Ao meu marido, Fernando, pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis, pelo companheirismo e compreensão e, por me inspirar a seguir em frente sempre com otimismo e felicidade.

Aos meus pais, Vitor e Lisete, que sempre me apoiaram nos estudos, me incentivando a ir mais além. Pelo abraço de amparo e o colo que cura qualquer angústia.

À minha irmã Laura que, com seu jeito alegre de ver a vida, me faz enfrentar os obstáculos com mais facilidade.

À minha avó, Lia Therezinha, que com muito amor, me amparou nos meus primeiros meses, aqui em Santa Maria.

À Dinara Paixão, minha orientadora, por acreditar na minha capacidade e me desafiar na conquista por esse título. Por dividir comigo seu vasto conhecimento na área e mostrar-se sempre pronta a ajudar.

Ao professor Erasmo Felipe Vergara, meu co-orientador, pelo auxílio primoroso ao desenvolvimento dessa pesquisa

Ao professor Marco Antônio Pinheiro, com quem passei várias tardes no laboratório decifrando fórmulas. Sempre otimista e tranquilo, contribuiu muito para a minha pesquisa.

Aos meus amigos queridos, que sempre me incentivaram com palavras de carinho e abraços de força.

Aos colegas do laboratório de acústica, entre eles Seu Guerra e Seu Bortolusi que foram incansáveis no auxílio em dias de ensaio. À colega Lívia, estagiária do laboratório com quem aprendi a operar a realizar as medições. Às colegas e amigas Marselle e Marisane pelo apoio e incentivo em todos os momentos. E aos demais colegas do laboratório que de alguma forma contribuíram para o bom desempenho dessa dissertação.

À Fida – Irmãos Ciocari e Cia Ltda, através do consultor Leandro Ciocari, pelo fornecimento das argamassas para ensaio e pela disponibilidade de esclarecimentos sempre que surgia alguma dúvida. À Pallotti, pelos blocos de alvenaria estrutural.

À UFSM que possibilitou meu crescimento profissional como arquiteta, me dando embasamento para proporcionar ainda mais qualidade de vida às pessoas.

À CAPES, pelo incentivo financeiro.

À todos que de alguma forma me auxiliaram no objetivo de obter o título de mestre em Engenharia Civil.

*“Todos os homens, por natureza, desejam saber”*

*Aristóteles*

## **RESUMO**

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

### **AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO REVESTIMENTO NA ISOLAÇÃO SONORA DE PAREDES DE ALVENARIA**

AUTORA: ARQ. ADRIANA FLORES FRIEDRICH  
ORIENTADOR: PROFa. DRa. DINARA XAVIER DA PAIXÃO  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de março de 2010.

A pesquisa investigou a maneira como acontece a isolação sonora em paredes de alvenaria estrutural com revestimento de argamassa. Foram construídas em laboratório três paredes, estudadas em ensaios específicos. O tipo do bloco e as combinações de chapisco, emboço e reboco foram avaliados alternadamente em cada bateria de ensaios. As argamassas utilizadas nos ensaios eram industrializadas e possuíam aditivos em seu conglomerado que visavam a sua melhora estrutural e comercial. Também, foram utilizadas tintas e texturas alternadamente nos ensaios para verificar a influência deste tipo de acabamento na perda de transmissão sonora da parede. As constatações laboratoriais mostraram a localização da frequência de coincidência e o desempenho acústico das paredes de alvenaria estrutural revestidas. A variação desses fatores possui influência direta conforme a rigidez do sistema. O seu aumento no conjunto causado pelo acréscimo de camadas de argamassa faz variar, além da frequência de coincidência, também a frequência de ressonância de espessura da parede. Aferiu-se, ainda, a possibilidade de diminuição dos dias de secagem da argamassa entre os ensaios realizados. Os testes em laboratório ganharam em agilidade, com a comprovação e validação do tempo de 3 dias para a cura da massa usada na parede. Outra importante verificação foi o incremento de 5 dB no Índice de Redução Sonora Ponderado ( $R_w$ ) quando há o revestimento da parede em ambas as faces. A utilização de tinta e de textura não acrescentou ganhos acústicos substanciais para o conjunto da parede. Apenas, a utilização da textura apresentou um aumento de performance na ordem de 1 dB no índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ). O que não aconteceu com a duplicação da camada de reboco, que obteve indicadores de isolação sonora inferiores a 1 dB no conjunto.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica. Perda de Transmissão Sonora. Revestimento.

## **ABSTRACT**

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

### **COATING CONTRIBUTION ON THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF MASONRY WALLS**

AUTHOR: ADRIANA FLORES FRIEDRICH  
ADVISOR: PROFa. DRa. DINARA XAVIER DA PAIXÃO  
Date and city : March 25, 2010 , Santa Maria

The research presents the sound insulation in masonry walls coated with plaster. Three walls were built in laboratory, studied in specific tests. Measurements were carried out varying some components of the wall, such as the type of the block and the combinations of coarse mortar, plaster and stucco on the faces of the wall. The mortars used in the tests were industrialized and had an additive in their conglomerate that aimed to its structural and commercial improvement. Also, paints and textures were used alternately in the tests to verify the importance of this kind of coating on the sound transmission loss of the wall. The laboratory findings showed up the location of the coincidence frequency and the acoustic accomplishment of the coated masonry walls. Variation of these factors had a direct influence at the system hardness. The increase of the variation in the set caused by the addition of the mortar layers does vary, further of frequency of coincidence, the frequency of resonance wall thickness. It was still checked that three days of drying of the mortar was sufficient to have satisfactory results on the essays. The laboratory tests brought more agility with the evidence and the validation that the cure of the aggregate in the wall needs three days. Another important verification was the increase of 5 dB on the Weighted Noise Reduction Index (Rw) when the wall is coated in both faces. The using of paint and texture didn't contribute to the acoustic performance of the wall. Just, the utilization of texture shown a raise of acoustic performance of 1 dB on the Weighted Noise Reduction Index (Rw). That didn't happend with the duplication of the layer of plaster, that obtained acoustic insulation indicators lower than 1dB in the set.

Keywords: Architectural acoustics. Transmission Loss. Coating.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Camadas de chapisco, emboço e reboco .....	28
FIGURA 02 – Camadas do revestimento em argamassa .....	28
FIGURA 03 – Prumo e alinhamento da parede para receber garras .....	30
FIGURA 04 – Taliscamento de paredes e forros .....	30
FIGURA 05 – Guias executadas e o painel pronto para receber o emboço .....	31
FIGURA 06 – Execução das mestras .....	31
FIGURA 07 – Camadas do revestimento de argamassas da vedação vertical: emboço e reboco; massa única .....	33
FIGURA 08 – Solicitações a que o revestimento está sujeito .....	34
FIGURA 09 – Argamassa com alto teor de cimento provocando fissuras na superfície por retração na secagem .....	36
FIGURA 10 – Argamassa com baixo teor de cimento sem provocar fissuras na superfície, mas com falhas na interface pasta/agregado .....	37
FIGURA 11 – Efeitos do ruído no organismo do homem .....	52
FIGURA 12 – Meio de transmissão do ruído aéreo .....	55
FIGURA 13 – Comportamento do som .....	57
FIGURA 14 – Curva típica de Índice de Redução Sonora para paredes simples .....	58
FIGURA 15 – Efeito da coincidência .....	61
FIGURA 16 – Curva típica de Índice de Redução Sonora (R) para paredes simples espessas .....	62
FIGURA 17 – Índice de Redução Sonora medido: duas paredes da mesma espessura ...	65
FIGURA 18 – Índice de Redução Sonora de uma parede semelhante com conexões rígidas em 12 diferentes câmaras de transmissão .....	66
FIGURA 19 – Esquema em planta baixa e corte longitudinal das câmaras reverberantes da UFSM .....	70
FIGURA 20 – Vista das câmaras de emissão e recepção .....	70
FIGURA 21 – Equipamentos usados para as medições .....	76
FIGURA 22 – Esquema de ensaio .....	77
FIGURA 23 – Blocos de alvenaria estrutural nas dimensões 190x190x290 mm .....	80
FIGURA 24 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria em osso aos 3 e 7 dias de cura da argamassa .....	81

FIGURA 25 – Parede revestida na face externa (A3).....	83
FIGURA 26 – Índice de Redução Sonora para a parede de alvenaria revestida em sua face externa .....	83
FIGURA 27 – Índice de Redução Sonora para a parede de alvenaria revestida em sua face externa .....	84
FIGURA 28 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria revestida com segunda camada de reboco na face externa .....	86
FIGURA 29 – Parede com 2 demãos de tinta em sua face externa – câmara de emissão .....	87
FIGURA 30 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria revestida com argamassa e com duas demãos de tinta em sua face externa .....	87
FIGURA 31 – Índice de redução sonora da parede com a face externa revestida em comparação com a parede em osso .....	89
FIGURA 32 – Índice de redução sonora da parede com as faces externa e interna revestidas em comparação com a parede em osso .....	90
FIGURA 33 – Índice de redução sonora da parede com aplicação de segunda camada de reboco na face externa em comparação com a parede em osso .....	91
FIGURA 34 – Índice de redução sonora da parede com aplicação de duas demãos de tinta na face externa em comparação com a parede em osso .....	92
FIGURA 35 – Diferença no Índice de redução sonora R para diferentes estágios da parede A.....	93
FIGURA 36 – Evolução da parede de acordo com os ensaios: parede em osso, revestimento na face externa, revestimento na face interna e textura na face externa.....	95
FIGURA 37 – Bloco de Alvenaria estrutural nas dimensões 190x190x290 mm.....	95
FIGURA 38 – Comparação do desempenho das paredes A1 com bloco 190x190x290 mm e B1 com bloco 140x190x290 mm.....	96
FIGURA 39 – Índice de redução sonora da parede com a face externa revestida em comparação com a parede em osso .....	97
FIGURA 40 – Comparação entre o Índice de redução sonora da parede A revestida na face externa (A3) com a parede B no mesmo estágio(B2).....	98
FIGURA 41 – Índice de redução sonora de comparação da parede nos estágios B1, B2 e B3 .....	99
FIGURA 42 – Comparação entre o Índice de redução sonora da parede A revestida nas duas faces com a parede B no mesmo estágio .....	100

FIGURA 43 – Índice de redução sonora da parede nos estágios B1, B3 e B4.....	101
FIGURA 44 – Diferença no Índice de redução sonora R para diferentes estágios da Parede B.....	102
FIGURA 45 – Evolução da parede de acordo com os ensaios: parede em osso, revestimento na face externa e revestimento na face interna.....	104
FIGURA 46 – Comparação entre o Índice de redução sonora da parede B e C em osso (B1 e C1).....	105
FIGURA 47 – Comparação entre o Índice de redução sonora da parede A, B e C em Osso (A1, B1 e C1).....	106
FIGURA 48 – Índice de redução sonora da parede com revestimento na face externa (C2) em comparação com a parede em osso (C1).....	107
FIGURA 49 – Comparação entre o Índice de redução sonora das paredes B e C com revestimento na face externa (B2 e C2).....	108
FIGURA 50 – Índice de redução sonora das paredes com revestimento em ambas as faces (C3) em comparação com a parede em osso (C1).....	109
FIGURA 51 – Comparação entre o Índice de redução sonora das paredes B e C com revestimento em ambas as faces (B3 e C3).....	110
FIGURA 52 – Diferença no Índice de redução sonora R para diferentes estágios da parede C.....	111
Figura 53 – Gráficos de Desvio Padrão das paredes A, B e C.....	112

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – Classificação das argamassas .....	27
QUADRO 02 – Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção ....	27
QUADRO 03 – Usos e funções da argamassa .....	38
QUADRO 04 – Tipos de Aditivos .....	41
QUADRO 05 – Constituintes das tintas .....	43
QUADRO 06 – Constituintes dos vernizes e esmaltes .....	44
QUADRO 07 – Constituintes das lacas .....	45
QUADRO 08a – Pintura de interiores sobre reboco.....	46
QUADRO 08b – Pintura de interiores sobre reboco.....	47
QUADRO 09 – Pintura de exteriores sobre reboco .....	47

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassa .....	35
TABELA 02 – Aplicação de argamassas, traços e relação A/C (água/cimento) .....	37
TABELA 03 – Cronograma de ensaios da parede A .....	74
TABELA 04 – Cronograma de ensaios da parede B .....	75
TABELA 05 – Cronograma de ensaios da parede C .....	75
TABELA 06 – Resultados numéricos das diferenças para a parede A.....	93
TABELA 07 – Resultados numéricos das diferenças para a parede B.....	103
TABELA 08 – Resultados numéricos das diferenças para a parede C.....	111

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01 .....	53
EQUAÇÃO 02 .....	54
EQUAÇÃO 03 .....	56
EQUAÇÃO 04 .....	59
EQUAÇÃO 05 .....	59
EQUAÇÃO 06 .....	60
EQUAÇÃO 07 .....	60

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados extraídos da medição com a parede C1 – Emissão.....	123
APÊNDICE B – Resultados extraídos da medição com a parede C1 – Recepção.....	124
APÊNDICE C – Resultados extraídos da medição com a parede C1 – TR.....	125

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>1.1 Objetivos</b> .....	20
1.1.1 Objetivo Geral .....	20
1.1.2 Objetivos Específicos .....	20
<b>1.2 Justificativa</b> .....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
<b>2.1 A alvenaria</b> .....	23
<b>2.2 A argamassa</b> .....	25
2.2.1 Conceitos .....	25
2.2.2 Classificação das argamassas .....	26
2.2.3 Argamassas de aderência ou chapisco .....	28
2.2.4 Argamassa de Regularização ou Emboço .....	29
2.2.5 Argamassa de Acabamento ou Reboco .....	32
2.2.6 Critérios para os revestimentos de argamassa .....	32
2.2.7 Espessuras das camadas de chapisco, emboço e reboco .....	34
2.2.8 Qualidade das Argamassas .....	35
2.2.9 Flexibilidade .....	38
2.2.10 Aderência da argamassa .....	39
2.2.11 Resiliência (Elasticidade) .....	39
2.2.12 Argamassas Industrializadas .....	39
2.2.13 Aditivos empregados em argamassas industrializadas .....	40
<b>2.3 Tintas</b> .....	42
2.3.1 Conceitos e definições .....	42
2.3.2 Classificação das tintas .....	43
2.3.2.1 Tintas.....	43
2.3.2.2 Vernizes e Esmaltes .....	43
2.3.2.3 Lacas .....	44
<b>2.4 A acústica</b> .....	48
2.4.1 Introdução à acústica .....	48
2.4.2 Som x Ruído .....	49

2.4.3 Os Efeitos do Ruído na saúde do homem .....	51
2.4.4 Conceitos Relativos ao som .....	52
2.4.4.1 Pressão Sonora .....	52
2.4.4.2 Frequência (f) e Período (T) .....	52
2.4.4.3 Velocidade de propagação do som.....	53
2.4.4.4 O nível de pressão sonora e o decibel (dB) .....	53
2.4.4.5 Ruído de fundo ou ruído ambiente .....	54
<b>2.5 A transmissão do Ruído e a Isolação Sonora .....</b>	<b>54</b>
<b>2.6 Isolação de uma parede simples .....</b>	<b>57</b>
<b>2.7 Isolação de uma parede vibrante .....</b>	<b>58</b>
<b>2.8 Pesquisas relativas à Isolação sonora em paredes .....</b>	<b>63</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>68</b>
<b>3.1 As normas .....</b>	<b>68</b>
<b>3.2 O local de realização dos ensaios .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3 Condições ambientais .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4 As paredes estudadas .....</b>	<b>71</b>
3.4.1 Descrições detalhadas dos elementos ensaiados .....	73
3.4.1.1 Parede A .....	73
3.4.1.2 Parede B .....	74
3.4.1.3 Parede C .....	75
<b>3.5 Os equipamentos utilizados nos testes .....</b>	<b>76</b>
<b>3.6 Posicionamento dos equipamentos .....</b>	<b>77</b>
<b>3.7 Roteiro de Ensaio .....</b>	<b>77</b>
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>79</b>
<b>4.1 Parede A .....</b>	<b>79</b>
4.1.1 Os ensaios.....	79
4.1.1.1 Ensaios com a parede em osso aos 3 e aos 7 dias (A1 e A2).....	80
4.1.1.2 Ensaios com a parede revestida na face externa aos 3 e aos 7 dias (A3 e A4).....	82
4.1.1.3 Ensaios com a parede revestida na face externa e interna aos 3 e aos 7 dias (A5 e A6).....	84
4.1.1.4 Ensaio com aplicação de segunda camada de reboco sobre a primeira face, aos 3 e aos 7 dias (A7 e A8).....	85

4.1.1.5 Ensaio com aplicação de uma e duas demãos de tinta na face externa da parede (A9 e A10).....	86
4.1.2 Análises gerais relativas ao tempo de secagem.....	88
4.1.3 Comparações entre os ensaios da parede A .....	88
4.1.3.1 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com revestimento externo (A3).....	88
4.1.3.2 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com revestimento externo e interno (A5).....	89
4.1.3.3 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com a segunda camada de reboco sobre a face externa(A7).....	90
4.1.3.4 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com as duas demãos de tinta(A10).....	91
4.1.4 Análises gerais relativas à isolação da parede A nos diferentes estágios.....	92
<b>4.2 Parede B</b> .....	94
4.2.1 O ensaios .....	94
4.2.1.1 Parede em osso .....	95
4.2.1.2 Comparação entre as paredes A e B em osso.....	96
4.2.1.3 Parede com revestimento externo (B2).....	97
4.2.1.4 Comparação entre as paredes A e B com revestimento externo .....	98
4.2.1.5 Parede com revestimento externo e interno (B3).....	99
4.2.1.6 Comparação entre as paredes A e B com revestimento externo e interno (A5 e B3).....	100
4.2.1.7 Parede texturizada (B4).....	100
4.2.2 Análises gerais relativas à isolação da parede B nos diferentes estágios.....	101
<b>4.3 Parede C</b> .....	103
4.3.1 O ensaios .....	104
4.3.1.1 Parede em osso (C1).....	104
4.3.1.2 Comparação entre as 3 paredes estudadas em osso (A1, B1 e C1).....	105
4.3.1.3 Parede revestida na face externa (C2).....	106
4.3.1.4 Comparação entre paredes B e C revestidas na face externa.....	107
4.3.1.5 Parede revestida na face interna (C3).....	108
4.3.1.6 Comparação entre as paredes B e C revestidas na face interna.....	109
4.3.2 Análises gerais relativas à isolação da parede C nos diferentes estágios.....	110
<b>4.4 Análise do desvio padrão nas medições</b> .....	112

<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	114
<b>5.1 Considerações Finais</b> .....	114
<b>5.2 Sugestões para futuros trabalhos</b> .....	117
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	118

# 1. INTRODUÇÃO

---

As preocupações com o conforto ambiental são uma grande tendência da construção civil em todo o mundo. Profissionais ligados às áreas de arquitetura e engenharia são cobrados pela sociedade a oferecerem espaços mais adequados às novas implicações da atualidade. No mundo, as preocupações com o conforto acústico se mostram em vigor há muitos anos, sendo o ruído considerado uma forma de poluição.

O desempenho acústico de casas, prédios e estabelecimentos comerciais pode ser, cada vez mais, diretamente relacionado à qualidade de vida das pessoas. O mundo emite, a cada dia, mais ruído. A evolução dos equipamentos urbanos, maquinários e automóveis vêm de encontro à evolução da implementação de soluções de conforto na construção civil, uma vez que a maioria dos projetos são concebidos sem considerar os estudos de conforto acústico. Encontram-se cada vez mais fachadas de edificações muito expostas, sem tratamento sonoro adequado ou com uso de materiais com pouca ou nenhuma isolação.

É nesse ponto que a pesquisa ganha força e se projeta como um processo em evolução que enfoca estratégias inovadoras e tecnologias para melhorar a qualidade da vida cotidiana.

A arquitetura e o conforto acústico devem caminhar juntos e precisam estar cada vez mais interligados. É no momento de criação de um projeto que o arquiteto tem o poder de elencar todos os privilégios para que se construa uma edificação inteligente e eficaz.

Ao participar da elaboração de um projeto completo, garante-se maior cuidado com as soluções propostas, tanto do ponto de vista de conforto ambiental quanto dos aspectos sociais, culturais e econômicos.

O trabalho tem por objetivo estudar o desempenho acústico, quanto à isolação sonora, de três paredes de alvenaria estrutural revestidas com diferentes tipos e diferentes combinações de argamassas industrializadas. O emprego do termo isolação sonora se faz vigente uma vez que Baring (1988) o define como sendo a forma correta de se fazer referência a um elemento construtivo somente, como por exemplo, uma parede, uma porta ou uma janela, entre outros. O termo isolamento sonoro, segundo o autor, é empregado quando se estiver reportando a um ambiente, como uma sala.

A dissertação está organizada em cinco capítulos. Inicia com uma introdução onde se estabelecem os objetivos e a justificativa do trabalho. O segundo capítulo apresenta conhecimentos conceituais e uma revisão de literatura sobre trabalhos desenvolvidos nas áreas de interesse da pesquisa. A metodologia empregada é detalhada no terceiro capítulo. Os

resultados dos experimentos e suas respectivas análises constituem o capítulo quatro. Na seqüência, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros. O texto da dissertação é encerrado com as referências bibliográficas e os apêndices.

Enfim, a pesquisa da isolamento sonora de paredes de alvenaria revestidas com argamassa visa agregar valor e conhecimento às edificações para proporcionar bem estar aos seus usuários. Para isso foram realizados ensaios em laboratório e analisadas variáveis como: o tempo mínimo para cura da argamassa em testes laboratoriais, a influência de camada dupla de reboco para a isolamento da parede, a performance da parede quando acrescentadas camadas de tinta e textura como acabamento final e, ainda, o uso de diferentes combinações de chapisco, emboço e reboco, como será detalhadamente mostrado ao longo da dissertação.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral:**

Estudar a contribuição do revestimento executado com argamassas industrializadas, tinta e textura, para a isolamento sonora de paredes de alvenaria.

### **1.1.2 Objetivos Específicos:**

- Avaliar a contribuição de diferentes argamassas industrializadas no desempenho acústico de uma parede de alvenaria;
- Verificar o desempenho das distintas combinações entre as camadas de chapisco, emboço e reboco;
- Aferir a influência do tempo de secagem em relação aos resultados obtidos para o desempenho de isolamento acústica das paredes ensaiadas em laboratório;
- Analisar a influência da duplicação da camada de reboco na isolamento da parede;
- Verificar se o uso de tinta altera o desempenho acústico da parede;
- Averiguar a performance acústica da parede quando a ela é adicionada camada de textura.

## 1.2 Justificativa

O estudo de concepção de um projeto, para obter êxito, deve reunir em um mesmo conceito: beleza, funcionalidade e respeito ao meio ambiente.

Muitas vezes, nota-se a preocupação exagerada dos projetistas com as sensações visuais que são causadas através de suas criações. Emery e Rheingantz (1995) afirmam que o aspecto visual proporcionado através de jogos com volumes, formas e cores se mostra como prioridade para os arquitetos que visam produzir um prazer visual nas pessoas, o que deixa de lado a satisfação da audição e dos demais sentidos.

Em contrapartida, para que se tenha qualidade nas edificações, a audição e esses demais sentidos devem ser levados em conta, para transformar a morada ou mesmo o escritório em um ambiente com capacidade de oferecer conforto ao seu usuário.

Bistafa (2006) garante que o ruído permeia as atividades humanas 24 horas por dia e age na vida das pessoas sempre relacionado aos problemas que causa, sendo apontado como um dos principais agentes da deterioração da qualidade de vida. Ele se apresenta sob diferentes formas e, infelizmente está em último lugar na lista das prioridades ambientais podendo causar “perda de audição, stress, hipertensão, perda do sono, falta de concentração, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso”.

O projeto de acústica arquitetônica deve ser elaborado simultaneamente aos projetos de arquitetura, com desenvolvimento de técnicas e implementação de melhorias já a partir da sua concepção.

Considerando que a performance isolada de cada constituinte do edifício se reflete no seu desempenho como um todo, esta pesquisa se concentra nos revestimentos de argamassa, adotados com muita frequência nas edificações, utilizadas nos revestimentos de acabamento. Para tanto, busca-se descobrir mais a respeito do desempenho acústico desse material tão presente na construção civil brasileira.

Existem diferentes tipos de argamassas oferecidas, atualmente. As argamassas industrializadas popularizaram-se nos canteiros de obras, em especial nas grandes edificações. Isso se dá pela análise do custo benefício e praticidade na produção da mistura.

As argamassas industrializadas possuem uma gama de possibilidades com opções para os mais variados casos. Há massas próprias para chapisco e argamassas média ou grossa para emboço, bem como massa fina para reboco. Existem argamassas de assentamento, de rejunte e colante. Cada uma atende a uma função e exigência construtiva. As argamassas podem

receber aditivos em sua composição, que visam melhorar sua resistência, trabalhabilidade e aderência.

A minuciosa caracterização da isolamento sonora em paredes de alvenaria revestidas com camadas de argamassa pode acarretar transformações construtivas que venham a melhorar o desempenho acústico das edificações. Através de estudos de isolamento em fachadas, ou mesmo entre ambientes, pode-se alcançar uma situação de boa audibilidade para voz e música no interior de recintos, privacidade de conversação e o bloqueio de interferências acústicas entre ambientes.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

A presente revisão bibliográfica visa possibilitar a compreensão do funcionamento da isolamento sonora de uma parede de alvenaria revestida com camadas de argamassa e tinta ou textura. Para que seja possível analisar os resultados é importante que se saiba de que materiais a parede é composta e como se comporta cada material, bem como suas especificidades. Dessa forma, com a compreensão de todo o sistema, torna-se mais fácil entender e interpretar os resultados.

### 2.1 A alvenaria

A alvenaria é um sistema construtivo muito adotado na execução de edificações desde o início da atividade humana. Com ela são executadas estruturas com diferentes composições de projeto, assim como de utilização (RIZZATTI, 2007).

Segundo Duarte (1999) as edificações construídas de alvenaria encontram-se entre as construções de maior aceitação pelo homem em toda a história da humanidade. É possível observar-se, até os dias atuais, obras realizadas em alvenaria há mais de dois mil anos como testemunho de durabilidade e aceitação do material cerâmico utilizado na construção.

Com a utilização de blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros, foram produzidas obras que desafiaram o tempo, atravessando séculos ou mesmo milênios e chegando até nossos dias como verdadeiros monumentos de grande importância histórica (RIZZATTI, 2007).

O uso do tijolo cerâmico teve seu início nas civilizações antigas. Desenvolveu-se de acordo com a necessidade de se obter material para construir. Desde o início dos tempos o homem busca pelo seu lugar, onde possa se refugiar do tempo e se proteger.

O abrigo, segundo Paixão (2002), mostra-se como prioridade entre as exigências básicas de necessidades das pessoas. Desde a antiguidade com o uso de cavernas como morada, a humanidade iniciou o processo de desenvolvimento e construção de ambientes. Segundo a autora e – de acordo com os conceitos já mencionados – a alvenaria constitui-se numa das técnicas mais antigas e permanece sendo empregada até os dias atuais.

O surgimento do material cerâmico se deu no momento em que começou a haver escassez de pedras para a construção na antiguidade. Em locais onde eram abundantes os materiais argilosos, iniciou-se o processo de cozimento dos mesmos, primeiramente sob o sol

e posteriormente com o auxílio de fornos, o que gerou os tijolos de construção. Com isso, os produtos cerâmicos tornaram-se, logo, essenciais na história da humanidade (PETRUCCI, 1976).

Verçosa (1985) define cerâmica como a pedra artificial obtida através de modelagem, secagem e cozedura de argilas ou de misturas contendo argilas.

A alvenaria pode ser definida como um conjunto de pequenos blocos ou tijolos denominados unidades, dispostos em camadas sucessivas, denominadas fiadas, ligados por argamassa.

No Brasil, os processos construtivos em alvenarias fizeram parte da história de formação das cidades assumindo funções estruturais e cumprindo o papel de vedação. Ela surge de vários modos: aparente ou revestida; constituída por materiais processados de forma artesanal, ou com alto grau de incorporação tecnológica; executada com primor por mestres do ofício, ou entregues à mão-de-obra desqualificada. As alvenarias sempre se apresentaram como solução construtiva, não só na produção de edifícios destinados a usos diversos, como também na produção de sistemas de infra-estrutura urbana. (SABBATINI et. al. 2002).

Segundo o mesmo autor, até a década de 70, as alvenarias cumpriram a função exclusiva de vedação de estruturas de concreto. A partir de então, iniciou-se a introdução dos processos construtivos em alvenarias estruturais agregando a alvenaria duas funções: estrutura e vedação. Os avanços registrados desde então, para esses processos são notáveis e fartamente divulgados pela literatura técnica.

Ainda afirma Sabbatini (2002) que, para se obter um melhor desempenho global das edificações de alvenaria, é interessante melhorar o desempenho das vedações verticais e de suas interfaces com os demais subsistemas.

Os projetos para produção das alvenarias de vedação têm-se revelado como um eficiente instrumento de coordenação e compatibilização das atividades de planejamento, projeto e execução, de organização das atividades de produção e de garantia da qualidade do produto.

De acordo com Neto (2006), 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. Já a alvenaria estrutural 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 rasgos nas paredes.

Esta pesquisa foi realizada com a utilização de paredes constituídas de blocos de alvenaria estrutural, com variação do formato de acordo com o ensaio. A escolha por esse sistema construtivo se deu pela sua atual popularização, principalmente em obras financiadas por instituições governamentais, e pelo aproveitamento de material já existente em laboratório, já que o principal objetivo é testar a influência dos revestimentos.

## **2.2 A argamassa**

### 2.2.1 Conceitos

A argamassa, que é a massa-base utilizada na construção de edificações, é segundo Petrucci (1976) um material de construção produzido através da mistura de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água. Às proporções de cada material empregado nessa mistura, denomina-se traço. Logo, traço é a percentagem de cada substância utilizada na argamassa.

Para Candeias et al (2004), a argamassa é uma mistura complexa de agregados, areia e grãos, aglutinante e água.

Além destes componentes essenciais, presentes nas argamassas, podem ainda ser adicionados produtos especiais, com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

Petrucci (1976) afirma que o uso de aglomerantes com a adição de água resulta no que se conhece por pasta. Ressalta ainda que os aglomerantes podem ser utilizados isoladamente ou com adição a materiais inertes. Ele cita que a argamassa é constituída através da adição do agregado miúdo à pasta. Logo, as argamassas são constituídas por um material ativo, a pasta, e um material inerte, o agregado miúdo. A adição do agregado miúdo à pasta, no caso das argamassas de cimento, barateia o produto e elimina em parte as modificações de volume.

As argamassas são muito empregadas em obras de construção civil. Elas podem ser observadas no assentamento de pedras, tijolos e blocos nas alvenarias, nos trabalhos de acabamento como emboço e reboco, nos acabamentos de tetos e pisos, nos reparos de obras de concreto, etc (PETRUCCI, 1976).

Segundo Azeredo (2004), a argamassa numa construção civil desenvolve função de cola, fixando materiais entre si. O autor diz que é lamentável que a argamassa não tome dimensões mais grandiosas na escala de importâncias dentro de uma construção. Isso porque

ela é a responsável pela ligação dos elementos, pela aderência e qualidade do acabamento, tanto interno quanto externo, “funcionando como um creme para fundo de maquiagem de uma pele” (AZEREDO, 2004).

Hanai (1992) explica que não se pode ver a argamassa apenas como um material maleável que participa da determinação de sua resistência, ou que caracteriza uma cor, uma textura nas superfícies aparentes. Ele enfatiza que é importante pensar que “a qualidade da argamassa é tão importante para a durabilidade das construções como é a epiderme para a proteção do corpo humano, tanto que às vezes é possível assemelhar algumas funções de ambas principalmente do ponto de vista de proteção da armadura” (HANAI, 1992).

Segundo Roman & Mohamad (1999), a argamassa é um material composto por um ou mais aglomerantes (cimento e cal), por um agregado miúdo (areia) que deve ser limpo e bem granulado, e água suficiente para produzir uma mistura plástica e de boa trabalhabilidade.

As argamassas para revestimento são constituídas em geral de cimento, cal, areia, água e eventualmente aditivos. [...] Como o desempenho das argamassas depende, dentre outros fatores, da proporção dos materiais constituintes, de suas características e dos cuidados no armazenamento e utilização, é fundamental o conhecimento das funções específicas de cada um deles. Desse modo, devem-se adotar procedimentos de controle adequados para garantir a sua homogeneidade no canteiro de obra, a partir das especificações da edificação, como também das prescrições das normas técnicas (GOMES, 2006).

Uma das importantes funções de revestimento de argamassa é “auxiliar as vedações no cumprimento das funções, como, por exemplo, a isolamento termoacústica e a estanqueidade à água e aos gases” (SABBATINI & BAÍA, 2000).

### 2.2.2 Classificação das Argamassas

De acordo com Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas de diversas formas, de acordo com diferentes critérios conforme ilustra o quadro 01.

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa aérea</li> <li>• Argamassa hidráulica</li> </ul>
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de cal</li> <li>• Argamassa de cimento</li> <li>• Argamassa de cimento e cal</li> <li>• Argamassa de gesso</li> <li>• Argamassa de cal e gesso</li> </ul>
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa simples</li> <li>• Argamassa mista</li> </ul>
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa seca</li> <li>• Argamassa plástica</li> <li>• Argamassa fluida</li> </ul>
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa pobre ou magra</li> <li>• Argamassa média ou cheia</li> <li>• Argamassa rica ou gorda</li> </ul>
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa leve</li> <li>• Argamassa normal</li> <li>• Argamassa pesada</li> </ul>
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa preparada em obra</li> <li>• Mistura semipronta para argamassa</li> <li>• Argamassa industrializada</li> <li>• Argamassa dosada em central</li> </ul>

Quadro 1 – Classificação das argamassas  
Fonte – Carasek, 2007.

Para Azeredo (2004) pode-se classificar as argamassas de acordo com sua função. Para tanto, obtém-se: argamassa de aderência ou chapisco; argamassa de junta; argamassa de regularização ou emboço; argamassa de acabamento ou reboco; argamassas especiais. Carasek (2007) também enfatiza a caracterização das argamassas de acordo com suas funções na construção. O quadro 2 mostra essa classificação.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias (ver item 26.3.1)	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos (ver item 26.3.2)	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
Para revestimento de pisos	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
	Argamassa de contrapiso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	Argamassa de alta resistência para piso
	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
Para recuperação de estruturas	Argamassa de rejuntamento
	Argamassa de reparo

Quadro 2 – Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção  
Fonte: Carasek, 2007

Para o desenvolvimento desse trabalho, que trata de revestimento para a alvenaria, é importante explicar as argamassas de chapisco, emboço e reboco, conforme mostram as figuras 01 e 02.

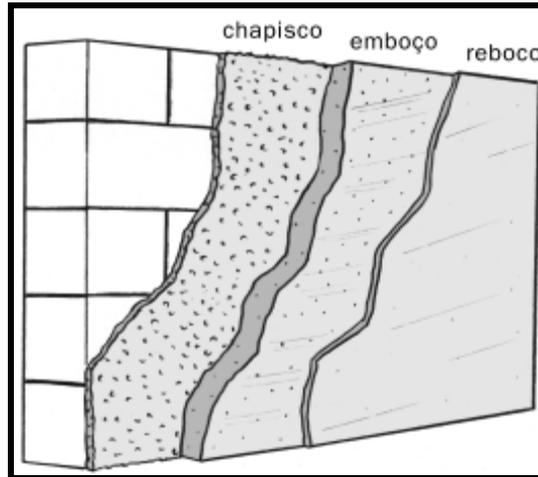


Figura 01 – Camadas de Chapisco, Emboço e Reboco  
 Fonte – Manual de revestimento de argamassa (ABCP, sd)

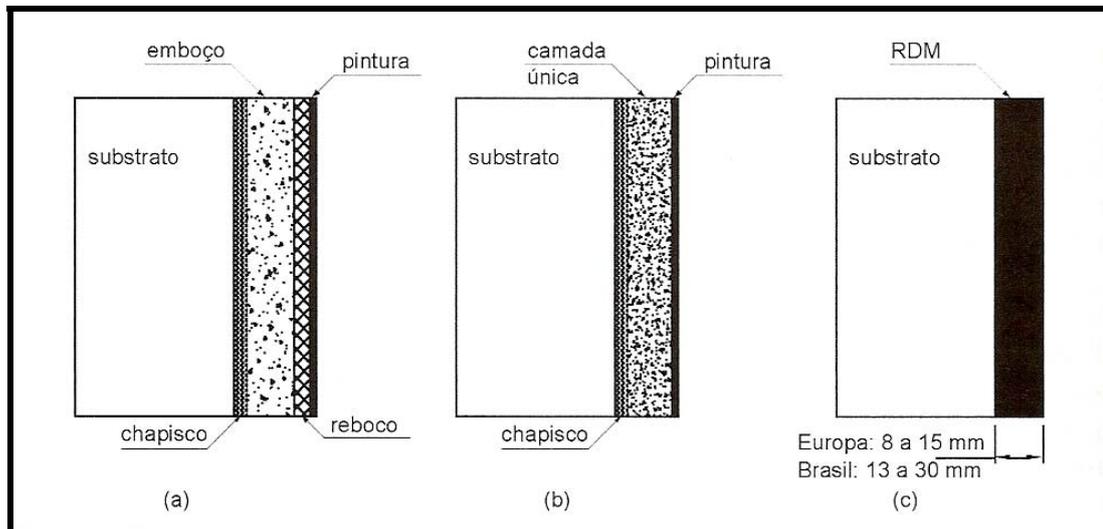


Figura 02 – Camadas do revestimento em argamassa  
 onde RDM = Revestimento Decorativo Monocamada  
 Fonte – Carasek (2007)

### 2.2.3 Argamassas de aderência ou chapisco

De acordo com Azeredo (2004), o chapisco tem a finalidade de garantir aspereza às superfícies muito lisas, proporcionando condições de as mesmas receberem outras camadas de argamassa. Ela funciona, portanto, como suporte das demais massas necessárias para revestimento. Além dessa função, o chapisco também é adotado como véu impermeabilizante para algumas estruturas como, por exemplo, paredes externas de alvenaria, onde o impacto de

intempéries é muito grande ou, paredes externas de blocos de concreto, onde a porosidade é excessiva. Ainda, o chapisco pode ser utilizado isoladamente como revestimento de acabamento de uma parede. Para tanto, adicionam-se a mistura britas, geralmente de número um, dando uma aspereza mais grosseira.

O mesmo autor explica que a forma da aplicação do chapisco é executada de modo diferente das demais camadas, jogada com certa violência na parede e a determinada distância de lançamento, o que gera impacto do material com a superfície e garante a irregularidade e aspereza da camada.

Para Azeredo (2004), é muito importante prestar atenção nas relações água/cimento, uma vez que ela será dividida entre a reação química do cimento e a absorção do material base. A rugosidade da camada é quase totalmente definida pelo material inerte agregado à pasta.

#### 2.2.4 Argamassa de Regularização ou Emboço

Sua principal função é a de regularização da superfície revestida, garantindo a uniformização, alinhamento e prumo das paredes.

Para Azeredo (2004) a camada de emboço deve atuar “como uma boa capa de chuva” que auxilia na diminuição de problemas com infiltração e penetração de água. Deve, contudo, manter o elo que permite a ação capilar de transporte da umidade do tijolo para o meio externo.

Azeredo (2004) atenta para as formas de preparação da massa de emboço, com destaque a dois caminhos distintos. O primeiro se refere a elementos suporte de pequena resistência, como alvenaria de tijolos quando o emboço deve ser mais resistente do que a base e menos resistente do que o acabamento. O segundo trata dos elementos suporte de grande resistência, como o concreto, que necessitam um emboço menos resistente do que a base e mais resistente do que o acabamento.

Para a aplicação dessa camada de regularização é necessário que se construam as mestras – como se denomina em obra – que são guias utilizadas para nivelamento de prumo e alinhamento da parede, no momento de execução do emboço.

Dessa forma, Azeredo (2004) explica que em paredes de alvenaria, antes de se construir as guias, é necessário que a parede seja molhada, uma vez que o material cerâmico

constituente da parede absorve parte da água envolvida na mistura do chapisco. Essa água serve também para remover o pó que fica sobre a camada. Após esse processo, fixam-se as taliscas de madeira ou cerâmica para a colocação das guias de prumo e alinhamento. As figuras 03 e 04 exemplificam o processo explicado.

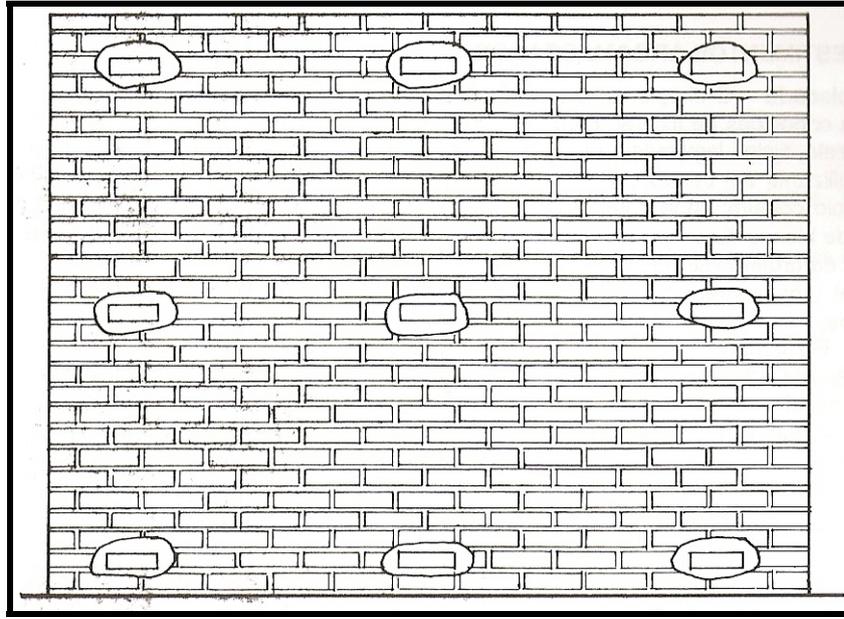


Figura 03 – Prumo e alinhamento da parede para receber garras  
Fonte – Azeredo, 2004

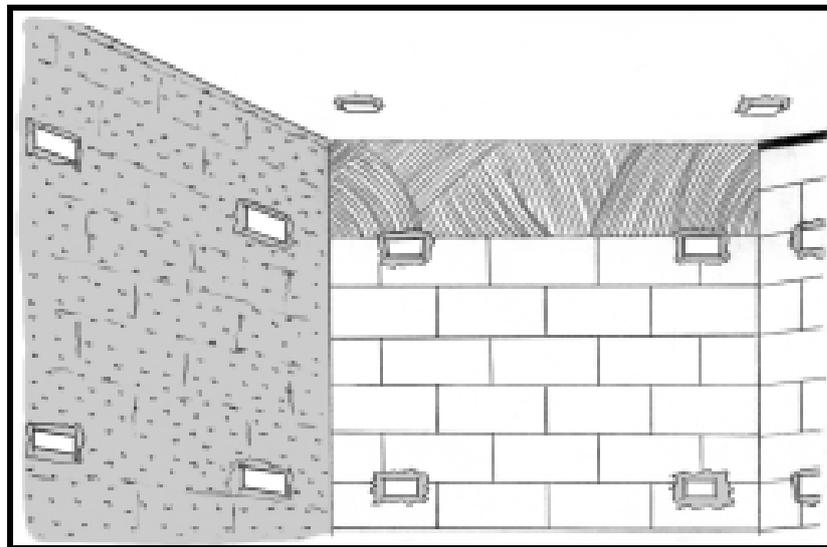


Figura 04 – Taliscamento de Paredes e Forros  
Fonte – Manual de revestimento de argamassas – (ABCP, sd)

Após a fixação das taliscas, colocam-se sobre elas, no sentido vertical, as guias, que mantêm o prumo e determinam a espessura que a camada de emboço deve conter. As figuras 05 e 06 mostram as mestras instaladas com o auxílio de taliscas e guias.

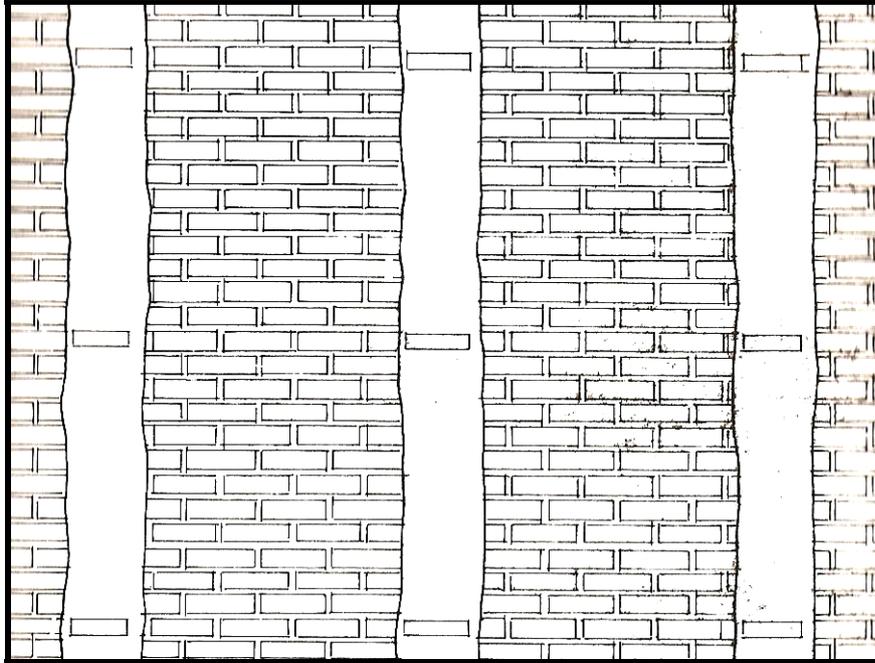


Figura 05 – Guias executadas e o painel pronto para receber o emboço  
Fonte – Azeredo, 2004

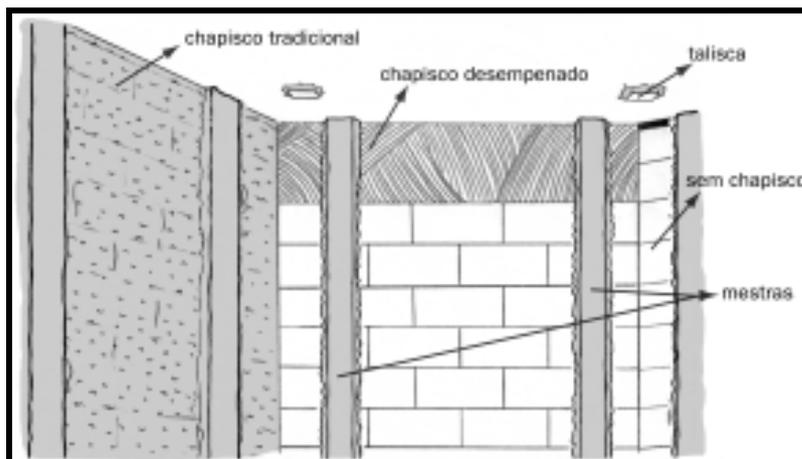


Figura 06 – Execução das mestras  
Fonte – Manual de revestimento de argamassas – (ABCP, sd)

### 2.2.5 Argamassa de Acabamento ou Reboco

O reboco é a última camada de argamassa aplicada na parede antes de seu revestimento final: a tinta. Para que uma superfície possa ser pintada, é necessário que a parede esteja totalmente nivelada, lisa, regular e com pouca porosidade. Azeredo (2004) mostra que a camada de reboco deve ser delgada, sendo preparada com material inerte de granulometria fina, adquirida através da peneira de malha denominada vulgarmente como fubá – devido seu aspecto extremamente delgado.

### 2.2.6 Critérios para os revestimentos de argamassa

Segundo Sabbatini & Baía (2000), os revestimentos de argamassa podem ser caracterizados segundo três critérios: quanto ao número de camadas que o constituem, podendo ser de uma única camada ou de múltiplas camadas; quanto às condições de exposição, os revestimentos estão em paredes externas ou internas; e quanto ao plano de aplicação, há os verticais nas paredes e os horizontais nos tetos. A figura 07 referencia o critério de número de camadas.

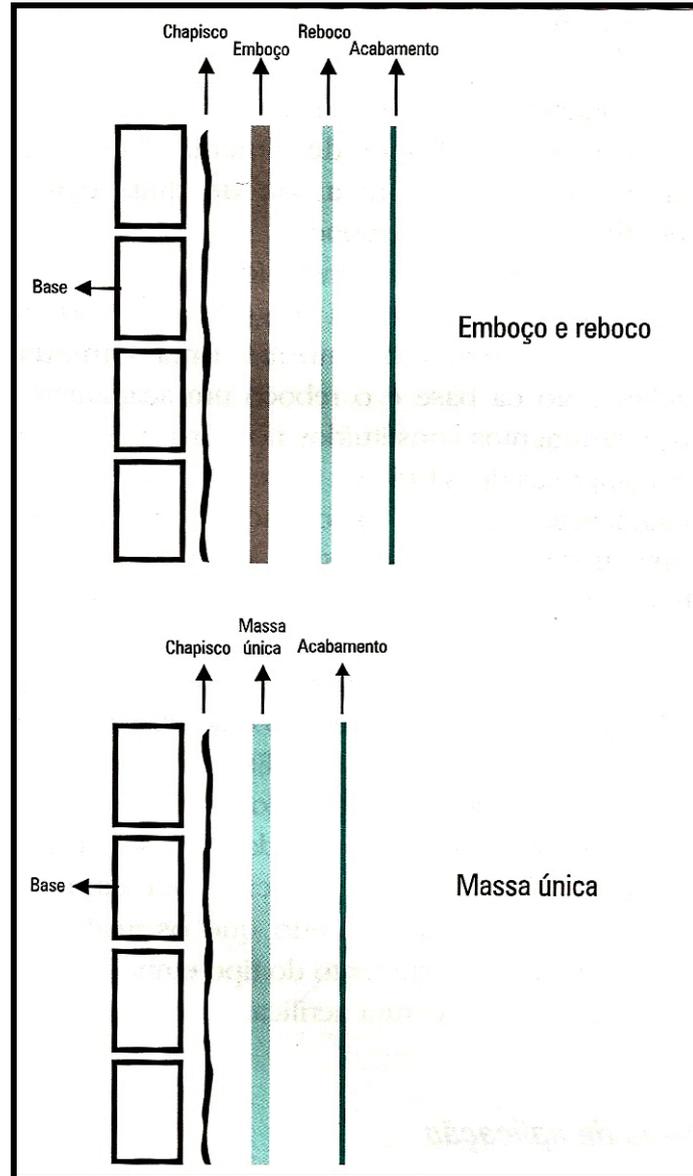


Figura 07 – Camadas do revestimento de argamassas da vedação vertical: emboço e reboco; massa única  
 Fonte – Sabbatine e Baía (2000)

Sobre o critério de condições de exposição, Szlak et. all, (sd) garante que, antes de serem aplicados os revestimentos de argamassa, devem ser observadas as situações pelas quais as paredes a serem revestidas estão expostas. Estas devem possuir características e propriedades que sejam compatíveis com tais condições, conforme os procedimentos de execução assim como a natureza da base, as especificações de desempenho e o acabamento final previsto. A figura 08 demonstra a que solicitações o revestimento está sujeito.

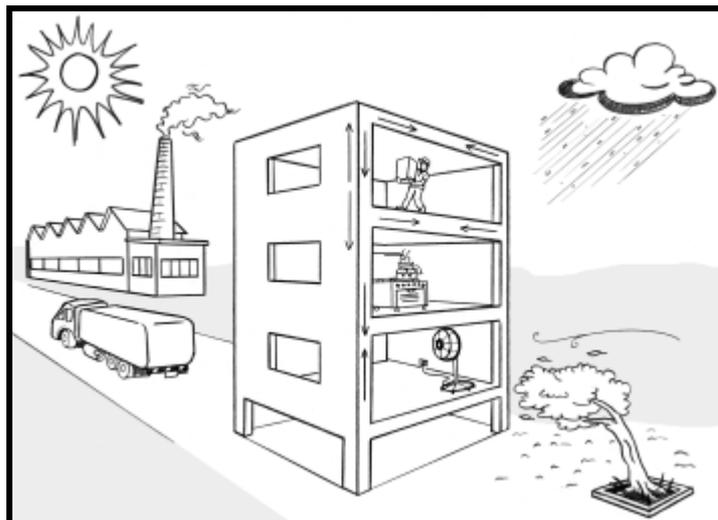


Figura 08 – Solicitações a que o revestimento está sujeito  
 Fonte – Manual de revestimentos de argamassa, (ABCP, sd)

Sobre o critério do plano de aplicação, Sabbatini (1992) criou um rol maior para os revestimentos de argamassa, para juntá-los conforme as suas necessidades sistemáticas. Desse modo, os revestimentos de argamassa são elencados em: revestimentos internos de paredes com acabamento em pintura; revestimentos internos de paredes, base para outros revestimentos; revestimentos de tetos – com acabamento em pintura; revestimentos externos com acabamento em pintura; e revestimentos externos, base para outros revestimentos.

#### 2.2.7 Espessuras das camadas de chapisco, emboço e reboco

Dubaj (2000) fez em seu trabalho de dissertação de mestrado um levantamento geral a respeito de espessuras de camadas para chapisco e emboço, citando fontes como a NBR 7200 (1982) que trata sobre a espessura do emboço a qual pode variar de 20 a 25 mm.

A NBR 13530 - Revestimentos de Argamassas Inorgânicas de paredes e tetos, apresenta como espessuras tidas como ideais para chapisco em torno de 3,0 a 5,0 mm e para emboço em torno de 8 a 16 mm.

Outra fonte citada por Dubaj (2000) foi a DIN 18550 – parte 1 (1967) que rege que a espessura total do revestimento externo argamassado deve ser em média de 20 mm sendo o mínimo admitido de 15 mm. Para as argamassas industrializadas com aditivos, esses valores de espessura são definidos em 15 mm e 10 mm. O autor afirma que de acordo com o CSTB, D.T.U 26.1 (1978), o chapisco deverá ter espessura de 3 mm e o emboço de 15 a 20 mm para

o caso de projeção manual. Já para a norma inglesa BSI BS 5262 (1976), a espessura do chapisco deverá ser de 3,0 a 5,0 mm e a do emboço de 16 a 30 mm, enquanto que para a ASTM C 926 (1986), a espessura do chapisco não tem definição e a do emboço deverá ser de no máximo 19 mm.

Mibielli (1994) e Dubaj (2000) concluem que é possível tomar como espessura média para chapisco um valor que varie entre 3,0 e 5,0 mm e, para emboço, entre 15 e 20 mm.

Para as camadas de reboco, também conhecidas como argamassa de acabamento, Azeredo (2004) indica que a camada seja esbelta e não ultrapasse os 2 mm de espessura.

Sabbatini & Baía (2000) referenciam os dados mostrados na Tabela 1, que estão de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 1996), como base para as espessuras que devem ser adotadas em paredes.

Tabela 01 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassa

REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20\text{mm}$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30\text{mm}$
Tetos	$e \leq 20\text{mm}$

Fonte – Sabbatini e Baía (2000)

### 2.2.8 Qualidade das Argamassas

Para se obter uma argamassa de qualidade é necessário se ater a fatores importantes como as características dos componentes utilizados em sua produção, o preparo correto da massa e o manuseio adequado da mesma.

Para Petrucci (1976), uma boa argamassa deve satisfazer as seguintes condições: resistência mecânica; compacidade; impermeabilidade; aderência; constância de volume e durabilidade.

O mesmo autor explica ainda que a maior ou menor importância de uma destas condições depende da finalidade da argamassa. Tais propriedades estão diretamente correlacionadas à: qualidade e quantidade do aglomerante; qualidade e quantidade do agregado e quantidade de água.

Para o presente trabalho é fundamental que se obtenha maior conhecimento quanto à resistência mecânica, já que suas propriedades serão fundamentais para cálculos futuros de localização da frequência de coincidência.

A resistência mecânica, segundo Szlak et. al. (sd), “é a capacidade dos revestimentos de suportar esforços das mais diversas naturezas, que resultam, em tensões internas de tração, compressão ou cisalhamento.” Esta capacidade de absorver deformações é governada pela resistência à tração e pelo módulo de deformação do revestimento.

O módulo de deformação ou módulo de elasticidade de um material pode ser definido segundo Szlak et. al. (sd) como “a propriedade que o revestimento possui de absorver deformações intrínsecas – do próprio revestimento – ou extrínsecas – da base – sem sofrer ruptura, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder aderência.”

Um dos principais fenômenos que provocam deformações ocorre tão logo a argamassa é aplicada, devido à perda de água por sucção da base e por evaporação para o ambiente. A retração gera tensões internas de tração. O revestimento pode ou não ter capacidade de resistir a essas tensões. Uma boa técnica de aplicação permite que se trabalhe uma argamassa com menos água, o que certamente diminui a retração. A figura 09 mostra que quando há altos teores de cimento pode haver fissuras causadas por retrações durante a secagem.

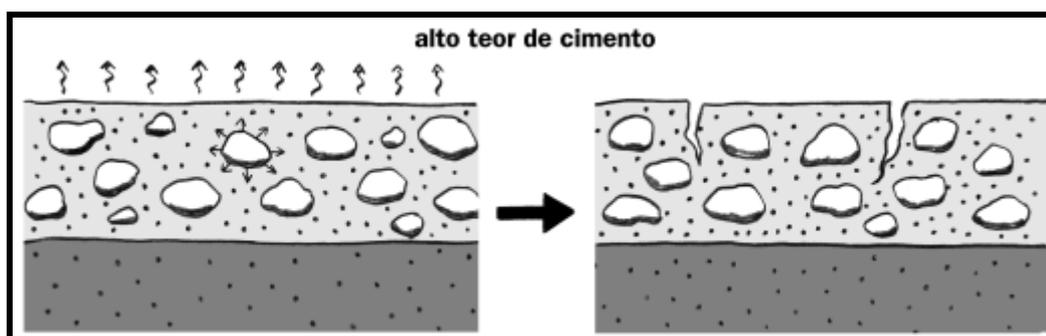


Figura 09 – Argamassa com alto teor de cimento provocando fissuras na superfície por retração na secagem  
Fonte – Manual de revestimento de argamassa (ABCP, sd)

A figura 10 mostra o caso contrário, em que o baixo teor de cimento não provoca fissuras, mas cria falhas entre a pasta e o agregado. Em função disso, Petrucci (1976) afirma que é preciso que todos os grãos do material inerte se encontrem completamente envolvidos e aderidos à pasta, para eliminar os vazios entre os grãos. Isso garante que a mistura desempenhe boa qualidade, com características como resistência à compressão, compacidade elevada, coesão aceitável, resistência à tração e permeabilidade recomendável.

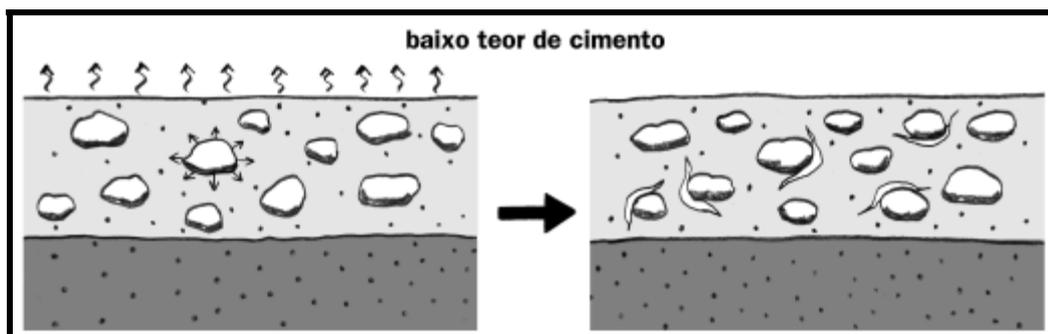


Figura 10 – Argamassa com baixo teor de cimento sem provocar fissuras na superfície, mas com falhas na interface pasta/agregado

Fonte – Manual de revestimento de argamassa (ABCP, sd)

Segundo Lourenci (2003) outros fatores importantes para se obter qualidade nas argamassas, além das características dos materiais constituintes, são as relações entre água/cimento e pasta/agregado.

Já para Hanai (1992) a relação água/cimento influi de maneira decisiva nas diversas propriedades da argamassa. Esta relação não apenas determina a plasticidade ou a fluidez da pasta de cimento no estado fresco, e, portanto, as características de consistência e trabalhabilidade da argamassa, como também afeta, incisivamente, as propriedades da argamassa endurecida. A tabela 02 mostra a aplicação de argamassas, traços e relação A/C – água/cimento – dependendo da finalidade de sua utilização.

Tabela 02 – Aplicação de argamassas, traços e relação A/C (água cimento):

<b>Finalidade</b>	<b>Traço (massa)</b>	<b>Materiais</b>	<b>Relação A/C</b>	<b>Consistência</b>
Assentamento de Tijolos	1:0,5:2,5	Cimento, Saibro e Areia Fina	0,60	Muito Plástica
Revestimento	1:1:5,5	Cimento, Saibro e Areia Fina	0,90	Plástica
Chapisco	1:5,0	Cimento e Areia Grossa	1,00	Fluida
Contrapiso	1:4,0	Cimento e Areia Média	0,50	Seca
Produção de Blocos de Concreto	Entre 1:6 e 1:11	Cimento e Areia Muito Grossa	0,60	Muito Seca

Fonte – SILVA, 1991

Quanto às argamassas de revestimento, chapisco, emboço e reboco, o quadro 3 – Usos e funções da argamassa – mostra as características mais importantes, como a trabalhabilidade, a aderência, a retenção de água, a estanqueidade e a estabilidade volumétrica.

Usos	Funções	Propriedades
Assentamento Estrutural	Resistir à esforço mecânicos, unir os elementos da alvenaria, vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial e final, estabilidade volumétrica, capacidade de assimilar deformações.
Assentamento convencional	Unir os elementos da alvenaria, vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações.
Assentamento de acabamentos	Unir elementos de acabamento ao substrato	Trabalhabilidade, retenção de água, <u>aderência, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações.</u>
Chapisco	Unir camadas de revestimento ao substrato	Trabalhabilidade, aderência
Emboço	Vedar a alvenaria, regularizar a superfície, proteger o ambiente internamente	Trabalhabilidade, retenção d'água, <u>estanqueidade, aderência, estabilidade volumétrica</u>
Reboco	Vedar o emboço (acabamento)	Trabalhabilidade, aderência, estabilidade volumétrica

Quadro 03 – Usos e funções da argamassa  
Fonte – Yoshida e Barros, 1995 *apud* Dubaj 2000

### 2.2.9 Flexibilidade

Quando se fala em argamassa é impossível não associá-la ao fator flexibilidade. A flexibilidade das argamassas é uma de suas mais importantes propriedades. Para tanto, são utilizados na mistura da massa um material definido como plastificante, no intuito de aumentar essa característica. Esse plastificante, ao atingir os índices de flexibilidade

desejados, melhora a trabalhabilidade da massa em seu estado fresco e lhe confere maior deformabilidade. Eles podem ser: cal, saibro, alvenarite, entre outros.

Segundo Sabbatini (1986, *apud* DUBAJ, 2000) qualitativamente, diz-se que uma argamassa possui boa trabalhabilidade quando se distribui facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias; ‘agarra’ à colher de pedreiro quando transportada e não agarra quando distribuída no tijolo; não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com blocos de sucção elevada; permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente no nível e no prumo.

#### 2.2.10 Aderência da argamassa

De acordo com Dubaj (2000), “a aderência nada mais é do que a resistência às tensões normais e tangenciais que atuam na interface do revestimento/base”. Para ele a aderência é basicamente mecânica, definida pela ancoragem da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da superfície e, principalmente, através da ancoragem microscópica da pasta aglomerante nos poros da base.

A tensão capilar é responsável pela penetração da pasta nos poros, respeitando a relação de que quanto menor for o poro, maior será a tensão capilar realizada.

#### 2.2.11 Resiliência (Elasticidade)

Segundo Sabbatini (1986 *apud* Dubaj 2000) resiliência, também chamada elasticidade, de uma argamassa é a capacidade de deformação apresentada por ela, sem sofrer ruptura, quando exposta a esforços variados; e, da mesma forma, retornar ao seu estado original quando é cessada essa força.

#### 2.2.12 Argamassas Industrializadas

Existem argamassas industrializadas, as quais podem ser adquiridas no mercado, seguindo as especificações mais adequadas em cada projeto.

A NBR 13529/1995, define que se a argamassa for industrializada, o fabricante deverá apresentar ao comprador/cliente uma ficha técnica do sistema base/chapisco/argamassa contendo todos os valores das propriedades solicitadas pelo projetista, o que vai atestar a atinência do sistema às especificações previstas no projeto e a possibilidade de se manter essas propriedades ao longo de todo o fornecimento.

Tal ficha técnica deverá ainda especificar: o tempo e forma de mistura podendo ser manual ou mecânica; a relação entre água e materiais secos; a forma de aplicação; a espessura máxima das camadas; a espessura máxima sem reforço; o número máximo de camadas sem reforço; a remistura; a adição de outras substâncias; e o reaproveitamento e descarte da argamassa.

### 2.2.13 Aditivos empregados em argamassas industrializadas

O uso de aditivos deve ser efetuado de modo criterioso, observando-se com cuidado a possibilidade de efeitos indesejáveis, pois se denomina aditivo quando é adicionado à pasta de argamassa ou de concreto, ainda em fase de produção e em condições adequadas. Tem como finalidade modificar, no sentido favorável e permanente, as propriedades do conglomerado, ou conferir a ele qualidades de melhor comportamento em todos ou em alguns aspectos quando recém-misturados ou já endurecidos (HANAI, 1992).

De acordo com Szlak et. al. (sd), os aditivos são compostos que, quando adicionados em pequena quantidade à mistura, tem a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido. Sua quantidade pode ser expressa em porcentagem do aglomerante. Ainda de acordo com os autores, os aditivos são empregados na busca de se obter melhores desempenhos da massa quanto à fissuração – com a diminuição da retração na secagem, em relação à plasticidade, através de um aumento no tempo de pega o que facilita a trabalhabilidade, relacionada à aderência da massa no substrato e quanto ao aumento de retenção de água. O quadro 04 apresenta alguns tipos de aditivos.

Redutores de água (plastificante)	São utilizados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa sem alterar a quantidade de água.
Retentores de água	Reduzem a evaporação e a exsudação de água da argamassa fresca e conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.
Incorporador de ar	Formam microbolhas de ar, estáveis, homogeneamente distribuídas na argamassa, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade.
Retardadores de pega	Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.
Aumentadores da aderência	Proporcionam a aderência química ao substrato.
Hidrofugantes	Reduzem a absorção de água da argamassa, mas não a tornam impermeável e permitem a passagem de vapor d'água.

Quadro 04 – Tipos de Aditivos  
 Fonte – Manual de revestimento de argamassa (ABCP, sd)

Quanto às argamassas industrializadas, segundo entrevista realizada com Leandro Ciocari, consultor da empresa fornecedora de material para o desenvolvimento dessa pesquisa – FIDA, Irmãos Ciocari Cia. Ltda – é importante mencionar que elas apresentam aditivos em suas composições. (CIOCCARI, 2009)

- Retentores de água – tornam mais gradativo o processo de secagem da argamassa. Segurando água, possibilitam que o cimento reaja antes de a água se esvair completamente auxiliando na redução de fissuras;
- Incorporadores de ar – tornam a massa mais leve e trabalhável;
- Polímeros – adotados nas massas colantes e chapiscos, são o aditivo acrílico da mistura, responsáveis pela aderência química da argamassa com o meio. Usado nas massas de assentamento de pisos cerâmicos, por exemplo.
- Hidrorrepelentes – usados nas massas de rejuntamento por ter função impermeabilizante.
- Plastificantes – agregados usado apenas nas massas para grautes.
- Pigmentos – disponíveis somente nas massas de rejunte.

## 2.3 Tintas

### 2.3.1 Conceitos e definições

A proteção das superfícies compostas de diferentes materiais é considerada uma das maneiras mais comuns de se combater a deterioração de suas superfícies. Tal proteção pode ainda ser obtida através de aplicação de películas resistentes para impedir a ação de agentes de destruição ou corrosão. Isso se dá através do uso de tintas, vernizes, lacas ou esmaltes como afirma Nina (1985).

Petrucci (1976) mostra que tintas e vernizes constituem-se em um nome genérico que compreende qualquer material de consistência líquida ou pastosa com propriedades de cobrimento e proteção de superfícies, além de pigmentação da mesma.

Para Azeredo (2004), o revestimento de pintura, tanto com a aplicação de tintas quanto com o uso de vernizes, configura muito mais do que simples incremento estético. Essa camada tem a finalidade de formar uma película resistente à ação dos agentes de destruição e corrosão.

No ramo de comércio de tintas, a linha arquitetônica – também chamada linha decorativa e linha imobiliária – é composta de tintas para revenda de consumo doméstico ou ainda tintas para construção civil. (FAZENDA, 1995).

Fazenda (1995) compara o uso grandioso de tintas para as construções com os tempos primórdios e defende a idéia de que o homem primata não usava a pintura apenas como forma de expressão e arte, mas também como decoração de sua morada.

Segundo Bauer (1985), as tintas são constituídas essencialmente de uma suspensão de partículas opacas (pigmentos) em veículo fluído.

Petrucci (1976) define veículo como a parte líquida das tintas, sendo, em geral os óleos ou resinas secantes, ou ainda a mistura dos dois adicionados de dissolvente. É no veículo que se encontram as partes voláteis – responsáveis por facilitar a aplicação da tinta e também sua secagem, através da acelerada evaporação – e não voláteis – responsáveis por formar a película, ligando as partículas do pigmento, denominada aglomerante. O autor acrescenta que as tintas podem ser definidas como uma suspensão grosseira de pigmento no veículo.

### 2.3.2 Classificação das tintas

Azeredo (2004) enfatiza as principais características de cada grupo de revestimento de acabamento: tintas; vernizes e esmaltes; e lacas.

#### 2.3.2.1 Tintas

Eles são a mistura de partículas – função de pigmentação e decoração – com os veículos fluídos, que tem função de formar a película de proteção. Os componentes da tinta estão apresentados no quadro 05.

CLASSE	INGREDIENTE	FUNÇÃO
Materiais formadores do filme	Óleos secativos, resinas, materiais cripto-cristalinos	Aglutinar as partículas do filme protetivo, por meio de oxidação ou polimerização.
Pigmentos	Materiais insolúveis, tendo poder corante e de cobertura (opacidade)	Proteger o filme pela reflexão dos raios solares, reforçá-lo e proporcionar bom aspecto
Pigmentos modificadores ou cargas	Materiais insolúveis, tendo baixo poder corante e de cobertura, geralmente em tonalidades claras	Reduzir o custo da pigmentação e, em muitos casos, aumentar o poder de cobertura e resistência ao tempo dos pigmentos, pela suplementação dos vazios entre as partículas de pigmentos
Solventes	Os solventes propriamente ditos, e, muitas vezes, os próprios materiais formadores do filme	Manter em suspensão os pigmentos e dissolver os materiais formadores do filme, permitindo que as tintas possam ser aplicadas
Secantes	Óxidos, resinatos, linoleatos ou acetatos de chumbo, manganês ou cobalto	Servir de catalisador, acelerar a secagem ou endurecimento do filme, geralmente pela absorção de oxigênio.
Diluentes ou redutores de viscosidade	Podem ser não solventes compatíveis com os solventes de óleos e resinas	“Afinar” tintas concentradas, para melhor manuseio durante a aplicação
Agente anti-coagulante	Resinas e derivados de aguarrás	Prevenir polimerização prematura na embalagem.

Quadro 05 – Constituintes das tintas  
Fonte – Azeredo, 2004

#### 2.3.2.2 Vernizes e Esmaltes

Os vernizes são soluções de gomas ou resinas, naturais ou sintéticas, em um veículo – óleo secativo, solvente volátil. Estas são convertidas em uma película útil transparente ou translúcida após a aplicação em camadas finas. Os esmaltes são adquiridos com a adição de

pigmento às misturas de vernizes, que geram como produto final a verdadeira tinta, capaz de formar um filme excepcionalmente liso, brilhante e resistente.

O quadro 06 mostra os componentes de vernizes e esmaltes.

CLASSE	INGREDIENTE	FUNÇÃO
Materiais formadores do filme	Resinas naturais e sintéticas, betumes, óleos secativos	Formar o filme protetivo por meio da evaporação do solvente ou "secagem" de eventual resina empregada
Solventes	Solventes voláteis e óleos secativos	Dissolver os materiais formadores do filme
Secantes	Resinatos, linoleatos ou oleatos de chumbo, manganês e cobalto	Servir de catalisador para acelerar a secagem ou endurecimento de eventual resina empregada
Diluentes ou redutores de viscosidade	Não solventes compatíveis com os solventes de óleos e resinas	Auxiliar a aplicação pela redução da viscosidade e proporcionar uma película mais fina.
Pigmentos (só para o caso de esmaltes)	Materiais insolúveis finamente divididos, com poder corante e de cobertura	Conferir cor ao filme e melhorar a resistência aos raios solares

Quadro 06 – Constituintes dos vernizes e esmaltes  
Fonte – Azeredo, 2004

### 2.3.2.3 Lacas

As lacas são materiais de recobrimento que contém essencialmente solução de ésteres e éteres de celulose, além de outras resinas que contribuem para a dureza do material. Contam também com plastificantes que impedem a quebra do filme e garantem flexibilidade ao material. A composição das lacas encontra-se no quadro 07.

CLASSE	INGREDIENTE	FUNÇÃO
Materiais formadores do filme	Ésteres e éteres de celulose	Formar o filme protetivo por meio da evaporação do solvente, proporcionando dureza e brilho. Para ajudar a manutenção do brilho, adesão e resistência à água.
	Resinas naturais ou sintéticas	
Pigmentos (omitidos em lacas transparentes)	Materiais insolúveis, tendo poder corante e de cobertura	Proporcionar cores agradáveis e melhorar a resistência aos raios solares
Solventes	Ésteres, cetonas, éteres, álcoois e álcoois-éteres	Dissolver as substâncias formadoras do filme e manter em suspensão os pigmentos
Diluentes ou redutores de viscosidade	Solventes de petróleo e do alcatrão da hulha	Diminuir a viscosidade e o custo, possibilitando aplicações em camadas finas e homogêneas
Plastificantes	Solventes de alto ponto de ebulição e baixa pressão de vapor, óleos e poliésteres de determinadas massas moleculares	Impedir que o filme tome-se quebradiço, aumentar o brilho e melhorar a aderência
Estabilizadores	Uréia, betanafilamina	Impedir a decomposição da nitrocelulose pela absorção de produtos ácidos

Quadro 07 – Constituintes da Lacas  
Fonte – Azeredo, 2004

Segundo Azeredo (2004), as tintas podem ser divididas em dois grupos, de acordo com a fase líquida que entra em sua composição.

➤ Tintas miscíveis em água:

- À base de cal;
- À base de cimento;
- Caseínas e outras colas animais;
- Emulsões betuminosas;
- Emulsões óleo – resinosas;
- Emulsões polímeros – látex .

➤ Tintas miscíveis em óleo:

- Óleo;
- Óleo resinoso;
- Alquídic;
- Laca;
- Betuminosa;
- Resina em solução.

Fazenda (1995) elaborou dois quadros (08 e 09) com o rol das principais tintas utilizadas em paredes internas e externas revestidas com reboco.

TIPO DE ACABAMENTO	ESQUEMA DE PINTURA	OBSERVAÇÕES
LÁTEX PVA sobre massas corridas	<p><i>Preparação da superfície:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Lixar toda a superfície para remover saliências e partes soltas.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento.</li> </ul> <p><i>Pintura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar massa corrida base PVA em duas ou três demãos finas, lixando até obter o nivelamento desejado.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento e pano levemente umedecido.</li> <li>. Aplicar tinta látex PVA em duas ou três demãos.</li> </ul>	As superfícies com tintas látex PVA somente poderão ser lavadas após 30 dias, quando o filme estará completamente curado.
LÁTEX PVA sobre gesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar uma demão de líquido preparador de parede à base de solvente, diluído adequadamente.</li> <li>. Aplicar tinta látex PVA em duas ou três demãos.</li> </ul>	A substituição da massa corrida por gesso é uma solução econômica para acabamento de interiores.
ESMALTES SINTÉTICOS E TINTAS A ÓLEO	<p><i>Preparação da superfície:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Lixar toda a superfície para remover saliências e partes soltas.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento.</li> </ul> <p><i>Pintura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar selador acrílico ou alquídico base solvente.</li> <li>. Para acabamentos finos, aplicar duas a três demãos de massa corrida de base acrílica, lixando até obter o nivelamento desejado.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento e pano levemente umedecido.</li> <li>. Aplicar tinta a óleo ou esmalte sintético (fosco, semibrilhante ou brilhante) em duas ou três demãos, aplicadas a intervalos conforme recomendação do fabricante.</li> </ul>	Pintura alternativa para o LÁTEX, porém de custo mais elevado

Quadro 08a – Pintura de interiores sobre reboco  
Fonte – Fazenda, 1995

TIPO DE ACABAMENTO	ESQUEMA DE PINTURA	OBSERVAÇÕES
LÁTEX ACRÍLICO sobre massas corridas	<p><i>Preparação da superfície:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Lixar toda a superfície para remover saliências e partes soltas.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento.</li> </ul> <p><i>Pintura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar massa acrílica ou PVA em duas ou três demãos finas, lixando até obter o nivelamento desejado.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento e pano levemente umedecido.</li> <li>. Aplicar tinta látex acrílica em duas ou três demãos.</li> </ul>	Pintura optativa em substituição ao látex PVA, com ótimas propriedades de resistência à lavabilidade e ao manchamento. No mercado local são encontradas três versões de acabamento: fosco, acetinado e semibrilhante.

Quadro 08b – Pintura de interiores sobre reboco

Fonte – Fazenda, 1995

TIPO DE ACABAMENTO	ESQUEMA DE PINTURA	OBSERVAÇÕES
LÁTEX ACRÍLICO	<p><i>Preparação da superfície:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Lixar toda a superfície para remover saliências e partes soltas.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento por escovamento e pano levemente umedecido.</li> </ul> <p><i>Pintura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar uma demão de selador acrílico base-água.</li> <li>. Para acabamentos de alto padrão, aplicar duas a três demãos de massa corrida de base acrílica, lixando até obter o nivelamento desejado.</li> <li>. Remover a poeira por escovamento e pano levemente umedecido.</li> <li>. Aplicar tinta látex acrílico em duas ou três demãos, de aspecto fosco, semibrilhante ou acetinado.</li> </ul>	Pintura de geração mais recente, que vem gradativamente substituindo o látex de base PVA em exteriores. Possui excelentes propriedades de resistência ao intemperismo e à abrasão úmida (ótima resistência à lavabilidade) e grande poder de adesão ao substrato.
TEXTURIZADO	<p><i>Preparação da superfície:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Escovar toda a superfície para remover partículas soltas.</li> </ul> <p><i>Pintura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aplicar uma demão de massa acrílica texturizada à base de água.</li> <li>. Aplicar uma ou duas demãos de tinta de acabamento (látex PVA para exteriores, látex acrílico ou outra conforme recomendação).</li> </ul>	Opção decorativa e econômica para pintura de fachadas, de ótimo comportamento como impermeabilizante superficial para blocos de concreto. Encontram-se no mercado produtos texturizados hidrorrepelentes que dispensam pinturas subsequentes.

Quadro 09 – Pintura de exteriores sobre reboco

Fonte – Fazenda, 1995

## 2.4 A Acústica

### 2.4.1 Introdução a acústica

A Acústica é a ciência do som, que estuda sua geração, transmissão e efeitos (BISTAFA, 2006).

Um aumento acentuado de questões relacionadas ao conforto acústico tem sido impulsionado pelo crescimento desordenado de núcleos urbanos, bem como o advento das novas tecnologias da construção civil e questões de ordem cultural.

Carvalho (2006) afirma que grande parte dos profissionais das áreas de Arquitetura e Engenharia, ao se depararem com situações que exigem maior atenção no item conforto acústico, limitam-se ao uso de fórmulas aplicadas em situações particulares o que leva os projetos a apresentarem equívocos de conforto acústico.

Proliferam-se, por conseguinte, os auditórios com grandes áreas revestidas com carpete, sem consistência técnica e com atenção excessiva aos aspectos plásticos. Arquitetos com experiência nessa área e conhecimento do comportamento acústico dos materiais podem projetá-los satisfatoriamente, com as mais variadas plantas e volumes e revestir com gama interminável de materiais. (CARVALHO, 2006)

Por outro lado, destaca Carvalho (2006), o ruído urbano tem se mostrado em um crescente de reclamações por parte das pessoas que se sentem incomodadas pelo número excessivo de veículos trafegando pelas ruas, casas noturnas e até mesmo igrejas ou templos. Tais ruídos acarretam prejuízos físicos, psicoemocionais e até a perda de sensibilidade auditiva nas pessoas que convivem com eles diariamente em suas casas ou locais de trabalho.

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).

A acústica arquitetônica transcendeu, então, os teatros, igrejas, cinemas, estúdios, entre outros, passando a incorporar-se em nosso dia-a-dia: salas de aula, escritórios, grupos geradores de energia e até o impacto da chuva no telhado. (CARVALHO, 2006)

Dessa forma, a acústica aplicada diretamente na Arquitetura passa a assumir papel fundamental na concepção de projetos e elaboração de espaços. Deixa de ser relevante apenas no universo acadêmico: toma as ruas, domina as pranchetas e faz com que tanto o profissional da área, quanto o comprador de um imóvel se preocupem em tornar soluções de conforto acústico reais e presentes no dia-a-dia.

#### 2.4.2 Som x Ruído

O som se faz presente no dia-a-dia de todas as pessoas e se apresenta de diversas formas como, por exemplo, através do canto dos pássaros, da batida de uma porta, do toque de um telefone, do choro de uma criança, das ondas do mar, etc. Entretanto, muitos sons podem ser considerados desagradáveis ou indesejáveis na sociedade moderna: a esses se designa o nome de ruído.

O efeito do ruído no indivíduo não depende somente das suas características – amplitude, frequência, duração – mas também da atitude do indivíduo frente a ele (GERGES, 2000).

Em complemento, Bistafa (2006) questiona o que é o ruído incômodo e exemplifica situações em que o ruído pode ser considerado extremamente desagradável do ponto de vista de uma pessoa em situação de descanso. Porém, o mesmo ruído, quando aplicado em outra situação se torna interessante e indispensável transformando-se em uma ferramenta de informação útil.

O que dizer do som de uma serra elétrica ou do sobrevôo de um helicóptero? Por certo seriam qualificados como ruído se a circunstância fosse a de tentar dormir. No entanto esses mesmos sons teriam qualificação bastante distinta no caso de um supervisor de obras da construção civil monitorando a atividade de seus subordinados à distância, ou no caso de um náufrago, em um bote salva vidas, no meio do oceano Atlântico, aflito pela chegada de resgate. (BISTAFA, 2006).

O som é definido como sendo toda a vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, possível de ser detectada pelo ouvido humano.

Fisicamente o som é definido como uma perturbação que se propaga nos meios materiais e é capaz de ser detectada pelo ouvido humano.

Simplificadamente, Bisfata (2006) caracteriza som como a sensação produzida no sistema auditivo e ruído como um som sem harmonia, em geral de conotação negativa. Ainda completa a discussão sobre ruídos com a afirmação de que eliminá-los completamente não deve ser o objetivo de um projetista.

Tentar dormir em um quarto muito silencioso também pode ser perturbador, pois se necessita de algum ruído para evitar a sensação de total privação. Após alguns minutos em um ambiente excessivamente silencioso, a audição ficará mais sensível, tornando o indivíduo mais susceptível aos ruídos da corrente sanguínea nos capilares do sistema auditivo, ruídos do aparelho digestivo e das batidas do coração. Escutar os batimentos cardíacos pode ser perturbador, pois o coração não bate com perfeita regularidade. Porém o principal fator que torna sem sentido a completa eliminação do ruído é que, com frequência, se sobrepõe ao ruído principal o ruído de fontes secundárias. Estas geram no ponto de interesse o chamado ruído de fundo, que normalmente não pode ser eliminado. (BISTAFA, 2006)

Para Silva (1978) interessar-se pelos efeitos do ruído é, de certo modo, questionar as exigências da vida moderna considerando o ruído como um elemento de poluição como tantos outros presentes em nosso cotidiano e levando em conta as formas diversas que milhões de pessoas o sentem através do incômodo gerado, dificuldade de repousar, trauma auditivo e perda de privacidade.

O ruído é um fator contaminante muito antigo, que na época atual devido ao desenvolvimento das indústrias, ao crescimento das cidades e à evolução dos transportes se faz sempre presente. Desse modo, faz-se necessário um estudo dos problemas acústicos em edifícios com o objetivo de se obter condições mínimas de qualidade acústica em seu interior de acordo com os usos e atividades de seus ocupantes.

O ruído “corrói” a qualidade do abrigo que as edificações fornecem aos seus usuários. Tanto o ruído do exterior, como do tráfego rodoviário ou aéreo, como o do interior, transmitido entre salas, e, ainda, o modo cada vez mais rápido de execução de muitas construções trouxeram, inevitavelmente, uma forte tendência a piorar o problema (REID, 1989).

### 2.4.3 Os Efeitos do Ruído na saúde do homem

Carvalho (2006) mostra que já existem pela parte dos médicos extensas bibliografias sobre os malefícios causados pelo ruído, tais como: perda parcial e perda total de audição; problemas gastrointestinais e cardiovasculares decorrentes das sucessivas contrações musculares; problemas respiratórios, de secreções hormonais e distúrbios no sistema nervoso – o qual mais sofre com as agressões sonoras.

De Marco (1990) afirma existirem vários tipos de ruídos e o que os caracteriza é o incômodo causado no receptor. Ele explica que o ruído pode ser tão forte que cause danos imediatos ao ouvido. Pode ser forte, com danos permanentes em casos de exposição por longos períodos; pode ser suficientemente forte, impedindo a boa inteligibilidade de uma música ou o entendimento de um texto; ou pode ser, simplesmente, perturbador.

Turner & Pretlove (1992) afirmam que um ruído extremamente alto pode danificar a estrutura do ouvido, resultando em uma perda temporária ou permanente da audição. Eles consideram duas situações: trauma e perda crônica de audição. O trauma ocorre com sons de alta intensidade, como os produzidos por explosões ou escapamentos de jato, que atingem em torno de 150 decibéis – o que pode romper o tímpano – já a perda crônica de audição é causada pela exposição excessiva e contínua a ruídos muito altos, como ocorrem, por exemplo, com operários de indústrias.

Gerges (2000) fala sobre os efeitos do ruído no corpo humano e aponta problemas sérios causados pelo mesmo, como: aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos. A figura 11 ilustra alguns dos efeitos citados.

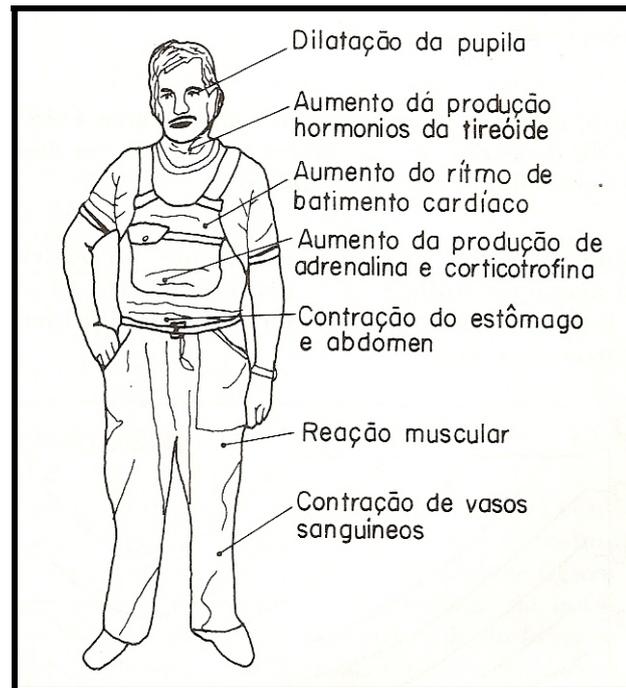


Figura 11 – Efeitos do ruído no organismo do homem  
Fonte – Gerges, 2000

#### 2.4.4 Conceitos Relativos ao som

##### 2.4.4.1 Pressão Sonora

Para Acioli (1994) uma onda sonora é uma variação de pressão que se propaga no ar ou em qualquer outro meio.

Na prática, a geração do ruído é causada pela variação da pressão ou da velocidade das moléculas no meio. O som é uma forma de energia que é transmitida pela colisão das moléculas do meio, umas contra as outras sucessivamente (GERGES, 2000).

##### 2.4.4.2 Frequência (f) e Período (T)

Frequência é o número de ciclos completos de vibração por unidade de tempo. A unidade de frequência é dada em Hz. O autor ressalta ainda que a oscilação da massa de ar que passa a ser audível ao homem deve estar nas faixas consideradas “audiofrequências” situadas entre 20 Hz a 20000 Hz e deve ter amplitudes acima de certos valores, variáveis conforme a frequência.

Carvalho (2006) relaciona frequência e período como grandezas inversamente proporcionais, uma vez que quanto maior for o período, menor será a frequência de ondas sonoras e vice-versa.

#### 2.4.4.3 Velocidade de propagação do som

A velocidade de propagação do som é definida por Mendéz et al (1994) como a velocidade com que as ondas se afastam da fonte. Tal velocidade é expressa em metros por segundo (m/s) e apresenta valor variado de acordo com a propagação. O autor destaca que o som propagado no ar, apresenta velocidade na ordem de 300 m/s. E que, de forma aproximada para temperaturas compreendidas entre 15° e 30°C, pode-se adotar a equação 1, onde  $c$  é a velocidade do som no ar (em m/s) e  $t$  é a temperatura do ar (em °C).

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

Equação 01

#### 2.4.4.4 O nível de pressão sonora e o decibel (dB)

O ouvido humano atende a uma larga faixa de intensidade sonora variando desde o limiar da audição até o limiar da dor (GERGES, 2000). Por ser muito difícil expressar graficamente números de ordens de grandeza tão diferentes, numa mesma escala linear, adota-se a escala logarítmica.

Gerges (2000) apresenta que o valor de divisão adequado a esta escala é o bel representado por  $\log_{10}$ . Entretanto, o Bel representa um valor de divisão de escala muito grande. Para facilitar, adota-se o decibel (dB) que é um décimo do Bel. Logo:

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

Por exemplo:

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

Onde, uma mudança de 3 dB corresponde a  $10^{0,3} = 2$ , que significa que quando duplicada a intensidade sonora obtém-se um acréscimo de 3 dB.

O nível de pressão sonora é dado pela Equação 02 onde NPS corresponde ao nível de pressão sonora e  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ , valor de referência (limiar da audição em 1 kHz).

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

#### 2.4.4.5 Ruído de fundo ou ruído ambiente

O ruído de fundo pode ser caracterizado como o ruído ambiental gerado por fontes secundárias, não envolvendo o objeto principal de estudo. Gerges (2000) afirma que, para que o ruído de fundo não exerça influencia significativa no sinal de interesse, podendo mascará-lo, é necessário que o nível do sinal esteja no mínimo 3 decibéis acima do nível gerado pelo ruído de fundo.

## 2.5 A transmissão do Ruído e a Isolação Sonora

O ruído aéreo pode ser definido como o ruído transmitido através do ar, mas também pode ser resultado de vibrações de estruturas, que excitam as moléculas de ar adjacentes.

Paixão (2002) explica que a propagação sonora que ocorre no ar, através de suas ondas do tipo longitudinais, indica que a vibração das partículas acontece na mesma direção da propagação da onda. Já no caso da transmissão sonora através de estrutura, podem ser encontradas ondas de cisalhamento, torção e flexão.

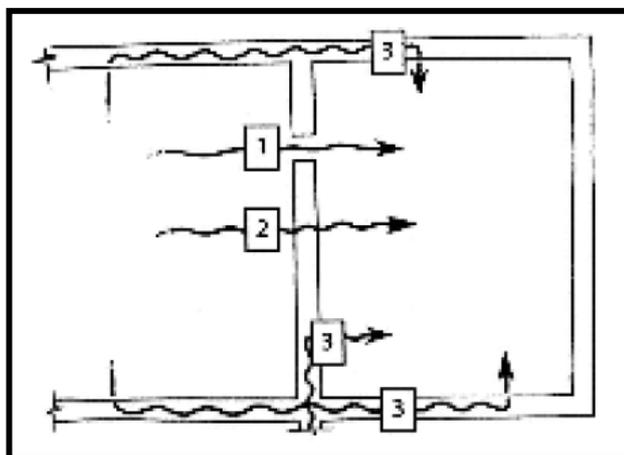
Beranek (1988) diz: “virtually every problem about noise and vibration control involves a system composed of three basic elements: a source, a path, and a receiver”.<sup>1</sup>

Para melhor explicar a afirmação de Beranek (1988), pode-se observar a figura 12 que mostra os diversos caminhos para um ruído emitido chegar aos receptores. Eles podem acontecer através das aberturas diretas como portas e janelas; através da própria estrutura e

---

<sup>1</sup> Tradução livre da autora: “praticamente todos os problemas de ruído e de vibrações envolvem um sistema composto de três elementos básicos: uma fonte, um caminho, e um receptor”.

quando ela é posta em vibração; e por meio da transmissão por flancos ou transmissão marginal, através das superfícies limítrofes da estrutura como lajes, pilares, etc.



- 1 – Transmissão por fendas
- 2 – Transmissão por vibração de elementos
- 3 – Transmissão marginal

Figura 12 – Meio de transmissão do ruído aéreo  
Fonte – Souza (2003 apud Neto 2006)

Ainda Beranek (1988) afirma que existem 3 formas de se tratar um ruído, com o controle diretamente na fonte sonora, no caminho de passagem do som, ou mesmo no receptor.

De acordo com Fahy (1985) existem dois métodos principais de inibir a transmissão de energia sonora de uma região do fluido para outra. Na primeira, a energia sonora é absorvida pelos materiais em trânsito, que são especialmente escolhidos para aceitar a energia com eficiência de ondas no fluido e, em seguida, de forma eficiente, dissipá-la em calor. Os sistemas que utilizam esse princípio incluem amortecedores de som na parede da sala, linhas de conduta absorvente e atenuadores em sistemas de ventilação.

Alternativamente, o som em trânsito pode ser refletido através da introdução de uma grande mudança de impedância acústica no caminho do som transmitido.

A isolamento sonora refere-se a capacidade que determinados tipos de materiais tem de bloquearem a passagem da energia sonora de um ambiente para o outro formando uma barreira acústica, sendo importante considerar o que já fora mencionado sobre as formas de propagação das ondas sonoras.

De Marco (1990) enfatiza que as ondas sonoras que incidem num fechamento produzem uma vibração no mesmo e este vibrando irradia a energia para o outro lado.

Costa (2003) garante que a redução da sensação auditiva gerada de um lado para o outro de um obstáculo é decorrente da isolação propiciada através de uma estrutura separadora de dois ambientes e, pode caracterizar a chamada atenuação do ruído, ou seja, o Índice de Redução Sonora – R – dado em dB, representado pela equação 03 é determinado a partir da relação  $\alpha.t = (\text{energia transmitida}) / (\text{energia incidente})$ , onde R é o Índice de Redução Sonora e  $\alpha.t$  é coeficiente de transmissão sonora.

$$R = 10 \log \frac{1}{\alpha t} \quad \text{Equação 03}$$

A Perda de Transmissão, simbolizada por *PT* pode ser referida por *Sound Reduction Index* – R, Índice de Redução Sonora –, conforme se encontra nas normas ISO – *International Organization for Standardization*.

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).

Nesta pesquisa, adotar-se-á a denominação Índice de Redução Sonora. Justifica-se a escolha, uma vez que esse é o termo empregado na maioria dos ensaios realizados no Brasil. A norma mencionada é a ISO 140-3 – *Acoustics: Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements: Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of buildings elements*.

Gerges (2000) enfatiza Perda de Transmissão (PT) e Diferença de Nível (D) como sendo duas grandezas físicas que caracterizam materiais ou dispositivos para isolação sonora onde Perda de Transmissão é uma relação logarítmica entre a energia sonora transmitida e a energia sonora incidente em uma parede e, Diferença de Nível é o resultado da redução do ruído depois do uso de algum material isolante.

Ainda vale mencionar que Perda de Transmissão alta significa baixa transmissão de energia acústica e Perda de Transmissão baixa, significa alta transmissão de energia acústica.

## 2.6 Isolação de uma parede simples

De Marco (1990) explica que uma onda acústica ao encontrar um obstáculo produz excitação entre as moléculas. Com isso a energia é dissipada e dividida. A primeira parte toma o comportamento de pressão refletida e retorna para o mesmo meio da onda que incidiu no obstáculo. Outra parte excita as moléculas da barreira criando uma vibração, 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 restante da energia contida na vibração do próprio obstáculo produzirá a vibração do ar do lado oposto, de modo que esse obstáculo funcione como uma nova fonte sonora que criará uma onda no terceiro meio. A figura 13 traz a exemplificação.

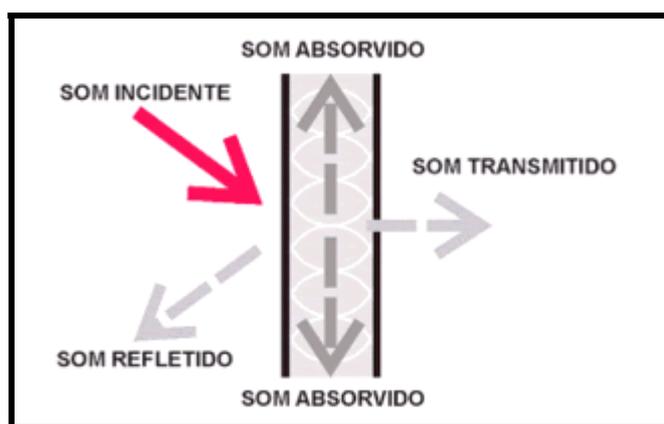


Figura 13 – Comportamento do Som

Fonte – site [www.arch-tec.com.br/html/Acustica\\_Arquitetonica/html](http://www.arch-tec.com.br/html/Acustica_Arquitetonica/html) - acessado em 18-11-2009

A isolação em paredes de alvenaria simples, varia de acordo com a densidade superficial do material e da frequência do som incidente. Assim, numa quantificação de isolação deve-se conhecer o Índice de Redução Sonora (R) de cada material constituinte do conjunto (tijolo, argamassa, revestimento de acabamento final como tinta ou textura).

Para Costa (2003), podem ser consideradas somente as parcelas geradas pela irradiação de uma parede simples, uma vez que ela é muito superior as outras formas de transmissão.

O projeto de uma boa isolação para uma parede simples depende, entre outros fatores, do conhecimento do espectro do ruído. Ele faz-se importante na escolha de um material adequado sob o ponto de vista dos mecanismos de controle, sendo eles: rigidez, frequência de ressonância, massa e efeito de coincidência.

## 2.7 Isolação de uma parede vibrante

Parede vibrante pode ser definida como uma parede cuja estrutura tem suas partículas em movimento, estimuladas por excitação sonora.

Segundo Paixão (2002), a isolação sonora de uma parede, sofre uma queda considerável devido à vibração da mesma, ocasionada pelo campo sonoro. Esse valor é ainda mais significativo, quando há uma coincidência entre os valores de velocidade do som no ar e as ondas livres de flexão da parede, o que determina a condição de coincidência.

De Marco (1990) explica que a quantidade de isolação que o fechamento produz depende da frequência do som incidente e das características construtivas da parede. Afirma que a lei da massa indica que a isolação aumenta em aproximadamente 6 dB para cada duplicação de massa e que se pode observar esse aumento juntamente com o aumento da isolação também em função da frequência, de aproximadamente 6 dB. Ele enfatiza que a lei da massa não pode ser aplicada para todas as frequências considerando que o fechamento se comporta como uma membrana vibrante e, por isso, sofre deformações, que promovem frequências de ressonância.

Pode-se acompanhar o comportamento da isolação de uma parede através do gráfico que apresenta quatro regiões distintas e bem definidas como mostra a figura 14.

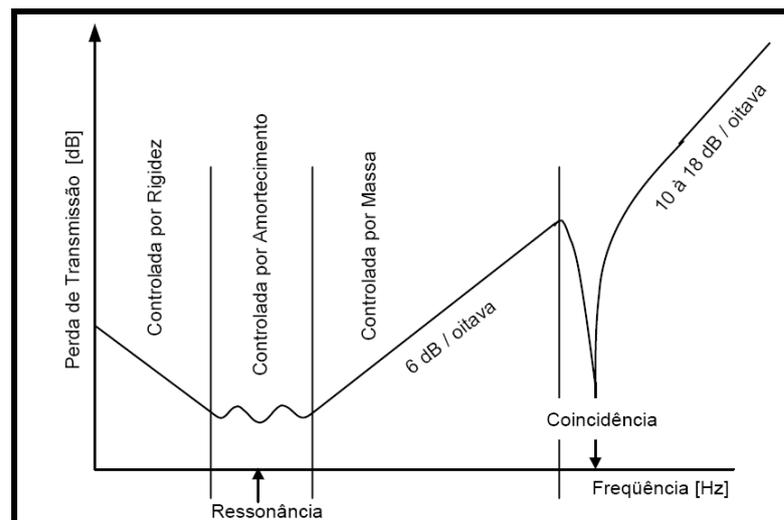


Figura 14 – Curva típica de índice de redução sonora para paredes simples  
Fonte – Gerges, 2000.

A) Região controlada pela Rigidez:

Ocorre nas baixas frequências onde a isolamento sonora é totalmente dependente da rigidez da parede. Nessas situações, o Índice de Redução Sonora ( $R$ ) aumenta 6 dB a cada duplicação da rigidez e diminui 6 dB a cada duplicação de frequência.

Costa (2003) apresenta a equação 04 como definição para essa região, onde  $R$  é o Índice de Redução Sonora,  $k$  é a rigidez da mola e  $f$  é a frequência:

$$R = 20 \log \frac{K}{f} - 74,2 \quad \text{Equação 04}$$

B) Região controlada pela Ressonância:

Mendéz et al (1994) afirma que essa é a zona onde o sistema atinge suas primeiras frequência de ressonância, produzindo quedas e picos de isolamento sonora. O autor garante que tais ressonâncias dependem totalmente das dimensões, rigidez e massa por unidade de superfície da parede.

Costa (2003), explica que a parede, para sua frequência natural, quando posta em vibração, apresenta uma diminuição em seu Índice de Redução Sonora devido ao aumento ocorrido na transmissão, dado pela equação 05 onde  $\rho$  corresponde a densidade,  $c$  determina a velocidade de propagação e  $C$  representa o amortecimento.

$$R = 20 \log \left( 1 + \frac{C}{\rho c} \right) \quad \text{Equação 05}$$

C) Região controlada pela Lei da Massa:

Nessa região a isolamento é dependente da densidade da parede. Mendéz et al (1994) explica que essa região ocorre nas frequências maiores que o dobro da primeira ressonância.

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 06:

$$R = 20\log(M.f) - 42,4 \quad (\text{dB}) \quad \text{Equação 06}$$

A análise da Lei da Massa permite verificar que o Índice de Redução Sonora  $R$  aumenta 6 dB cada vez que se duplica a massa por unidade de área ( $M$ ) e a frequência ( $f$ ).

Considera-se, para isso, que a onda é plana longitudinal e em propagação unidirecional, com incidência normal a uma parede de massa ( $m$ , em  $\text{kg/m}^2$ ) sem vibração, admitindo-se sem dissipação de energia no ar que circunda a parede nem na própria parede.

A incidência da onda sonora, no entanto, se dá em todos os ângulos possíveis, portanto o valor da equação anterior ficaria reduzido em aproximadamente 5 dB. Logo, a Equação 06 assumiria um valor mais aproximado da realidade, como mostra a Equação 07, que identifica a Lei da Massa de Campo.

$$R = 20\log(m.f) - 47,4 \quad (\text{dB}) \quad \text{Equação 07}$$

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  $0^\circ$  a  $78^\circ$  (FAHY, 1985).

D) Região controlada pela coincidência:

O fenômeno da coincidência se dá no momento em que há o surgimento de uma frequência crítica responsável por uma queda brusca na isolamento da parede. A partir desse momento, a isolamento passa a ser controlada pela coincidência. A figura 15 exemplifica o ocorrido:

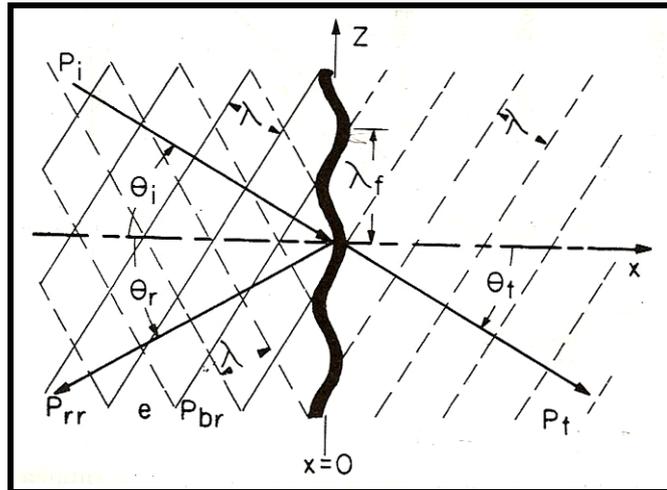


Figura 15 – Efeito da coincidência  
Fonte – Mendéz, 1994

Onde:

$P_i$ : energia incidente;

$P_{rr}$ : energia refletida;

$P_t$ : energia transmitida;

$Z$ : parede vibrante.

E) Para a região situada acima da zona controlada pela coincidência, a isolação volta a ser comandada pela rigidez. A partir de então, passa a depender do tamanho do painel assim como dos seus contornos e do seu amortecimento interno, podendo sofrer um incremento de 10 à 18 dB a cada banda de oitava.

Paixão (2002) comprova, em sua tese, que o gráfico e as formulações mencionadas acima, são muito eficazes quando, em questão, estão os materiais caracterizados como placas finas. Para a construção civil, no entanto, os materiais utilizados nem sempre podem ser definidos como fazendo parte das placas finas por terem suas dimensões muito superiores a elas. Logo, a autora apresenta um novo gráfico que mostra o desempenho para placas espessas e faz uma adaptação ao gráfico anterior, que mostrava o comportamento da isolação sonora para placas finas. O novo gráfico está representado na figura 16.

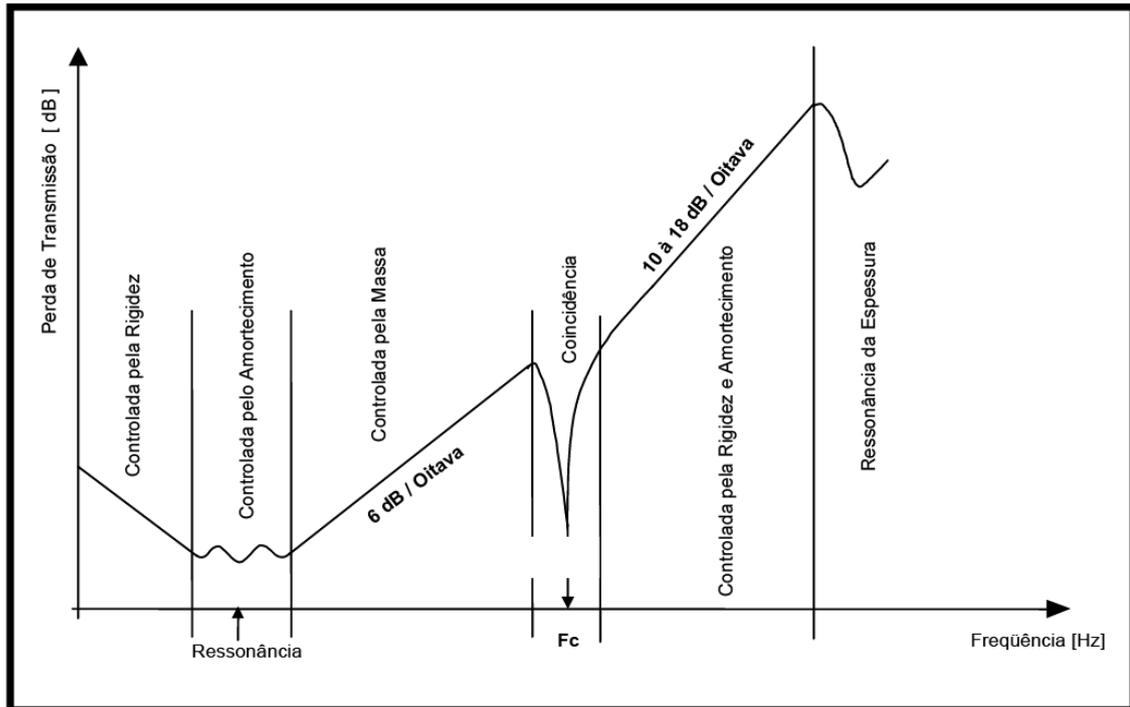


Figura 16 – Curva típica de Índice de Redução Sonora –  $R$  – para paredes simples espessas  
 Fonte – Paixão, 2002

Ao contrário do gráfico anterior, dividido em 4 regiões, esse pode ser dividido em 6 regiões. São elas:

- A) Região controlada pela rigidez representando um decréscimo no Índice de Redução Sonora –  $R$ ;
- B) Região controlada pelo amortecimento, onde o  $R$  é pequeno e há grande transmissão sonora.
- C) Região controlada pela massa, onde há um crescimento no  $R$  de 6 dB/oitava;
- D) Região da coincidência, que para as paredes usualmente estudadas na construção civil, é a região mais importante, devido à faixa de frequências que abrange e a acentuada diminuição que provoca no  $R$ ;
- E) Região controlada pela rigidez e pelo amortecimento, em que há um aumento linear no  $R$ , conforme o material utilizado;

F) Região onde surge nova diminuição no  $R$ , devido às ressonâncias relativas à espessura da parede.

Ljunggren (1990) desenvolveu trabalhos que abordam modelos para isolamento de placas espessas finitas e infinitas. Ele mostra, com a ajuda de expressões analíticas válidas para as chapas grossas, que a expressão clássica da chapa fina para a perda de transmissão sonora pode ser usada cerca de duas oitavas acima do limite normalmente imposto sobre as resoluções de chapa fina. A partir deste novo limite e duas oitavas acima, a curva de perda de transmissão sonora forma um platô com quedas acentuadas devido à ressonância de espessura da onda.

## **2.8 Pesquisas relativas à Isolação sonora em paredes**

Paixão (2002) ensaiou uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos maciços e conexões elásticas e rígidas. Constatou que, para ensaios laboratoriais, não se faz necessária a espera do tempo de secagem de 28 dias da argamassa, recomendada por questões de resistência. A autora comprovou, através de experimentos, que aos 14 dias os resultados obtidos são muito semelhantes aos encontrados com 28 dias de cura da argamassa.

Neto (2006) ensaiou uma parede de alvenaria estrutural com revestimento de argamassa e uso de conexões elásticas, semi-rígidas e rígidas. Com a base de averiguação de inexistência de diferenças significativas na isolamento sonora dada pelo tempo de secagem da parede, para os ensaios a 7 e 14 dias, o autor afirma 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” (NETO, 2006). Ele ainda comprovou, experimentalmente, a importância do revestimento da parede para a isolamento e, também, o significativo efeito das pontes acústicas na transmissão da energia sonora. Mostrou, por exemplo, um ganho de 5 dB no  $R_w$ , a partir do revestimento apenas da face externa de uma parede.

Birlik (1998) em experimentos em Ankara, na Turquia, descobriu que ao se adicionar perlite à mistura de argamassa, obtêm-se incrementos de isolamento. A autora afirma que a isolamento sonora em paredes de alvenaria pode ser melhorada tanto pelo reboco, quanto pela alternância de materiais que constituem os blocos das paredes. Para tanto, desenvolveu duas séries de ensaios laboratoriais. Na primeira, o aditivo perlite foi adicionado na preparação do

reboco em laboratório e, na segunda, ele foi incluído como constituinte adicional na mistura quando expressos em blocos de gesso. A média da perda de transmissão nas paredes de tijolos aumentou para aproximadamente 19 dB quando rebocado nos dois lados com reboco adicionado de perlite. Quando o aditivo foi um constituinte para as paredes com blocos de gesso a média de perda de transmissão sonora ficou em aproximadamente 1 dB. Os 20 mm de espessura de reboco foram aplicados em ambos os lados da parede receptora. A autora aguardou após a aplicação do reboco 28 dias para curar. Para blocos de concreto e gesso os períodos são de 7 e 3 dias respectivamente satisfazendo a precisão imposta pela ASTM E90-90.

Watters (1959) traz em seu trabalho de pesquisa com paredes de alvenaria alguns importantes preceitos a respeito da Perda de Transmissão Sonora. Ele comparou a teoria do “coincidence-effect” com medições em paredes de alvenaria realizadas em campo, para obter resultados sobre a perda de transmissão sonora. Contudo, a contribuição mais importante dessa pesquisa foi verificar como a porosidade de paredes atuaria na perda de transmissão sonora. Foram testados blocos de paredes feitos com agregados de construção – cinzas, sobras, agregados. Através desses testes aferiu-se que nas paredes ocas de alvenaria a porosidade não influi seriamente na perda de transmissão. Dessa forma, verificou-se que a pintura e o reboco não seriam necessários para reduzir a porosidade da parede.

Fringuellino & Smith (1999) categorizaram algumas das principais características acústicas das paredes de blocos ocos que são utilizadas na parte sul e central da Europa, salientando que há prejuízos para o Índice de Redução Sonora, devido à variação dos parâmetros de rigidez à flexão dos tijolos ocos.

As características de isolamento sonora de blocos vazados são bastante complexas. Devido à estrutura do bloco e o desenho da cadeia de buracos de uma parede oca o bloco apresenta forte anisotropia. Pode haver vários valores de rigidez diferentes para as direções dependendo do delineamento em blocos. A rigidez de flexão máxima e mínima para um bloco pode variar por um fator de sete. Como resultado, a frequência crítica ou “vale da coincidência” é muito mais amplo. A Figura 17 mostra os Índices de Redução Sonora de uma parede de blocos de argila oca de 12 centímetros de espessura com uma camada de gesso adicional em cada lado da parede de 1 centímetro de espessura. Camadas de gesso são muitas vezes aplicadas em paredes de vedação o que pode aumentar a massa total de uma parede e, com isso, aumentar o fluxo de resistência do ar levando a melhores propriedades de isolamento sonora. A relação de volume dos buracos por bloco é de 45%. Para esse ensaio foi feita uma

comparação dessa parede constituída por bloco vazado com uma parede construída por blocos sólidos.

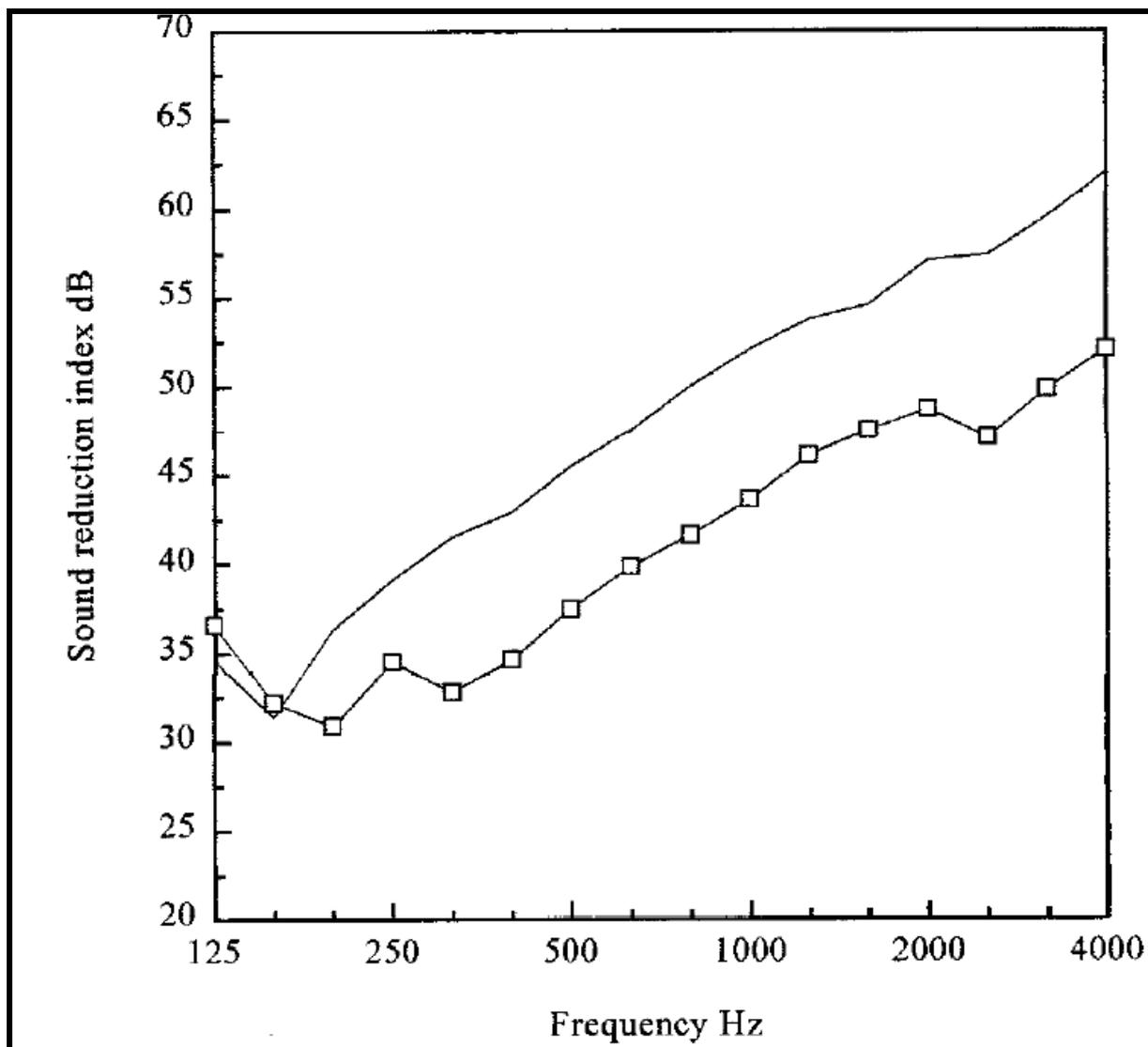


Figura 17 – Índice de redução sonora medido de duas paredes da mesma espessura.

— Parede bloco sólido; □ parede bloco oco.

Fonte – Fringuellino & Smith, 1999

Schmitz et al (1999) desenvolveram uma pesquisa de comparação entre 12 laboratórios para ensaio de isolamento sonora sendo que onze se situam na Alemanha e um localiza-se na Suíça, levando em conta o amortecimento, velocidade da onda e Índice de Redução Sonora para uma parede construída em 12 diferentes institutos de pesquisa. Como objeto de teste, os autores adotaram uma parede construída de blocos densos de silicato de cálcio com uso de juntas horizontais de aproximadamente 1 mm de espessura. Por não ser

usadas as juntas verticais, no final do levantamento, a parede foi selada com uma esbelta camada de 5 mm de massa de gesso em ambas as faces. A densidade superficial total da parede ficou em torno de 440 Kg/m<sup>2</sup> e sua espessura total ficou em 250 mm. A frequência crítica esperada da parede situava-se em torno de 160 Hz.

Muitos experimentos foram realizados, levando em conta a comparação direta entre as câmaras, a repetibilidade dos ensaios, a forma de conexão, podendo ser rígida ou elástica, a precisão dos dados, a transmissão por flancos e as comparações entre alguns e todos os institutos nos quais as paredes foram ensaiadas.

Como resultado direto entre a comparação dos 12 laboratórios ensaiados, tem-se a figura 18.

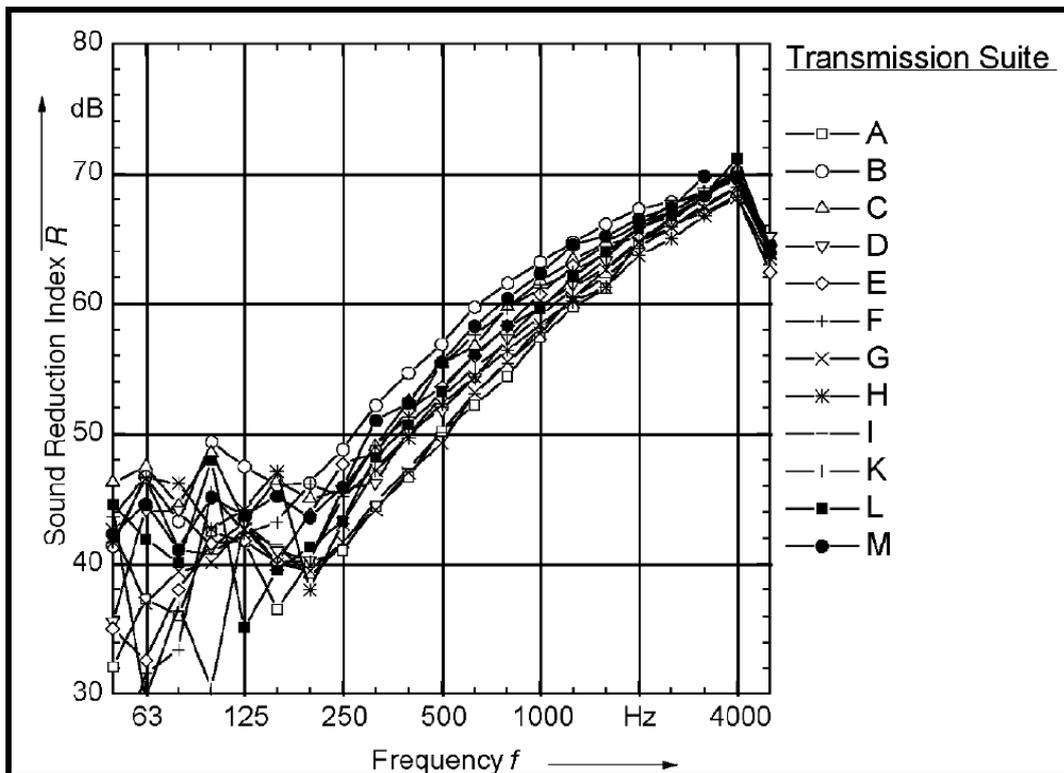


Figura 18 – Índice de redução sonora de uma parede semelhante com conexões rígidas em 12 diferentes câmaras de transmissão.

Fonte – Schmitz et al (1999)

Nos ensaios realizados nos 12 laboratórios foi verificado que a maior variação entre as câmaras se dá para as baixas frequências. Nas altas frequências nota-se uma queda acentuada para todas as paredes caracterizando a primeira ressonância gerada na parede em função da espessura.

Ljunggren (1990) mostra que se pode obter ganhos na isolamento na direção vertical de estruturas de prédios e casas. Para tanto, é necessário que se substituam as paredes de carga–paredes estruturais - por estrutura de carga, ou seja, em uma edificação estruturada – lajes, vigas, pilares – pode-se substituir a parede convencional de vedação por uma estrutura leve e altamente isolante. O autor referencia uma construção que estava em execução, na época desse artigo, em Estocolmo, seguindo esse princípio, onde, a isolamento sonora esperada era de aproximadamente 10 dB maior quando comparado a uma edificação tradicional.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

---

A presente pesquisa pode ser definida como uma pesquisa quantitativa baseada nos resultados adquiridos através de ensaios experimentais realizados em laboratório.

Ensaíram-se diferentes blocos e tipos de argamassas industrializadas, aplicadas em três paredes construídas de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural, com o objetivo de verificar suas influências na perda de transmissão sonora.

Nesse capítulo são apresentadas considerações sobre as normativas que regem os ensaios executados, a caracterização das câmaras reverberantes utilizadas no desenvolvimento dos testes e o controle das condições ambientais. São descritos, também, os equipamentos utilizados, as paredes estudadas, e a forma como foram realizados os experimentos.

#### 3.1 As normas

Para todos os ensaios realizados em laboratório para detecção do Índice de Isolação Sonora de elementos construtivos – sendo eles paredes, portas, janelas, vidros, entre outros – há uma norma internacional que descreve os procedimentos de teste. Trata-se da ISO 140-*Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements*. Esta normativa encontra-se dividida em 12 partes que dizem respeito à isolamento sonora de edificações.

O suporte necessário para os experimentos realizados em laboratório seguiram a Norma ISO 140 parte 3 ( *Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 3: Laboratory measurements airborne sound insulation of buildings elements*), que é adotada como referência pelos laboratórios brasileiros. Ela encontra-se subdividida em nove segmentos, cujos conteúdos podem ser resumidos como:

- 1 – Escopo (*Scope*) – Apresenta os objetivos e abrangências da norma;
- 2 – Referências de Norma (*Normative References*) – Cita as normas usadas como referência;
- 3 – Definições (*Definitions*) – Define termos, conceitos e formulações;
- 4 – Equipamentos (*Equipment*) – Explica a forma correta de utilização dos equipamentos necessários;

5 – Disposição dos testes (*Test arrangement*) – Descreve como devem estar as salas de ensaio durante o procedimento e a correta instalação dos objetos a serem testados;

6 – Procedimento de Ensaio e Avaliação (*Test Procedure and evaluation*) – Fala sobre a sistemática dos procedimentos de ensaio e de como devem ser suas avaliações.

7 – Precisão (*Precision*) – Trata da precisão de dados exigida pela normativa;

8 – Expressão dos Resultados (*Expression of results*) – Mostra como devem ser expostas as expressões impressas dos resultados, e

9 – Relatório (*The Report*) – Exemplifica como deve ser e o que deve constar nos laudos técnicos.

Descrito por essa norma técnica, o Índice de Redução Sonora (R) – também conhecido por Perda de Transmissão Sonora (PT) ou ainda por Transmission Loss (TL) – é considerado como um dos parâmetros de maior relevância para a caracterização acústica de qualquer elemento quando está em questão o ruído aéreo, como no caso de uma parede e demais elementos de fachada.

Para a avaliação do índice de isolamento sonora de elementos construtivos é necessário que se realizem medições em bandas de frequência de oitava ou de 1/3 de oitava.

### **3.2 O local de realização dos ensaios**

As câmaras onde foram ensaiadas as paredes dessa pesquisa encontram-se dispostas no Laboratório de Engenharia Acústica que integra o Centro de Tecnologia e presta suporte ao PPGEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria.

As duas salas especiais utilizadas têm volumes de 60m<sup>3</sup> e 67m<sup>3</sup>, construídas para ensaios de transmissão sonora. Entre elas há um pórtico de 55 cm que faz a desconexão das câmaras tornando-as independentes entre si (câmara de recepção e câmara de emissão) e serve também de suporte para a construção de paredes dos mais diversos materiais. As paredes, teto e piso das câmaras estão constituídos de 30 cm de concreto armado. Cada sala possui uma porta dupla de 1,50 m de largura por 2,5 m de altura, executadas em chapa de aço de 12,7 mm de espessura, vedadas com borracha em todo o contorno e fechadas sob pressão, o que garante a perfeita estanqueidade. Não há paralelismo entre as superfícies da câmara (paredes e teto/piso) para a melhoria de campo difuso. A estrutura não está apoiada diretamente no solo.

As cargas são descarregadas em isoladores – neoprene –, passando aos pilares e, deles, às fundações. As figuras 24 e 25 mostram as câmaras utilizadas nos testes.

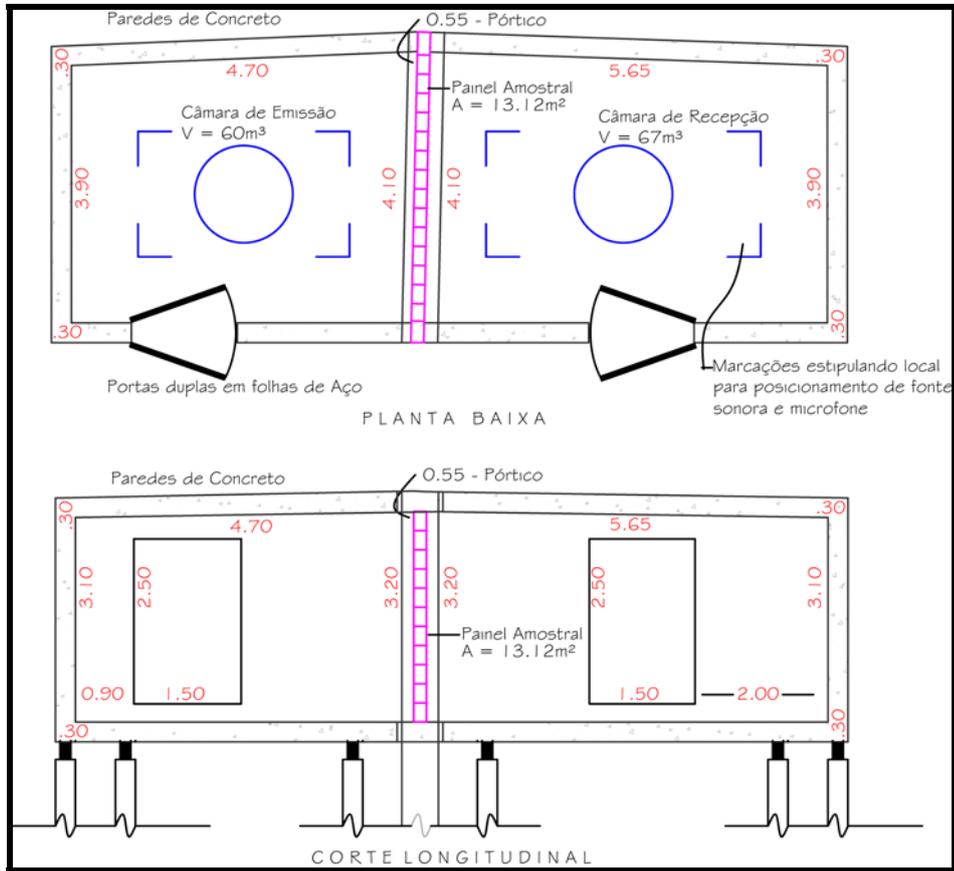


Figura 19 – esquema em planta baixa e corte longitudinal das câmaras reverberantes da UFSM.



Figura 20 – vista das câmaras de emissão e recepção.

### 3.3 Condições ambientais

Para todos os ensaios realizados foram monitoradas as condições climáticas dos ambientes. Mediram-se a temperatura e a umidade relativa do ar durante os testes em ambas as câmaras – emissão e recepção. Esse acompanhamento se deu através de um aparelho simples chamado Hígro-Thermometer que apresenta a temperatura – em grau Celsius ou Fahrenheit – e a umidade.

### 3.4 As paredes estudadas

Para um estudo completo das paredes, elaborou-se um plano de metas para os ensaios subsequentes. Foram ensaiadas três paredes, onde:

Parede A – Construída com blocos de alvenaria estrutural de 190x190x290 mm, na ordem de 7 MPa de resistência, vazados e ranhurados, com dimensões de 4,10m de largura x 3,20m de altura, posicionada no pórtico de ligação entre as câmaras de emissão e recepção e revestida com argamassas industrializadas para emboço (massa média) e reboco (massa fina).

Nesse teste desprezou-se o uso do chapisco como camada de preparação e aderência, porque o emprego desse sistema tem entrado em desuso em muitas edificações para as paredes internas. A supressão do chapisco já é possível, a partir dos resultados obtidos em ensaios de aderência à tração de arrancamento, desenvolvidos pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro de Tecnologia da UFSM (LMCC), juntamente com a empresa FIDA (Irmãos Ciocari Ltda), que forneceu as argamassas para a presente pesquisa. Nesse teste de arrancamento, o valor mínimo estipulado por norma deve estar acima de 0,2 MPa de resistência para paredes internas. Já para as paredes externas, a norma exige que se encontrem valores acima de 0,3 MPa de resistência quando realizado o mesmo teste, por isso o uso do chapisco continua mais difundido nesse caso. Assim, o chapisco aplicado em paredes internas está sendo cada vez menos adotado, o que traz benefícios financeiros às construções e garante a mesma eficácia quanto à resistência. Como revestimento final dessa parede interna, adotou-se duas demãos de tinta apenas na face da Câmara de Emissão.

Parede B – Construída com blocos de alvenaria estrutural de 140x190x290 mm, na ordem de 7 MPa de resistência, vazados e ranhurados, com dimensões iguais a 4,10m de largura e 3,20m de altura e revestida com argamassas industrializadas fornecidas pela empresa FIDA: chapisco(massa própria), emboço(massa média) e reboco(massa fina). Como revestimento final, adotou-se uma camada de textura apenas na face externa da parede (Câmara de Emissão).

Parede C – Construída com o mesmo tipo de blocos de alvenaria estrutural da parede B, ou seja, de 140x190x290 mm, com resistência da ordem de 7 MPa, vazados e ranhurados e revestida com argamassas industrializadas fornecidas pela empresa FIDA, com destaque para a mudança no tipo de massa empregada no emboço. Adotou-se chapisco (massa própria), emboço(massa grossa) e reboco(massa fina). Com isso, a proposta foi verificar a influência da granulometria que compõe a massa da parede para a perda de transmissão sonora. Nessa parede não foi usado material de revestimento final.

As argamassas industrializadas possuem aditivos em suas massas, que podem vir a contribuir para as perdas de transmissão sonora das paredes ensaiadas, como referido no Capítulo 2, na Revisão Bibliográfica.

Os aditivos adotados nas massas de chapisco, emboço e reboco – em questão nessa pesquisa, são apenas os retentores de água, incorporadores de ar e polímeros. Encontram-se dispostos da seguinte forma: no chapisco, há retentor de água e polímero na mistura da massa; no emboço massa média, há incorporador de ar; no emboço massa grossa, há incorporador de ar e retentor de água; e o reboco – massa fina, é a única parte que não contém aditivo na sua composição, isso devido a sua função meramente estética, que prepara a parede para receber o revestimento – tinta ou textura, etc.

### 3.4.1 Descrições detalhadas dos elementos ensaiados

Em cada uma das paredes estudadas, após a colocação de uma camada de revestimento era realizada uma bateria de ensaios para verificar, passo-a-passo, a resposta da parede à isolamento sonora.

Considerou-se, na presente pesquisa, como *face externa* a Câmara de Emissão e como *face interna* a Câmara de Recepção.

#### 3.4.1.1 Parede A

A parede A foi submetida a um maior número de ensaios, pois através dela atingiram-se constatações que dispensaram a execução de alguns testes nas paredes subsequentes.

Foi através desses ensaios que se comprovou que o tempo de secagem da argamassa não se faz relevante, quando se trata da verificação da isolamento sonoro. A vida útil dos elementos ensaiados em laboratório é muito pequena, se comparada ao tempo de longevidade esperado para uma parede executada numa edificação. O tempo de cura de revestimentos de argamassas é importante pela questão de resistência e durabilidade, mas não se constitui em item relevante nos ensaios de isolamento acústica, quando se necessita apenas que se mantenham firmes até o término dos testes. Para essa primeira parede dispuseram-se 54 dias de envolvimento laboratorial, entre a construção de camadas e os ensaios.

A parede A não foi construída especialmente para esse trabalho, uma vez que já havia sido utilizada em outros ensaios. Com ela objetivava-se estudar a questão do tempo de cura das argamassas, descobrir a influência da duplicação da camada de reboco (massa fina) e, também, da tinta para a isolamento sonora de uma parede de alvenaria estrutural.

Para tanto, após a aplicação das camadas nas faces externas e internas de argamassa, voltou-se a face externa da parede para executar mais uma esbelta camada de reboco com o auxílio de uma fina película de textura para se conseguir aderência. O propósito do ensaio era tentar, com a nova película, um alisamento ainda maior da parede e também o fechamento dos poros, o que poderia influir na performance acústica. A superfície se tornaria mais refletora. As camadas de tinta também fortalecem esse propósito.

Para uma compreensão mais detalhada, o cronograma de ensaios da parede A é apresentado na tabela 3.

Tabela 03 – Cronograma de ensaios da parede A

Ensaio	Estágio da Parede	Esquema das Etapas de Ensaio
A1	parede em osso - 3 dias	
A2	parede em osso - 7 dias	
A3	parede com emboço 2cm + reboco 2mm na face externa - 3 dias	
A4	ensaio 7 dias	
A5	emboço 1,5cm + reboco 2mm na face interna - 3 dias	
A6	ensaio aos 7 dias	
A7	camada delgada de chapisco + 2ª camada de reboco na face externa da parede 2mm - 3 dias	
A8	ensaio 7 dias	
A9	aplicação de 1ª demão de tinta	
A10	aplicação de 2ª demão de tinta	

#### 3.4.1.2 Parede B

A segunda parede possui a metodologia bem mais compacta que a primeira, devido à análise dos resultados obtidos nos ensaios da Parede A, onde verificou-se que as paredes a três dias de secagem, apresentam índices de redução sonora praticamente idênticos aos das paredes com sete dias de cura da argamassa. Na segunda e na terceira paredes, portanto, só foram executados ensaios aos três dias.

Também se percebeu que a duplicação da camada de reboco não atingiu resultados relevantes. Isso fez com que não fosse necessária sua aplicação nos demais estudos.

A parede B foi especialmente construída para esse ensaio e recebeu chapisco, emboço e reboco. Aqui se continuou a utilizar a argamassa média para emboço e a fina para reboco. Por fim, foi aplicada uma demão de textura na face externa. Dispuseram-se 23 dias para os ensaios de laboratório, divididos entre execução da estrutura e testes acústicos, reduzindo-se o tempo despedido no estudo da parede A, que totalizou 54 dias.

A tabela 5 explica, detalhadamente, o cronograma de ensaios adotado.

Tabela 04 – cronograma de ensaios da parede B

Ensaio	Estágio da Parede	Esquema das Etapas de Ensaio
B1	parede em osso - 3 dias	
B2	parede com chapisco 5mm, emboço 2cm + reboco 2mm na face externa - 3 dias	
B3	parede com chapisco 5mm, emboço 1,5cm + reboco 2mm na face interna - 3 dias	
B4	aplicação de camada de textura na face externa da parede	

### 3.4.1.3 Parede C

A parede C foi construída no laboratório, com blocos e dimensões semelhantes ao da parede B, mas difere-se por apresentar na camada de emboço a argamassa grossa. Além da já conhecida alteração nas propriedades da massa, pelos diferentes tipos de aditivos agregados a ela, também há uma distinção quanto à granulometria dos grãos da areia empregados na mistura. Isso faz com que a massa fique mais porosa e mais densa, o que poderia interferir no desempenho acústico da parede. Para essa parede, não foi adotado revestimento final e a tabela 6 mostra o cronograma de ensaios realizado.

Tabela 05 – Cronograma de Ensaios da Parede C

Ensaio	Estágio da Parede	Esquema das Etapas de Ensaio
C1	parede em osso - 3 dias	
C2	parede com chapisco 5mm, emboço 2cm + reboco 2mm na face externa - 3 dias	
C3	parede com chapisco 5mm, emboço 1,5cm + reboco 2mm na face interna - 3 dias	

### 3.5 Os equipamentos utilizados nos testes

Para se efetuarem as medições nas câmaras foram utilizados os seguintes equipamentos: medidor integrador de nível sonoro (BLUE SOLO 01, com número de série 60266 da 01 dB – Metravib), calibrador acústico, fonte sonora (Sound Source 4224, com número de série 1491240), higro-termômetro para medir temperatura e umidade relativa do ar e, ainda, um computador portátil. A figura 26 mostra os equipamentos utilizados.

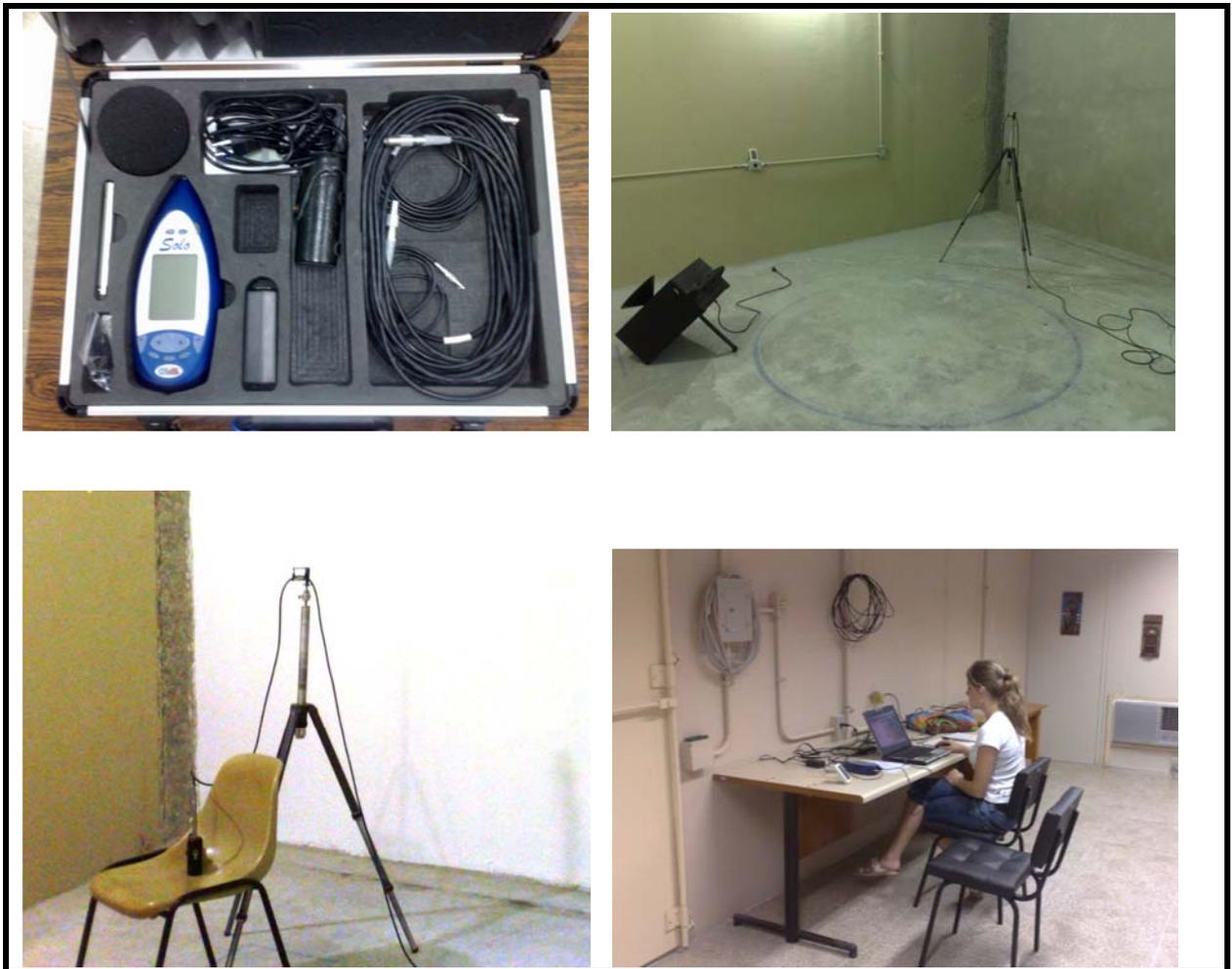


Figura 21 – Equipamentos usados para as medições

### 3.6 Posicionamento dos equipamentos

Segundo a Norma ISO 140 – parte 3, a fonte sonora deve ser posicionada sempre de frente para o canto das paredes, para gerar maior excitação dos modos da sala. A distância mínima é de 1 metro para cada superfície de parede.

A figura 13 mostra uma situação de posicionamento dentro das câmaras, para um ensaio de transmissibilidade. A fonte é posicionada na câmara de emissão, trocando duas vezes de local. O microfone é colocado na câmara de recepção, sendo alternado 5 vezes de local.

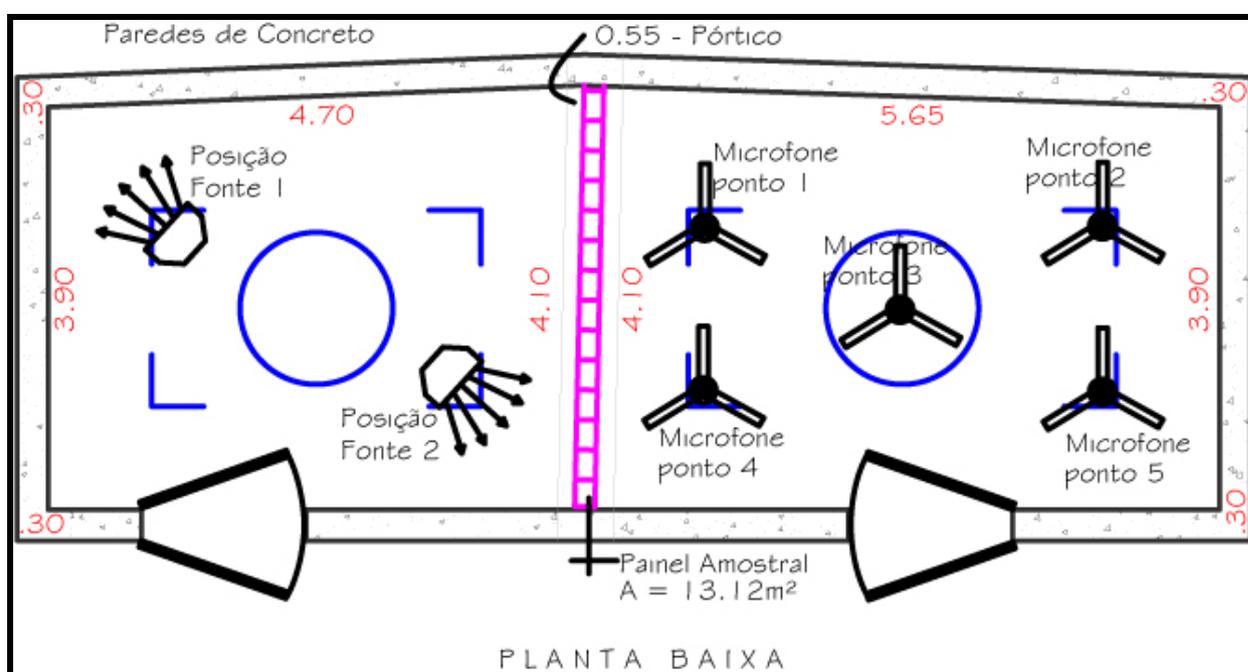


Figura 22 – esquema de ensaio.

### 3.7 Roteiro de Ensaio

Para a determinação do Índice de Redução Sonora (R), que segue a parte 3 da ISO 140, é necessário seguir um passo – a – passo que pode ser descrito da seguinte maneira:

- a- efetuar a calibração do microfone – Ela deve estar sempre em 94 dB;
- b- configurar o programa de apoio – instalado no computador portátil – selecionando as opções de acordo com a medição a ser realizada.
- c- gerar o ruído e medir o nível de pressão sonora (NPS1) na câmara de emissão;

d - medir o nível de pressão sonora (NPS2) na câmara de recepção, a partir do ruído gerado na câmara de emissão;

e - medir o tempo de reverberação (TR) na câmara de recepção;

f - medir o ruído de fundo (RF) na câmara de recepção.

O presente capítulo apresenta e discute os resultados laboratoriais obtidos através de experimentos realizados em três paredes de alvenaria estrutural revestidas com diferentes tipos de argamassas. Os testes foram realizados nas câmaras reverberantes do laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria e obedeceram aos procedimentos exigidos pela normativa que rege os ensaios laboratoriais: ISO 140, parte 3.

Para cada parede houve um cronograma específico de ensaios respeitando as abrangências da composição e explorando ao máximo suas características, conforme já foi explicado no capítulo 3 – Metodologia. As paredes receberam as nomenclaturas de parede A, parede B e parede C.

### 4.1 Parede A

A primeira parede ensaiada, por ser o marco inicial dessa pesquisa, mostrou-se a mais complexa e com maior gama de informações fazendo-se determinante na definição dos procedimentos adotados nas demais paredes testadas. Foi através dela que se obtiveram importantes confirmações de tempo de cura da argamassa bem como as respostas de isolamento da massa aplicada na parede. Os ensaios apresentaram resultados interessantes os quais serão descritos de forma detalhada no decorrer desse capítulo.

#### 4.1.1 Os ensaios

A primeira pauta dos ensaios com a parede A foi a de descobrir qual a influência real do tempo de secagem da argamassa para fins de isolamento sonora, em testes de laboratório.

Como já foram citados anteriormente nessa dissertação, outros pesquisadores já desafiaram os tempos de cura exigidos em canteiro de obras, ousando, em laboratório, adquirir resposta positiva da parede e da massa aplicada a ela quanto ao desempenho de isolamento sonora. Da mesma forma, nessa pesquisa, testou-se o desempenho da parede

aos 3 dias de cura da argamassa, reduzindo pela metade o menor tempo já confirmado como seguro para ensaios experimentais, que era o de 7 dias.

Para garantir confiabilidade à pesquisa, todos os ensaios envolvendo a parede A foram testados tanto aos 3 quanto aos 7 dias de cura da argamassa, gerando assim, critérios de comparação das curvas resultantes.

#### 4.1.1.1 Ensaios com a parede em osso aos 3 e aos 7 dias (A1 e A2)

O primeiro ensaio realizado foi desenvolvido com a parede em osso, ou seja, apenas a alvenaria levantada com argamassa de assentamento e sem nenhum tipo de revestimento.

Como já foi explicado, no capítulo 3 - Metodologia, para os estudos realizados com a parede A, aproveitou-se uma parede construída anteriormente no laboratório. A figura 23 mostra o bloco adotado para a primeira parede e a parede executada.



Figura 23 – blocos de alvenaria estrutural nas dimensões 190x190x290 mm e parede executada

A figura 24, mostra o comportamento do Índice de Redução Sonora (R) dado em dB, em função da frequência, para a parede testada, em osso, aos 3 e aos 7 dias de secagem. (A1 e A2)

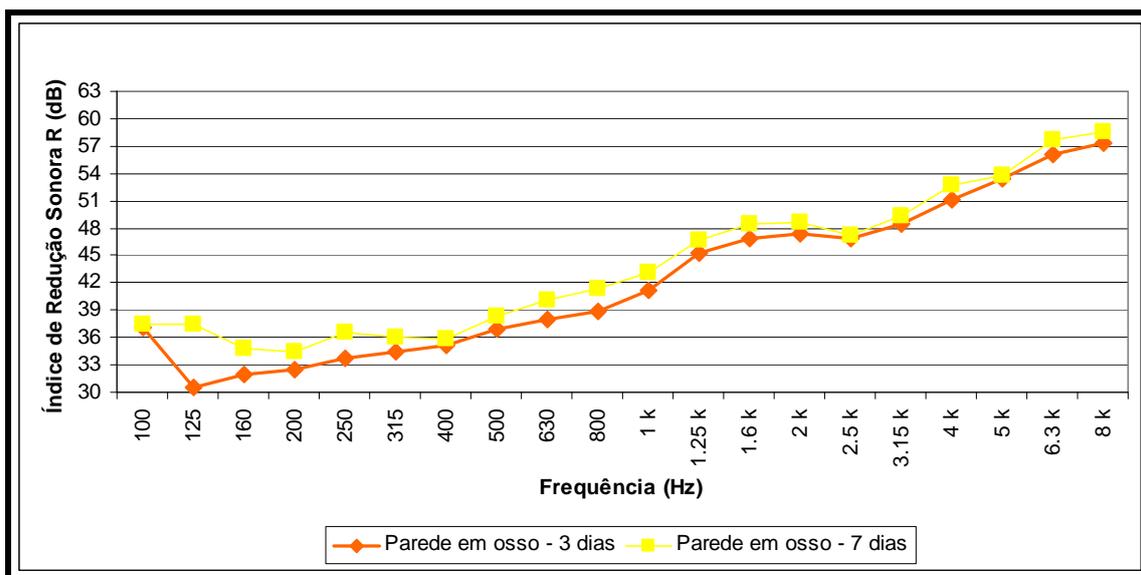


Figura 24 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria em osso aos 3 e 7 dias de cura da argamassa

Nesse estágio da parede, ainda sem cobertura alguma, foi encontrada a maior diferença de desempenho entre os ensaios aos 3 e aos 7 dias, podendo-se notar que a parede com maior tempo de cura (A2), oferece um desempenho mais favorável quanto à isolamento sonora principalmente nas bandas de frequência de 125 Hz até 315 Hz, onde a diferença fica em torno de 3 decibéis. Nas faixas de frequência que variam de 315 Hz à 2 kHz, a diferença na isolamento é atenuada variando em média 1,5 dB em cada frequência. A partir de 2,5 kHz, observa-se uma redução da diferença de performance para em torno de 1 dB.

O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  dessa estrutura ficou em 42 dB para a parede com cura de 3 dias e 43 dB para a parede aos 7 dias de secagem, reforçando a pequena variância de isolamento entre elas, considerando que o  $R_w$  é um valor único que pondera a curva de isolamento, entre 100 e 3150 Hz.

Por se tratar de uma parede espessa, pode-se observar que o comportamento da isolamento sonora ocorre semelhante à curva encontrada por Paixão (2002), explicada no item 2.7, dentro do capítulo 2 – Revisão de Literatura – da presente dissertação. O desempenho sonoro da parede sofre duas nítidas quedas de isolamento: uma nas baixas frequências, caracterizando a frequência de coincidência e uma nas altas frequências, caracterizando a frequência de ressonância devido à espessura da parede.

Na figura 24, exposta acima, a frequência de coincidência para a parede aos 3 dias de cura está situada na região de coincidência de 125 Hz, correspondendo ao

menor valor de redução sonora da parede aproximado de 30,5 dB. Os resultados da parede com 7 dias de secagem apresentam uma região de coincidência de 200 Hz com valor aproximado de 34,8 dB. A partir dessa queda, até a próxima, há a região controlada pela rigidez e amortecimento, que faz com que a isolação sofra uma crescente melhora. A outra diminuição na isolação da parede, que caracteriza a frequência de ressonância resultante de sua espessura, ocorre em 2,5 kHz com a marca de 46,5 dB de isolação para ambos os estágios de secagem da parede. E, então, novamente a estrutura começa a sofrer melhoras notáveis de performance acústica.

Quando comparados os dois momentos de menor isolação impressos na figura 24, é possível determinar que entre as frequências de coincidência e de ressonância da parede, o gráfico apresenta-se com curva ascendente de melhora de isolação em média 4,3 dB para a parede em osso aos três dias. A partir da segunda queda na isolação sonora da parede (frequência de ressonância pela espessura), o acréscimo gerado, a cada duplicação de frequência, é mais intenso, provocando um incremento de, em média, 6,8 dB de isolação para cada duplicação da frequência. Logo, a curva de isolação apresenta-se mais ascendente a partir de 2,5 kHz de frequência.

#### 4.1.1.2 Ensaios com a parede revestida na face externa aos 3 e aos 7 dias (A3 e A4)

Após o término dos ensaios com a parede em osso, iniciaram-se os procedimentos para o revestimento da parede em sua face externa. Para essa parede foi adotada a argamassa média para emboço, com 2 cm de espessura e a argamassa fina para reboco com 2 mm de cobertura. Optou-se pelo não uso da camada de chapisco, para essa parede. A figura 25 mostra a aplicação de camada de emboço com o auxílio de mestras e a parede com face externa emboçada e rebocada.



Figura 25 – Parede revestida na face externa (A3)

A figura 26 mostra o desempenho da parede quando testada aos 3 e aos 7 dias, após o revestimento da face externa. Analisando esse gráfico pode-se dizer que a partir do momento em que se aplica a argamassa na parede, a isolação fica muito semelhante independentemente do tempo de cura da mistura, eliminando as diferenças geradas para os estudos de comparação com a parede em osso. As linhas praticamente se sobrepõem no gráfico.

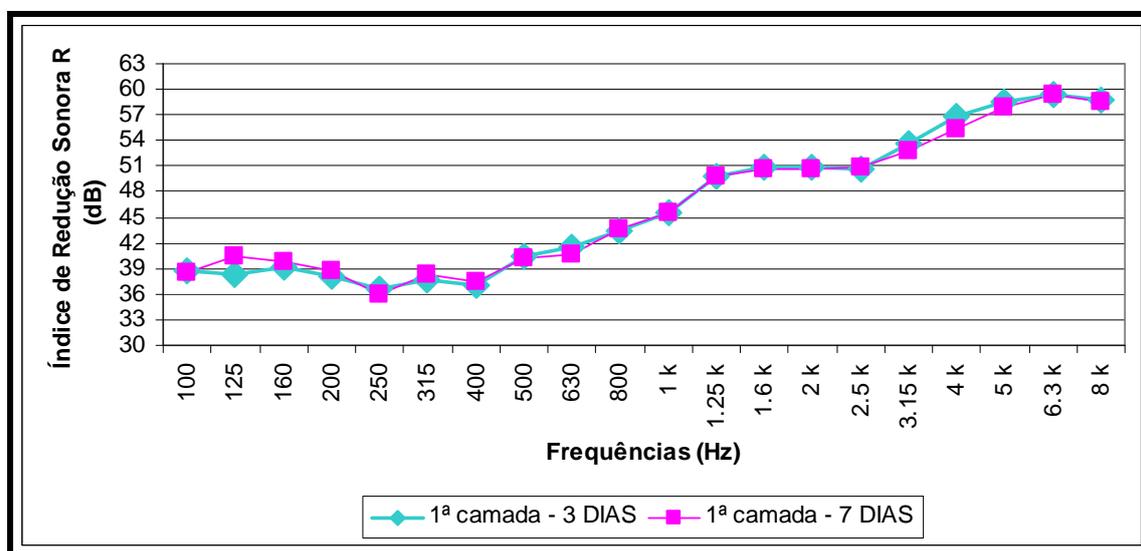


Figura 26 – Índice de Redução Sonora para a parede de alvenaria revestida em sua face externa

O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  dessa parede está em 45 decibéis tanto para os 3 quanto para os 7 dias de cura da argamassa e, vem para validar as afirmações geradas através de estudo minucioso de cada frequência plotada na figura.

A frequência de coincidência e a de ressonância de espessura ficam situadas em pontos semelhantes em ambas as curvas, estando a primeira na região de coincidência de 250 Hz e a segunda na banda de frequência de 2,5 kHz com valores respectivos de aproximadamente 35,9 e 50,8 dB.

#### 4.1.1.3 Ensaios com a parede revestida na face externa e interna aos 3 e aos 7 dias (A5 e A6)

Para os testes com a parede revestida nas duas faces, foi aplicada, na face interna da parede, uma camada de emboço – massa média, na espessura de 1,5 cm e em seguida, 2 mm de reboco – massa fina.

A figura 27 confirma o mesmo desempenho observado pela parede no ensaio com revestimento apenas na face externa (A3 e A4). A plotagem dos resultados obtidos em 3 e em 7 dias, se sobrepõem em linhas com curvaturas muito semelhantes.

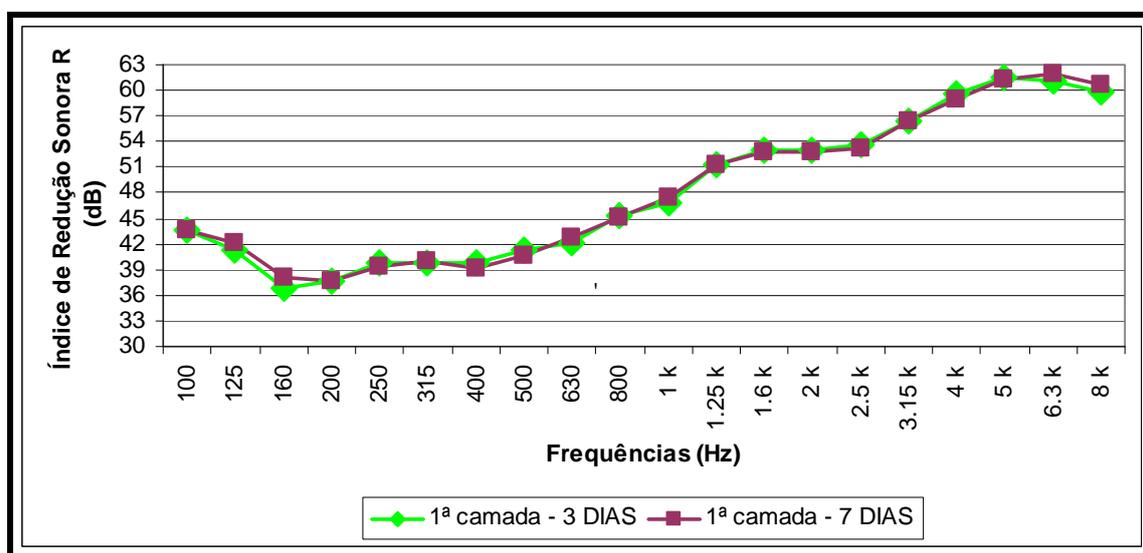


Figura 27 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria revestida com argamassa em ambas as faces

O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  ficou com isolamento igual a 47 dB para ambos os dias de secagem da argamassa, garantindo, mais uma vez, a confiabilidade dos 3 dias, como tempo eficaz de cura para ensaios de desempenho acústico de uma parede de alvenaria estrutural revestida de argamassa.

A frequência de coincidência desse ensaio encontra-se na região de coincidência de 200 Hz, tendo seu valor em aproximadamente 38 dB. A frequência de ressonância de espessura mais uma vez está em 2,5 kHz e o valor em dB é de 53,6.

#### 4.1.1.4 Ensaio com aplicação de segunda camada de reboco sobre a primeira face, aos 3 e aos 7 dias (A7 e A8)

Nesse estágio da pesquisa, verificou-se o desempenho da parede ao receber o acréscimo de mais uma esbelta camada de reboco, testando a capacidade de isolamento gerada através do maior fechamento dos poros e alisamento da superfície em estudo, ocasionado pela camada adicional de reboco com 2 mm de espessura. Da mesma forma, para esse estágio, a parede foi testada tanto aos 3 quanto aos 7 dias de cura e mais uma vez comprovada que aos 3 dias, a eficácia para ensaios acústicos já está garantida.

Para todos os gráficos gerados, a partir do momento em que se começa a adotar argamassa sobre as faces da parede, nota-se que as curvas de resultados se comportam de modo extremamente semelhante, variando apenas nas baixas frequências, situadas na região da coincidência, abaixo de 250 Hz. Nesse ensaio, o mesmo pode ser observado uma vez que a parede possui desempenho muito parecido em quase todas as frequências ao longo da análise de isolamento, conforme apresenta a figura 28.

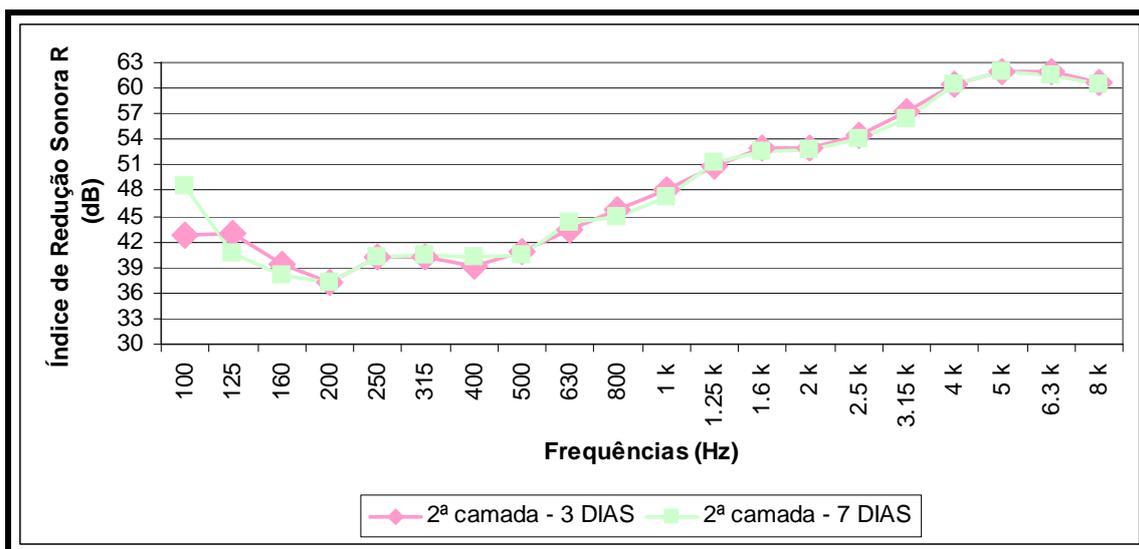


Figura 28 – Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria revestida com segunda camada de reboco na face externa

O valor único do gráfico – Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  – mais uma vez aparece igual para ambos os tempos de cura da parede, estando fixado em 47 decibéis.

Para esse ensaio a frequência crítica da parede ficou na região de coincidência de 200 Hz com valor de R aproximado de 37,2 decibéis de isolamento. A frequência de ressonância da espessura caiu para 2,0 kHz e ficou com valor de R igual a 52,7 dB.

#### 4.1.1.5 Ensaio com aplicação de uma e duas demãos de tinta na face externa da parede (A9 e A10)

Para esse estágio do trabalho, aplicaram-se duas demãos de tinta na face externa da parede, ensaiando-se, primeiramente, com uma demão e, em seguida, com as duas. A figura 29 representa esse estágio.



Figura 29 – Parede com 2 demãos de tinta em sua face externa – câmara de emissão

Através do gráfico de comportamento gerado nessa última etapa de ensaios com a parede A, afirma-se conclusivamente que em nenhum dos estágios, houve diferenças significativas envolvendo o tempo de secagem do material aplicado ao conjunto parede, de acordo com o que ilustra a figura 30.

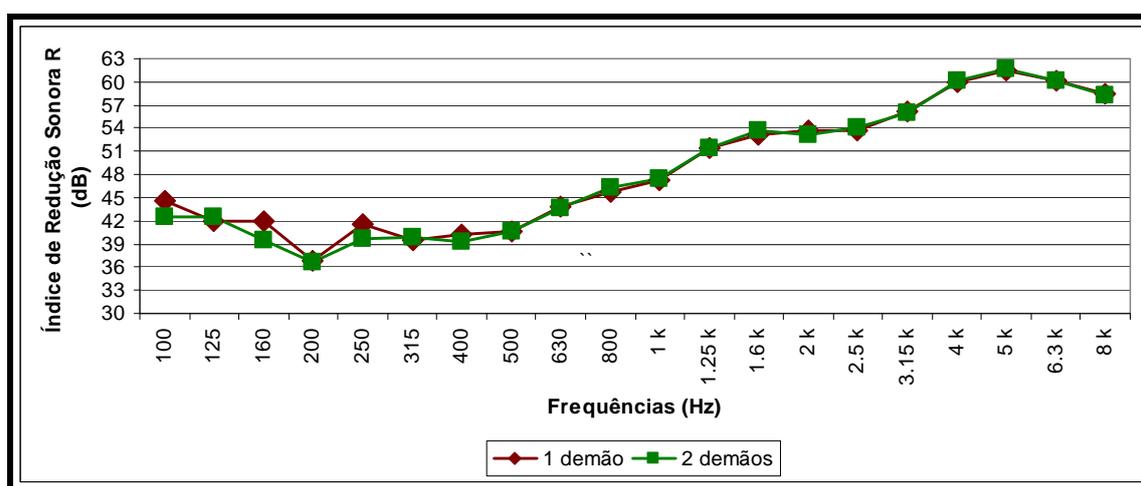


Figura 30: Índice de Redução Sonora para parede de alvenaria revestida com argamassa e com duas demãos de tinta em sua face externa

A interferência das camadas de tinta foi irrelevante e não apresentou diferenças de comportamento entre os ensaios realizados com uma e duas demãos de tinta. O

Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$ , permaneceu o mesmo já expresso no gráfico anterior para ambas as curvas: 47 dB.

A frequência de coincidência foi encontrada na região de coincidência de 200 Hz e a frequência de ressonância voltou a situar-se em 2,5 kHz.

#### 4.1.2 Análises gerais relativas ao tempo de secagem

Tendo em vista todos os resultados obtidos para essa primeira parede estudada e comparando todos eles através de gráficos diretos quanto aos 3 e aos 7 dias, pode-se afirmar que o tempo de secagem não exerce influência quanto à capacidade de isolamento acústica de uma parede de alvenaria, podendo-se adotar, sem receios, para maior agilidade laboratorial, o tempo de 3 dias de cura das misturas de argamassa aplicadas às paredes.

Observou-se que para as baixas frequências houve pequenas diferenças de performance, devido à região de coincidência e a frequência de corte das câmaras reverberantes.

De acordo com as análises realizadas em cada gráfico, encontram-se as frequências de coincidência e de ressonância da espessura da parede para cada ensaio.

#### 4.1.3 Comparações entre os ensaios da parede A

As análises e comparações realizadas quanto aos incrementos nos valores dos Índices de Redução Sonora ( $R$  e  $R_w$ ) foram realizadas considerando-se os 3 dias de cura, que correspondem a mesma quantidade de tempo adotada para os ensaios das paredes seguintes (B e C).

##### 4.1.3.1 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com revestimento externo (A3)

A figura 31 mostra os incrementos encontrados na isolamento de uma parede de alvenaria quando a ela é acrescida uma camada de revestimento na face externa. A melhoria é notória e gira em torno de 3 decibéis.

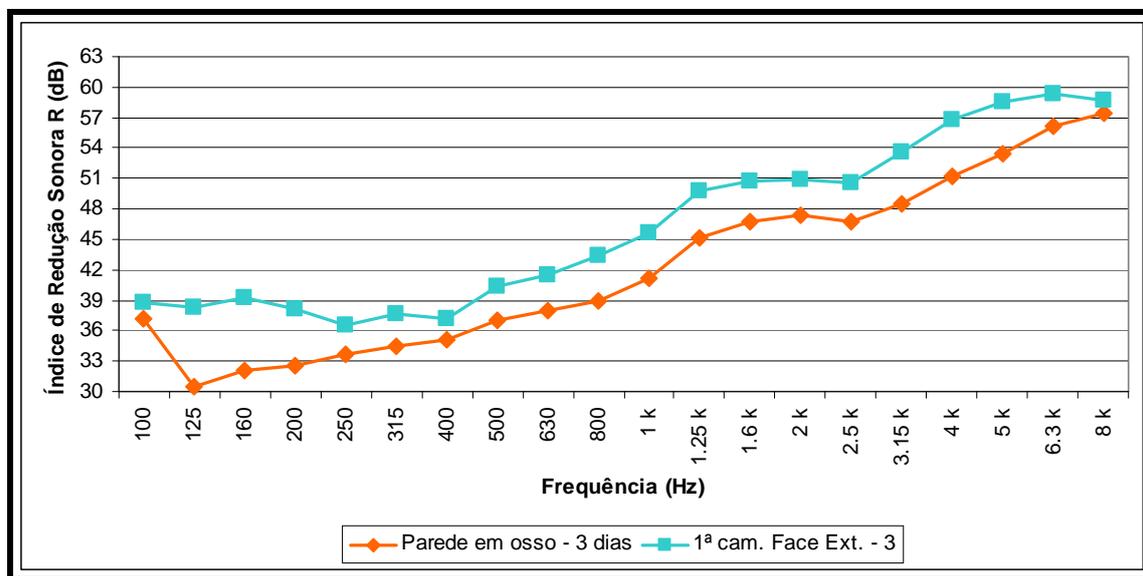


Figura 31 – Índice de Redução Sonora da parede com a face externa revestida em comparação com a parede em osso.

Observando as curvas resultantes, nota-se que com a aplicação de massa na face externa da parede, a frequência de coincidência sofreu um deslocamento da região de coincidência de 125 Hz para a região de 250 Hz. Entende-se que tais mudanças ocorrem, uma vez que a “estrutura parede” foi modificada e com ela suas propriedades, como espessura, densidade e módulo de elasticidade.

#### 4.1.3.2 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com revestimento externo e interno (A5)

Quando revestida internamente, pode-se observar na figura 32 que a parede A3 (só revestimento externo) recebe um incremento de 2 dB, totalizando um ganho em torno de 5 dB para todas as frequências, quando comparada do formato A1 (em osso) para o A5 (revestimento em ambas as faces).

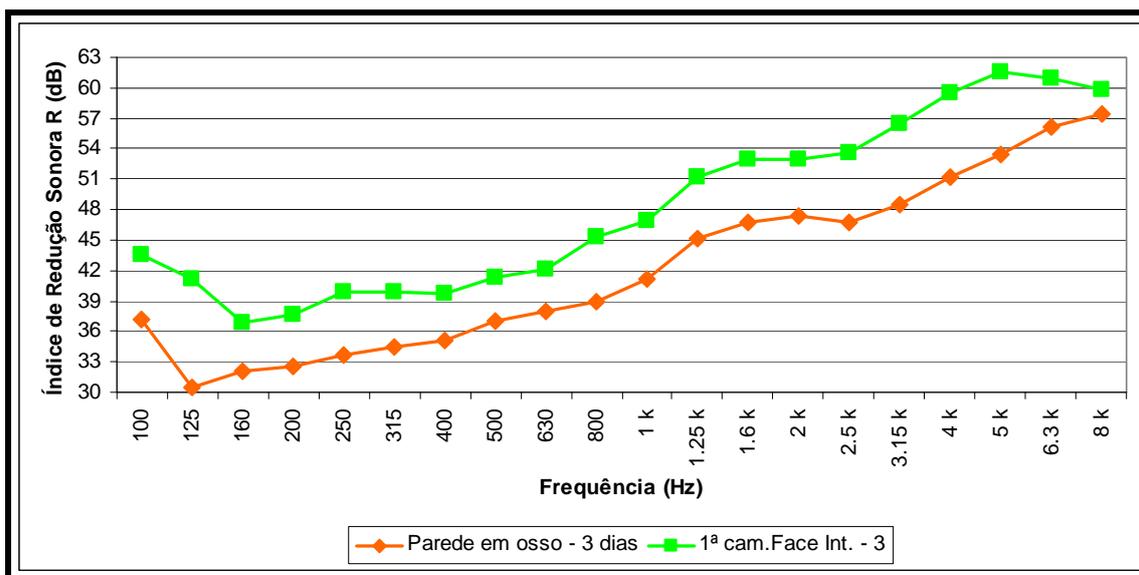


Figura 32 – Índice de Redução Sonora da parede com as faces externa e interna revestidas em comparação com a parede em osso.

Com a nova camada de revestimento, dessa vez na face interna da parede, há, outra vez, o deslocamento da frequência crítica. Antes ela encontrava-se situada na região de coincidência de 250 Hz de frequência, agora, com a camada interna, situa-se na região de 200 Hz.

#### 4.1.3.3 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com a segunda camada de reboco sobre a face externa (A7)

Com o uso da segunda camada sobre a face externa da parede, não se obteve ganhos muito significativos em decibéis podendo-se notar incrementos inferiores a 1 dB em algumas frequências, quando comparada à parede no estágio anterior (A5).

A figura 33 ilustra o ganho em dB da parede A7 em relação a A1.

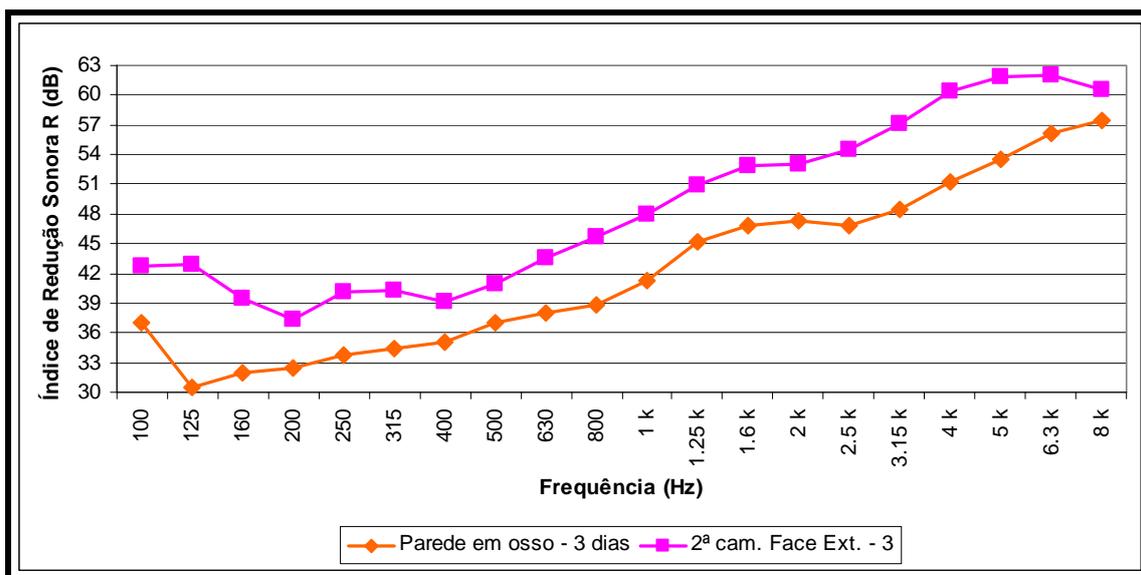


Figura 33 – Índice de Redução Sonora da parede com aplicação de segunda camada de reboco na face externa em comparação com a parede em osso.

Novamente pode-se ressaltar que a frequência de coincidência permanece sempre entre as bandas mais baixas de frequência. Nesse caso, situando-se na banda de 200 Hz.

#### 4.1.3.4 Comparação dos resultados entre parede em osso (A1) e parede com as duas demãos de tinta (A10)

A delgada camada de tinta não remete a nenhum ganho em decibéis para o conjunto da parede, conforme mostra a figura 34, onde estão plotadas as curvas relativas à parede em osso (A1) e às paredes com os acabamentos A7 e A10.

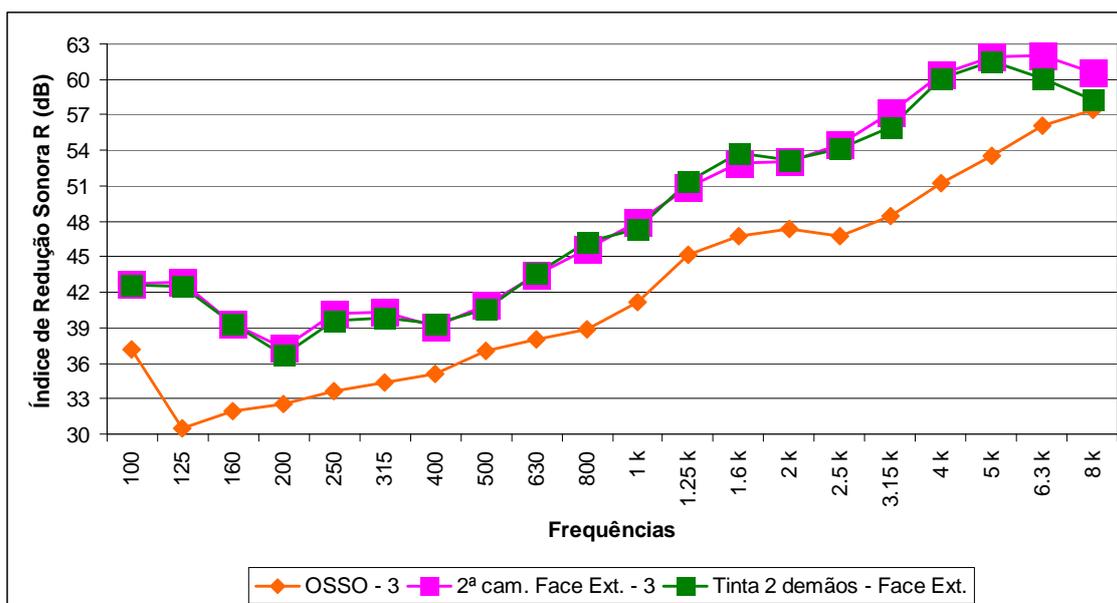


Figura 34 – Índice de Redução Sonora da parede com aplicação de duas demãos de tinta na face externa em comparação com a parede em osso.

#### 4.1.4 Análises gerais relativas à isolamento da parede A nos diferentes estágios

Ao observar o Índice de Redução Sonora da parede ao longo dos ensaios, pode-se afirmar que os maiores incrementos em isolamento acústica se dão nas primeiras aplicações de camadas de argamassas nas faces interna e externa da parede. A partir de então, os novos testes imprimem pouca contribuição para o aumento do índice R, principalmente, quando acrescentadas à parede a segunda camada de reboco na face externa e as duas demãos de tinta.

A figura 35 apresenta os incrementos gerados para cada evolução da parede, onde (A3-A1) simboliza as diferenças nos valores do índice R, para cada banda de frequência, entre a parede com uma camada de argamassa na face externa (A3) e a parede em osso (A1). A diferença do índice R obtida entre a parede com as duas faces revestidas de argamassa (A5) e com apenas a face externa argamassada (A3) foi representada por (A5-A3). A diferença (A7-A5) refere-se aos valores do índice R gerados entre a parede com segunda camada de argamassa na face externa (A7) e com as duas faces revestidas (A5). Os valores detalhados de cada situação são mostrados na tabela 6.

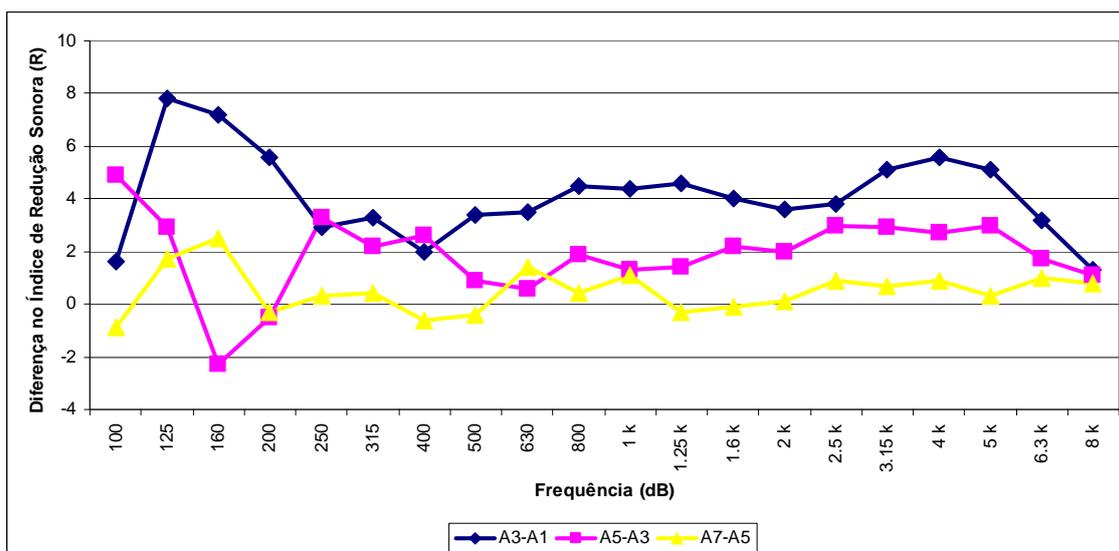


Figura 35 – Diferença no Índice de Redução Sonora (R) para diferentes estágios da parede A

Tabela 06 - resultados numéricos das diferenças para a parede A

Frequência Hz	A3-A1 dB	A2 dB	A3 dB
100	1,6	4,9	-0,9
125	7,8	2,9	1,7
160	7,2	-2,3	2,5
200	5,6	-0,5	-0,3
250	2,9	3,3	0,3
315	3,3	2,2	0,4
400	2	2,6	-0,6
500	3,4	0,9	-0,4
630	3,5	0,6	1,4
800	4,5	1,9	0,4
1 k	4,4	1,3	1,1
1.25 k	4,6	1,4	-0,3
1.6 k	4	2,2	-0,1
2 k	3,6	2	0,1
2.5 k	3,8	3	0,9
3.15 k	5,1	2,9	0,7
4 k	5,6	2,7	0,9
5 k	5,1	3	0,3
6.3 k	3,2	1,7	1
8 k	1,3	1,1	0,8

Com a análise da figura 35, pode-se observar que os maiores ganhos em dB estão para as diferenças encontradas entre a parede na situação A3 (parede revestida na face externa) em relação a parede A1 (em osso) obtendo-se uma média de incremento de 4,4 dB de isolamento para as frequências entre 250 e 2500 Hz. Quando se compara a parede A3 com a A5 (parede revestida em ambas as faces), observa-se um incremento de em média 1,89 dB. Já para o último caso de comparação da parede, entre A5 e A7 (adicionada a segunda camada de reboco na face externa) nota-se um incremento de menos de 1 dB como média em todas as frequências da curva de isolamento.

Assim, analisando-se os gráficos referentes às diferenças de incremento de isolamento e os gráficos de comportamento da isolamento em cada um dos estágios da parede, constata-se que nesse tipo de parede estudada há um incremento de, em média, 5 dB, apenas com a aplicação das camadas interna e externa de revestimento, como é o caso da parede A5.

## **4.2 Parede B**

Os estudos com a parede B têm como principais desafios, testar um bloco diferente do utilizado na parede A e inserir uma camada a mais nas composições de argamassas aplicadas às faces da estrutura: o chapisco.

### **4.2.1 Os ensaios**

Os ensaios relativos à parede B podem ser resumidos em quatro etapas: B1(parede em osso), B2 (revestimento externo), B3 (revestimentos externo e interno) e B4 (textura na face externa). A figura 36 mostra os diversos estágios da parede em estudo.



Figura 36 – Evolução da parede de acordo com os ensaios: parede em osso, revestimento na face externa, revestimento na face interna e textura na face externa.

#### 4.2.1.1 Parede em osso

A parede B inicia seus ensaios diferindo-se da parede A por ter sido construída com um bloco diferente. Nesse estudo, por razões de não mais encontrar a disposição no mercado o bloco adotado anteriormente, optou-se pelo bloco de alvenaria estrutural nas dimensões 140x190x290 mm. A figura 37 apresenta o bloco adotado.



Figura 37 – bloco de alvenaria estrutural nas dimensões 140x190x290 mm

#### 4.2.1.2 Comparação entre as paredes A e B em osso

Para que se possa compreender as diferenças geradas nos ensaios devido ao uso de blocos de alvenaria estrutural com espessuras distintas, a figura 38 mostra o desempenho de cada um deles, para as paredes em osso:

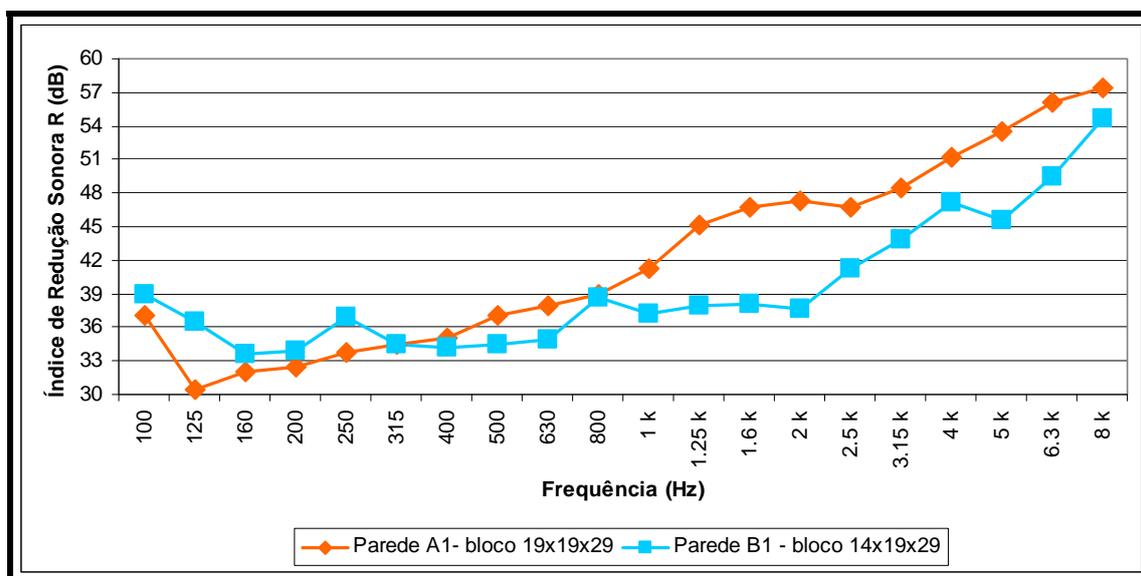


Figura 38 – Comparação do desempenho das paredes A1 com bloco 190x190x290mm e B1 com bloco 140x190x290 mm

Observando o gráfico, pode-se perceber que o bloco de menor espessura, possui um desempenho inconstante quando comparado com a parede constituída com o bloco mais espesso.

De forma geral, quando analisados os comportamentos das curvas geradas através dos resultados medidos em laboratório, percebe-se que, para as frequências abaixo de 315 Hz, a parede B apresenta melhor desempenho acústico. Para as frequências de 315 Hz e 800 Hz, os índices pouco diferem. A partir da frequência de 400 Hz, a parede A apresenta comportamento mais favorável quanto ao índice de redução sonora.

As frequências de coincidência e de ressonância da espessura da parede B apresentam-se deslocadas em relação às encontradas na parede A, estando a primeira localizada na região de coincidência de 200 Hz, com valor aproximado de 34 dB e a segunda em 5 kHz, marcando 45,6 dB de isolamento.

Quanto ao Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$ , encontra-se para a parede B o valor de 38 dB, enquanto que para a parede A, o índice é de 42 dB.

#### 4.2.1.3 Parede com revestimento externo (B2)

Após o término dos ensaios com a parede em osso, iniciaram-se novamente os procedimentos para o revestimento da parede em sua face externa. Para essa parede foram adotadas as mesmas argamassas da parede A, porém, antes da aplicação da argamassa média de emboço, usou-se o chapisco para a preparação da parede.

Analisando o comportamento da parede após ter recebido revestimento em sua face externa em comparação com a parede despida de revestimentos, pode-se concluir que o revestimento além de melhorar a Perda de Transmissão sonora da parede, ainda foi responsável por torná-la menos vulnerável acusticamente, como ilustra a figura 39.

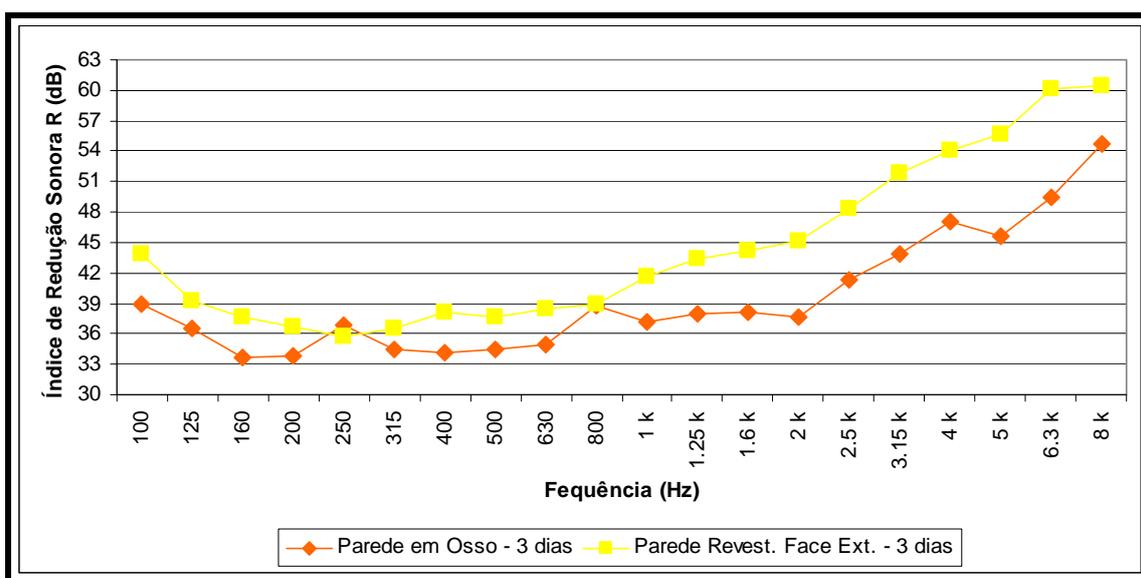


Figura 39: Índice de Redução Sonora da parede com a face externa revestida em comparação com a parede em osso.

Observa-se que a frequência de coincidência permaneceu na região de coincidência de 200 Hz, encontrada na parede em osso. Os gráficos apresentam valores muito semelhantes de isolamento para as frequências 250 e 800 Hz. Nas bandas de frequência situadas abaixo de 250 Hz, a parede revestida sofre incrementos de em média 3,6 dB em cada frequência. Entre as frequências de 315 Hz até 630 Hz os acréscimos no Índice de Redução Sonora se deram em média de 3,2 dB para cada frequência. A partir

de 1 kHz, os incrementos se deram, em média, de 7,2 dB quando comparadas as frequências diretamente.

O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$ , atingiu 42 dB. Quando comparado à parede em osso, obtém um ganho de 4 dB no valor único gerado para o gráfico, considerando as frequências de 100 até 3150 Hz.

#### 4.2.1.4 Comparação entre as paredes A e B com revestimento externo

Mesmo as paredes A e B tendo sido construídas com blocos diferentes, nota-se, através dos gráficos de comparação entre elas, mostrados na figura 40, que a curva de isolamento encontrada, após a parede B já estar revestida com argamassa na face externa, não ficou mais tão diferente, como quando comparadas as paredes A1 e B1 (em osso). A parede B revestida, mesmo tendo o bloco de espessura 5 cm menor que o bloco constituinte da parede A, obteve desempenho superior em todas as frequências abaixo de 250 Hz e acima de 2,5 kHz, chegando a valores próximos a 3 dB de diferença entre as curvas, nessas frequências. Nas demais frequências a diferença é pequena.

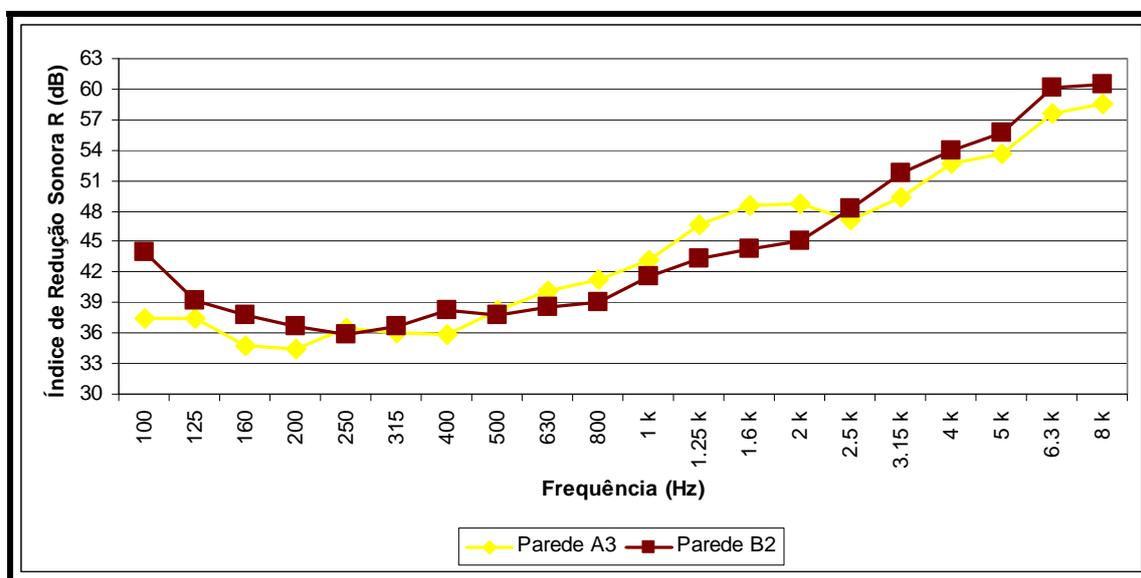


Figura 40 – Comparação entre o Índice de Redução Sonora da parede A revestida na face externa (A3) com a parede B no mesmo estágio (B2).

#### 4.2.1.5 Parede com revestimento externo e interno (B3)

Para os testes com a parede revestida nas duas faces, foi aplicada uma camada de chapisco com 5 mm de espessura, uma de emboço(massa média), na espessura de 1,5 cm e em seguida 2 mm de reboco(massa fina), na face interna da parede.

Quando analisada a figura 41, que mostra o gráfico da curva plotada para esse estágio da parede (B3), nota-se que ela possui desempenho segmentado em 3 partes. Primeiramente, para as frequências de 100 Hz até 250 Hz, que se caracteriza por ser a região crítica da parede e com a maior distorção dos valores encontrados, com um comportamento inferior à parede no estágio anterior (B2) e frequência de coincidência situada na região de 125 Hz. A partir da frequência de 315 Hz a parede sofre constante e crescente melhora quando comparada a parede em osso (B1). Quando analisada diante da curvatura plotada para a parede no estágio anterior (B2), nota-se que a ascendência maior dos valores de isolamento se encontra acima de 800 Hz de frequência, estando as curvas, para as frequências de 315 Hz até 800 Hz com um comportamento muito semelhante e sem ganhos significativos em dB.

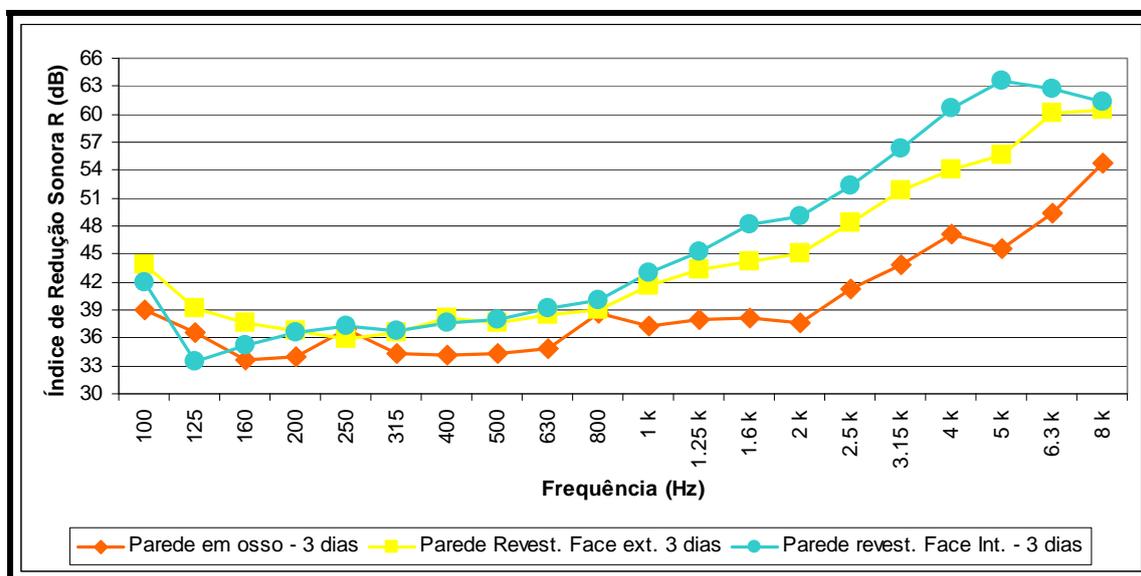


Figura 41 – Índice de Redução Sonora de comparação da parede nos estágios B1, B2 e B3.

O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  da parede revestida em ambas as faces é de 43 dB, apresentando melhora de 1 dB em relação a parede revestida apenas na face interna.

#### 4.2.1.6 Comparação entre as paredes A e B com revestimento externo e interno (A5 e B3)

Da mesma forma que se tentou criar uma analogia entre a parede A e B para o revestimento externo, faz-se agora para a camada de argamassa interna da parede.

Através dos dados gerados pelo gráfico de comparação entre as paredes A e B revestidas apenas na face externa, o gráfico representado na figura 42 mostra que a parede A continua apresentando um desempenho de em média 3 dB superior a parede B para as frequências entre 315 e 2000 Hz quando acrescida camada de argamassa também na face interna da parede. Nas bandas de frequência de 250, 315 e 400 Hz, as curvas plotadas para ambas as paredes (A e B) apresentam valores muito semelhantes. Acima de 2,5 kHz, a parede B apresenta-se 3 dB mais isolante do que a parede A.

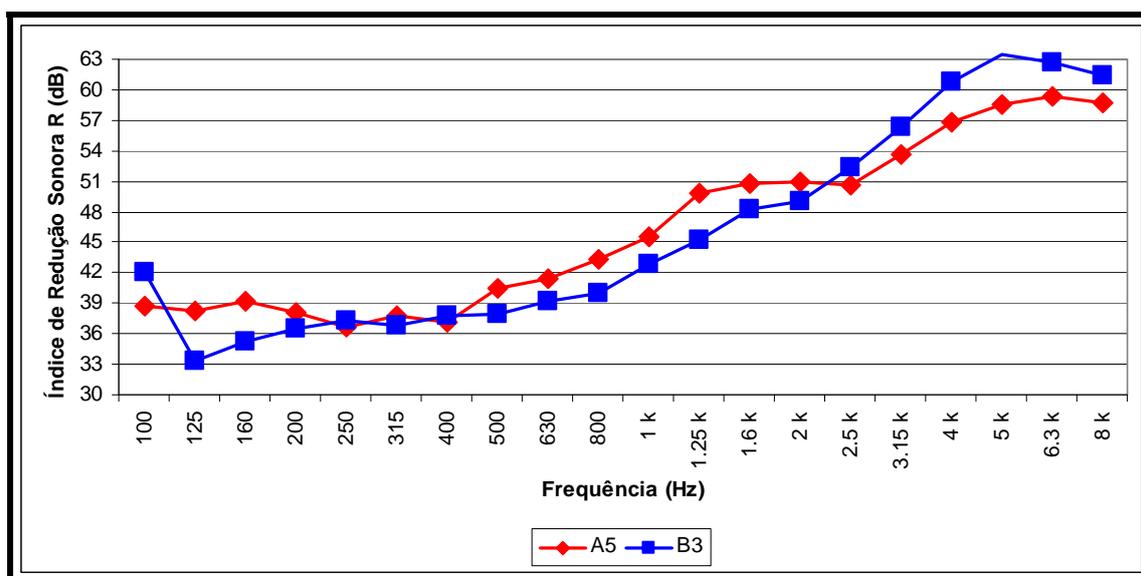


Figura 42 – Comparação entre o Índice de redução sonora da parede A revestida nas duas faces com a parede B no mesmo estúdio.

#### 4.2.1.7 Parede texturizada (B4)

A fim de testar mais um tipo de revestimento externo bastante adotado no mercado de trabalho e verificar suas contribuições quanto ao desempenho acústico de uma parede de alvenaria estrutural, fizeram-se experimentos com textura, aplicando-a sobre a face externa da parede.

Comparando os resultados plotados na figura 43 para a isolamento da parede revestida com camada de textura e sem ela, percebe-se que a modificação de valores, em decibéis, é mínima.

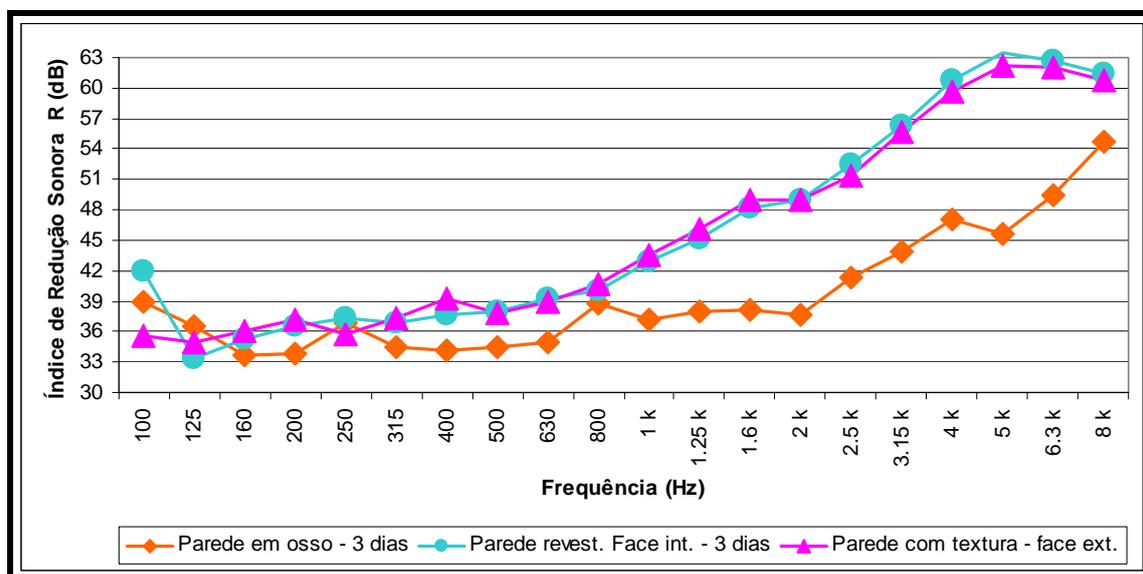


Figura 43 – Índice de Redução Sonora da parede com camada nos estágios B1, B3 e B4.

A textura foi escolhida por ser muito empregada em fachadas de edificações e, por ter uma camada um pouco mais espessa que a tinta e possuir ranhuras, tornando-se uma superfície menos lisa. Quando analisado o  $R_w$  da parede B4, nota-se um incremento de 1 dB em relação a parede B3, pois o valor obtido para a parede revestida e com textura (B4) foi de 44 dB.

#### 4.2.2 Análises gerais relativas à isolamento da parede B nos diferentes estágios

Analisando todo o desempenho da parede B estudada, conclui-se que o bloco de alvenaria estrutural nas dimensões 140x190x290 mm possui desempenho inferior quanto à isolamento sonora da parede, quando comparado ao bloco estudado na parede A. Porém, quando a ela são acrescentadas camadas de argamassa em ambas as faces, a curva do Índice de Redução Sonora se estabiliza, apresentando-se com crescentes melhoras de isolamento de acordo com o aumento das frequências.

Constata-se, também, que para fins de isolamento, o revestimento externo com textura, não se faz relevante, mantendo a curva de isolamento praticamente igual à curva

encontrada no ensaio anterior a sua aplicação. Porém, o Índice de Redução Sonora ponderado indica um acréscimo de 1 dB.

A Figura 44 apresenta os incrementos gerados para cada evolução da parede, onde (B2-B1) simboliza as diferenças nos valores do índice R, para cada banda de frequência, entre a parede com uma camada de argamassa na face externa (B2) e a parede em osso (B1). A diferença do índice R obtida entre a parede com as duas faces revestidas de argamassa (B3) com apenas a face externa argamassada (B2) foi representada por (B3-B2). Os valores detalhados de cada situação são mostrados na tabela 8.

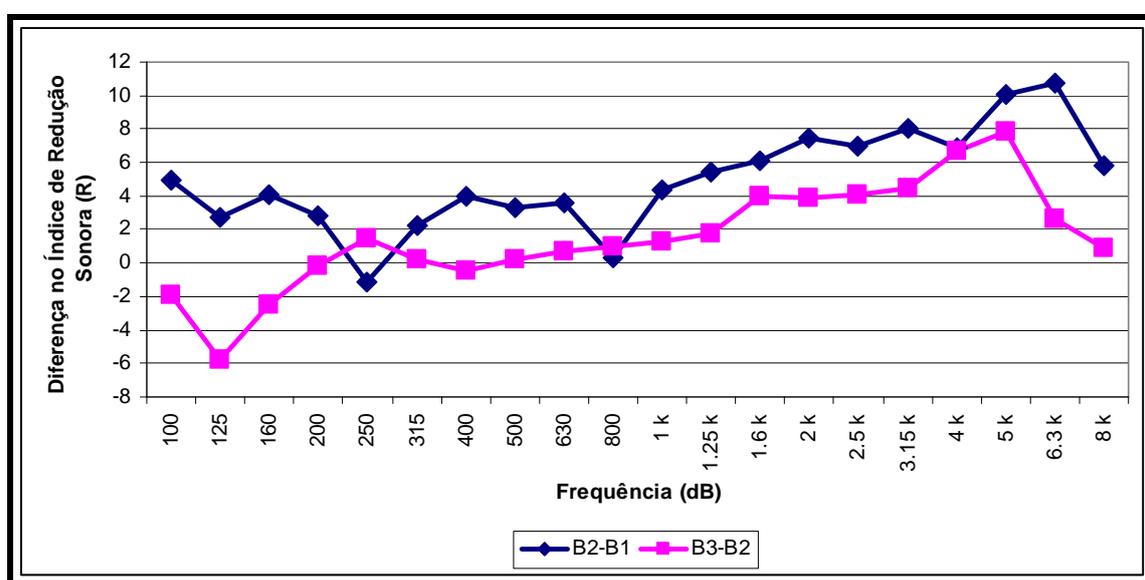


Figura 44 – Diferença no Índice de Redução Sonora (R) para diferentes estágios da parede B

Tabela 07 – Resultados numéricos das diferenças para a parede B

<b>Frequência</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
100	4,9	-1,9
125	2,7	-5,8
160	4,1	-2,5
200	2,8	-0,2
250	-1,1	1,5
315	2,2	0,2
400	4	-0,5
500	3,3	0,2
630	3,6	0,7
800	0,3	1
1 k	4,4	1,3
1.25 k	5,4	1,8
1.6 k	6,1	4
2 k	7,5	3,9
2.5 k	7	4,1
3.15 k	8	4,5
4 k	6,9	6,7
5 k	10,1	7,8
6.3 k	10,7	2,6
8 k	5,8	0,9

Assim, analisando-se os gráficos referentes às diferenças de incremento de isolamento e os gráficos de comportamento da isolamento em cada um dos estágios da parede, constata-se que nesse tipo de parede estudada há um incremento de, em média, 5 dB, apenas com a aplicação das camadas interna e externa de revestimento, como é o caso da parede B3.

### 4.3 Parede C

Os estudos com a parede C vêm para confrontar diretamente os ensaios realizados com a parede B. Constituída com o mesmo bloco, nas dimensões 140x190x290 mm, a diferença dessa parede é apresentar na camada de emboço a argamassa grossa ao invés da argamassa média. As espessuras adotadas continuam as mesmas.

### 4.3.1 Os ensaios

Os ensaios relativos à parede C podem ser resumidos em três etapas: C1 (parede em osso), C2 (revestimento externo) e C3 (revestimentos externo e interno). A figura 45 mostra os diversos estágios da parede em estudo.



Figura 45 – Evolução da parede de acordo com os ensaios: parede em osso, revestimento na face externa e revestimento na face interna.

#### 4.3.1.1 Parede em osso (C1)

A parede C, mesmo tendo sido construída com bloco igual ao da parede B, apresenta, em osso, algumas diferenças de comportamento em relação a mesma, imprimindo seus resultados numa curvatura mais suave sem tantos picos na isolamento sonora, como mostra a figura 46. A frequência de coincidência encontra-se na região de 160 Hz e constitui-se no menor valor de isolamento sonora da parede de aproximadamente 32,7 dB e, o  $R_w$  – Índice de Redução Sonora ponderado está em 40 dB.

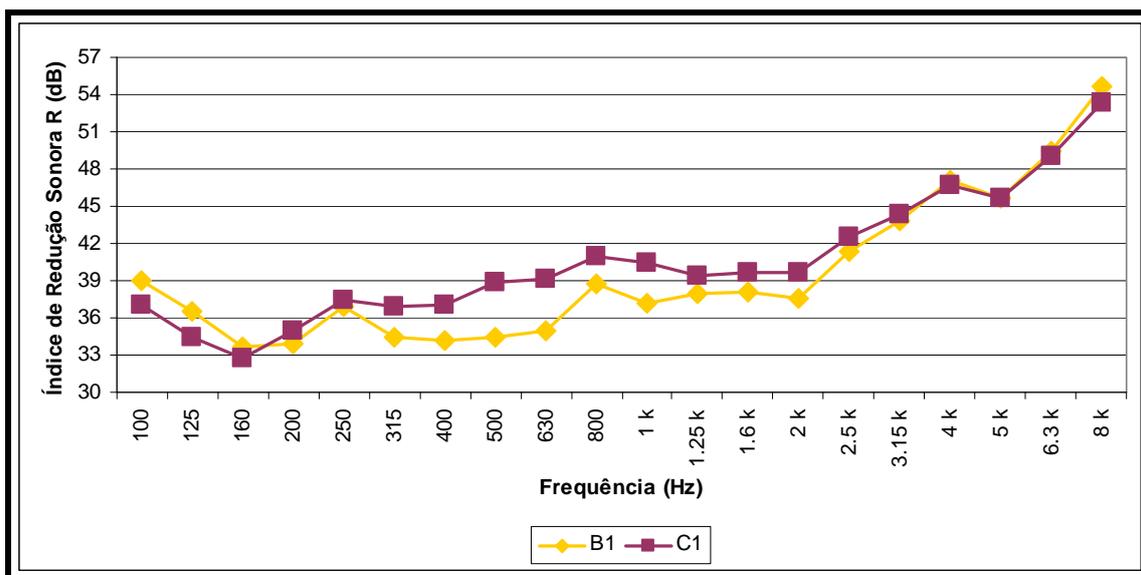


Figura 46 – Comparação entre o Índice de Redução Sonora das parede B e C em osso (B1 e C1)

Analisando a figura 46, percebe-se que a curvatura desenhada dos valores obtidos para a parede C é menos acentuada que para a parede B na faixa de frequência que vai de 200 Hz até 2 kHz estando a parede C com, em média 4 dB de isolamento superior a parede B. Abaixo e acima desses valores, elas apresentam comportamentos semelhantes. As frequências de coincidência em ambos os casos, está na região de 160 Hz e o Índice ponderado  $R_w$  da parede C está 2 dB superior em relação a parede B.

#### 4.3.1.2 Comparação entre as 3 paredes estudadas em osso (A1, B1 e C1)

Quando comparadas as três paredes em osso, observa-se que a parede A possui melhor desempenho sonoro em relação as outras duas e, que, as paredes B e C, por serem construídas com blocos de mesmas dimensões, possuem curvatura semelhante, porém com gráficos de isolamento variáveis, conforme apresenta a figura 47.

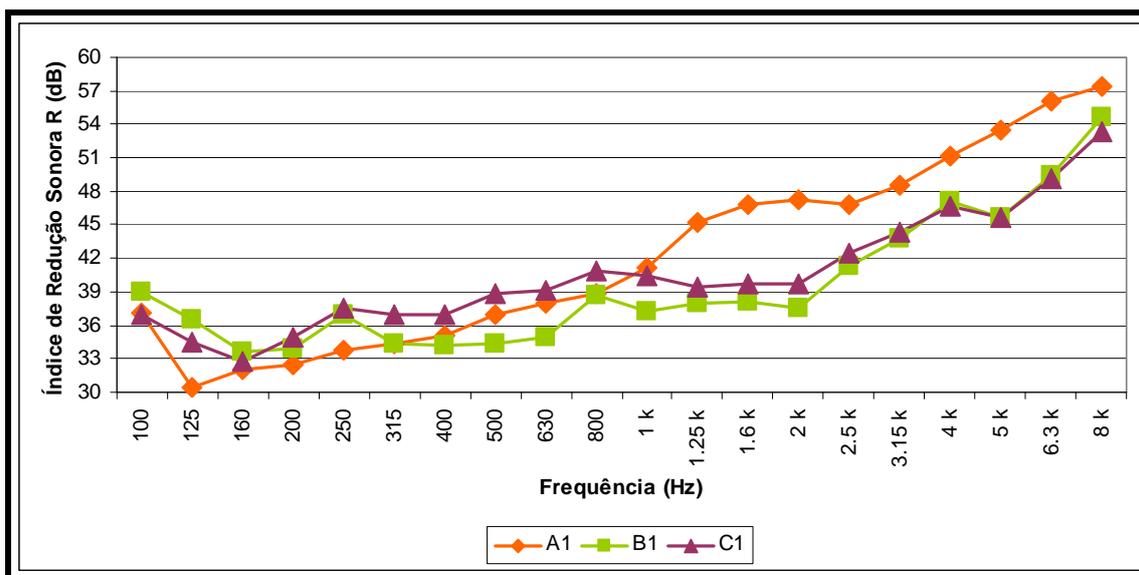


Figura 47 – Comparação entre o Índice de redução sonora entre as parede A, B e C em osso (A1, B1 e C1).

#### 4.3.1.3 Parede revestida na face externa (C2)

A parede C difere-se da parede B por ter recebido argamassa grossa na camada de emboço que cobre as faces da parede. Na face externa, mantiveram-se em ambas as paredes o chapisco, com sua massa própria. Na camada de emboço substituiu-se a massa média (parede B) por massa grossa (parede C) e por cima, aplicou-se a mesma esbelta camada de reboco (massa fina).

Estudando as respostas da parede impressas na figura 48, verifica-se que a partir de 800 Hz de frequência a parede sofre significativa melhora com o uso da argamassa em sua face externa, com incrementos na média de 6 decibéis em cada banda de frequência. A frequência de coincidência permaneceu na mesma região encontrada para a parede em osso (C1) e o  $R_w$  – Índice de Redução Sonora ponderado da parede recebeu incremento de 3 dB variando de 40 dB (parede em osso – C1) para 43 dB (parede revestida – C2).

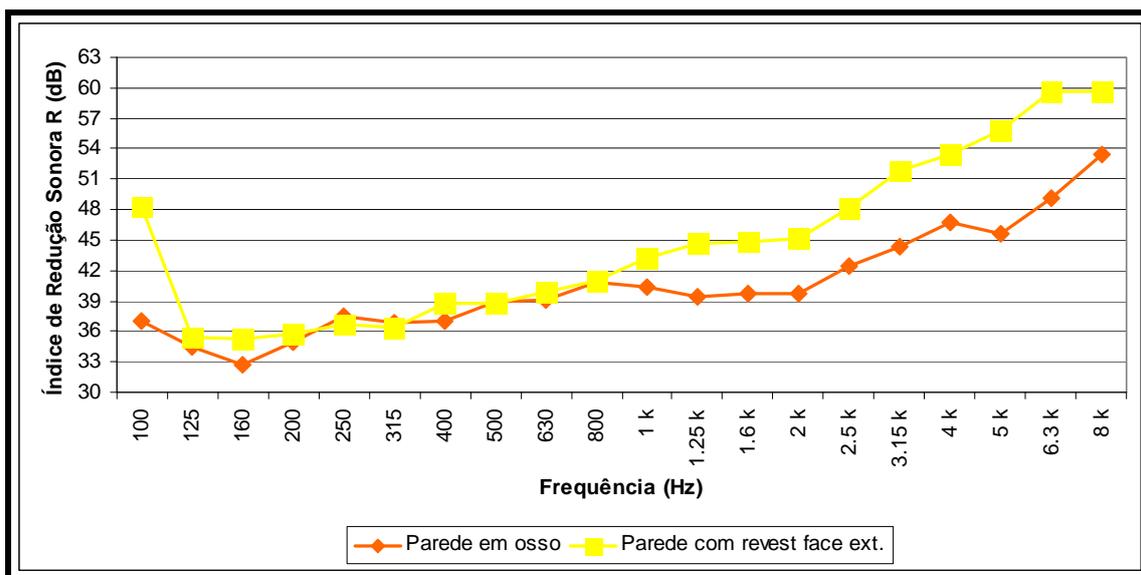


Figura 48 – Índice de redução sonora da parede com revestimento na face externa (C2) em comparação com a parede em osso (C1).

#### 4.3.1.4 Comparação entre paredes B e C revestidas na face externa

Verificando os resultados mostrados na figura 49, pode-se afirmar que, para as bandas de frequência situadas entre 315 Hz e 1,6 kHz, a parede C, com argamassa grossa na camada de emboço apresenta um incremento médio de 1,5 dB em relação a parede com argamassa média na camada de emboço. Para as frequências acima de 2 kHz, o desempenho de ambas as paredes demonstra-se igual e, abaixo de 250 Hz, a parede com emboço executado com massa média apresenta uma isolamento mais favorável.

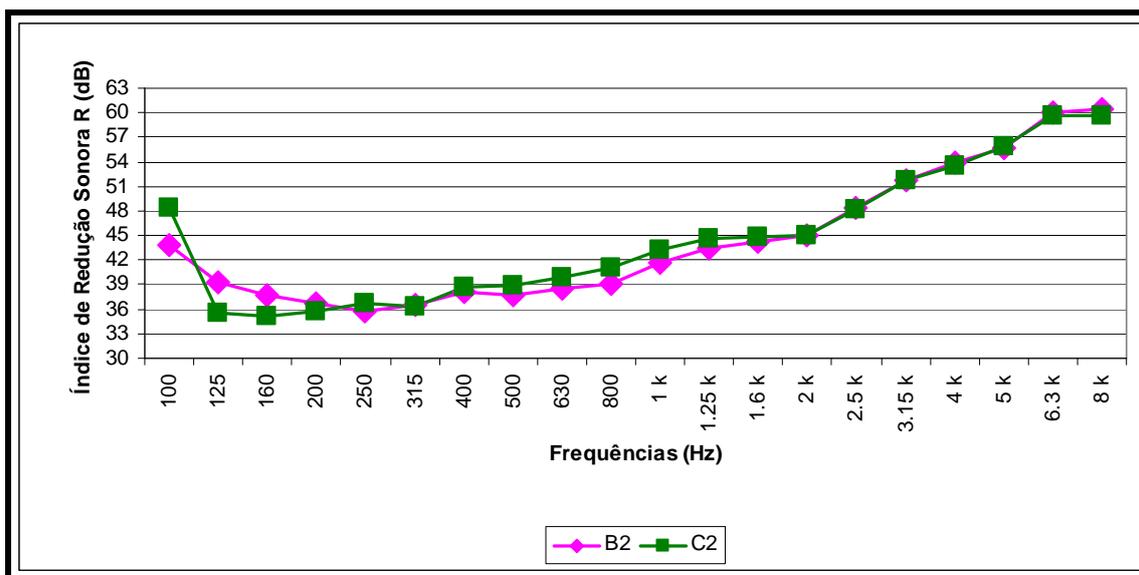


Figura 49 – Comparação entre o Índice de redução sonora das paredes B e C com revestimento na face externa (B2 e C2).

#### 4.3.1.5 Parede revestida na face interna (C3)

Na face interna da parede são conferidas as mesmas modificações adotadas para a face externa, em relação à parede anteriormente estudada (C2). Mantendo-se as espessuras definidas para cada camada, o uso do chapisco como preparação da parede e a argamassa grossa no emboço.

Estudando os gráficos de desempenho da parede revestida em ambas as faces com camadas de chapisco, emboço e reboco, e comparando com a mesma parede em estágio anterior, nota-se uma evolução positiva na performance da parede a partir da frequência de 800 Hz, como mostra a figura 50. A frequência de coincidência permaneceu na mesma banda de frequência da encontrada na parede em seu estágio anterior (C2). O Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  sofreu melhora de 1 dB apresentando-se em 44 dB de isolamento entre as frequências de 100 e 3150 Hz.

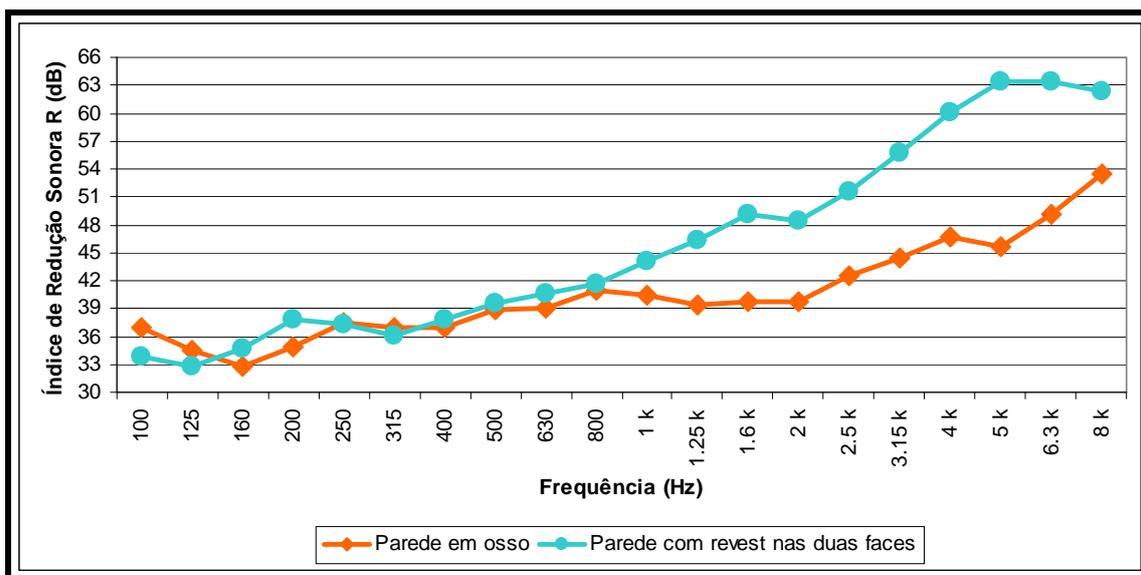


Figura 50 – Índice de redução sonora das paredes com revestimento em ambas as faces (C3) em comparação com a parede em osso (C1).

#### 4.3.1.6 Comparação entre as paredes B e C revestidas na face interna

Tomando os mesmos moldes do que ocorreu com as paredes B e C quando comparadas no estágio em que estavam revestidas apenas em suas faces externas, as paredes com revestimentos em ambos os lados apresentam desempenho de mesma forma, ou seja, a parede C apresenta melhor performance nas frequências de 315 Hz até 2 kHz. Acima disso as curvas permanecem quase idênticas e abaixo disso há oscilações de desempenhos, não ficando determinada uma parede como mais isolante para essa faixa.

A figura 51 ilustra as paredes B3 e C3, onde se destaca que a principal diferença entre elas é a substituição da massa média para a grossa no emboço da parede C3, o que pode acarretar a diferença de aproximadamente 1,5 dB na isolamento na faixa de frequências de 315 a 2000 Hz.

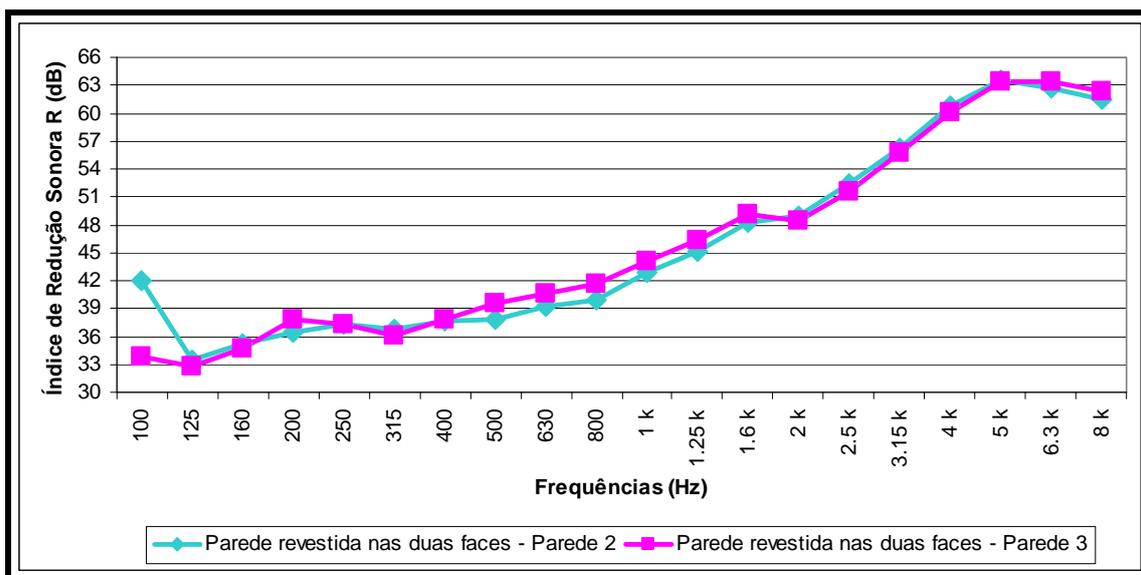


Figura 51 – Comparação entre o Índice de Redução Sonora das paredes B e C com revestimento em ambas as faces (B3 e C3).

#### 4.3.2 Análises gerais relativas à isolamento da parede C nos diferentes estágios

A figura 52 apresenta os incrementos gerados para cada evolução da parede, onde (C2-C1) simboliza as diferenças nos valores do índice R, para cada banda de frequência, entre a parede com uma camada de argamassa na face externa (C2) e a parede em osso (C1). A diferença do índice R obtida entre a parede com as duas faces revestidas de argamassa (C3) com apenas a face externa argamassada (C2) foi representada por (C3-C2). Os valores detalhados de cada situação são mostrados na tabela 9.

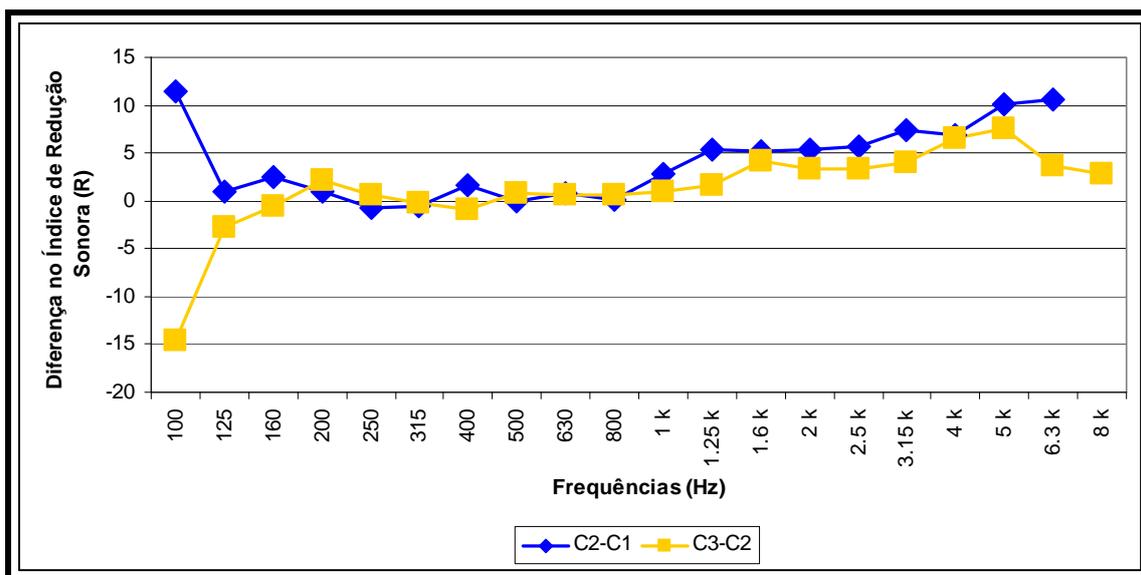


Figura 52 – Diferença no Índice de Redução Sonora (R) para diferentes estágios da parede C

Tabela 08 – Resultados numéricos das diferenças para a parede C

<b>Frequências</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
100	11,4	-14,6
125	1	-2,8
160	2,5	-0,5
200	0,9	2,1
250	-0,8	0,6
315	-0,6	-0,2
400	1,7	-0,9
500	-0,1	0,8
630	0,8	0,7
800	0,1	0,7
1 k	2,8	0,9
1.25 k	5,3	1,7
1.6 k	5,2	4,2
2 k	5,4	3,4
2.5 k	5,7	3,4
3.15 k	7,4	4
4 k	6,8	6,6
5 k	10,1	7,6
6.3 k	10,6	3,7
8 k	6,2	2,8

#### 4.4 Análise do desvio padrão nas medições

O Desvio Padrão para as medições realizadas nas paredes A, B, C foi avaliado através de uma amostragem de cada parede. Para tanto se utilizou de cada bateria de ensaios, a parede em osso e ela em sua composição final. Na parede A adotou-se os estágios A1 e A10 da parede para fins de cálculo de desvio padrão. Na parede B, utilizou-se as composições formadas por B1 e B4 e, por fim, na parede C, empregou-se para estudo as etapas C1 e C3 da parede. A figura 53 demonstra os resultados obtidos em cada parede.

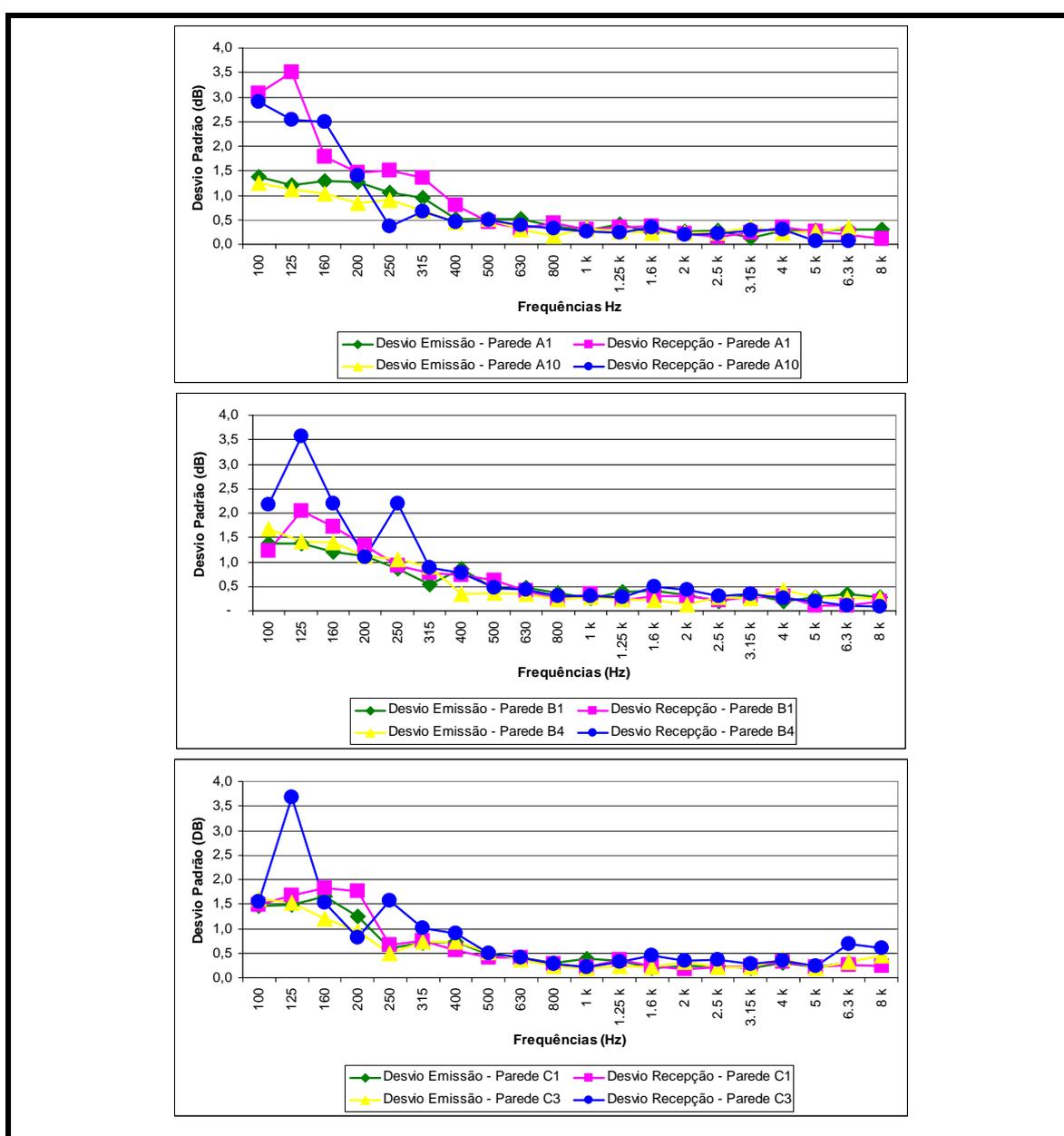


Figura 53 – Gráficos de Desvio Padrão das paredes A, B e C

Analisando os gráficos gerados através dos cálculos realizados para Desvio Padrão e representados na figura 53, pode-se observar que para todas as frequências acima de 400 Hz todas as curvas plotadas apresentam-se constantes, sem variações. Abaixo de 315 Hz, entretanto, notam-se algumas variações nas frequências, atingindo picos máximos de, em torno, 3,5 dB. Esse fator pode ser explicado devido ao fato de essas frequências configurarem a região da frequência de coincidência da parede e também as faixas de frequência onde as câmaras reverberantes não são tão eficazes: frequências de corte da câmara.

Na emissão, o Desvio Padrão é menor que na recepção, onde se leva em conta outros fatores, como a absorção da sala, decorrente da medida do TR.

### 5.1 Considerações Finais

A presente pesquisa buscou caracterizar a contribuição do revestimento executado com argamassas industrializadas, assim como da aplicação de tinta e de textura para a isolamento sonora em paredes de alvenaria estrutural.

Para tanto foram construídas três paredes alternadas de dois tipos distintos de blocos sendo um deles com dimensões iguais a 190x190x290 mm, que constituiu a parede A, e o outro de dimensões iguais a 140x190x290 mm, que constituiu as paredes B e C. Para cada uma dessas paredes foram aplicadas diferentes combinações de argamassa para as camadas de chapisco, emboço e reboco.

Para a parede A, concluiu-se que o revestimento de argamassa é muito importante para a isolamento sonora de paredes, constatando-se um aumento de 5 dB no Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  quando a parede encontra-se revestida em ambas as faces com camadas de emboço e reboco em relação a parede em osso. Porém, aferiu-se que a colocação de uma nova camada de reboco sobreposta à primeira, na face externa da parede, assim como o revestimento com duas demãos de tinta, não geraram incrementos em dB para a isolamento da parede, mantendo o Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  em 47 dB.

Um resumo dos resultados obtidos para a parede A pode ser descrito através dos valores de  $R_w$  encontrados, em cada estágio da parede ensaiada, dando ênfase aos resultados obtidos em A1 (em osso), A5 (com revestimento nas duas faces, interna e externa) e A10 (composição final da parede incluindo a segunda camada de reboco sobreposta à primeira e das duas demãos de tinta na face externa). São eles: A1 = 42 dB; A2 = 43 dB; A3 = 45 dB; A4 = 45; A5 = 47 dB; A6 = 47 dB; A7 = 47 dB; A8 = 47 dB; A9 = 47 dB e A10 = 47 dB. Dessa forma destacam-se as condições de maiores ganhos da estrutura (A5-A1) e mostra-se a estabilidade de resultados impressos a partir de um determinado estágio da parede (A5).

No decorrer dos ensaios realizados na parede A, comprovou-se que é possível diminuir o tempo de cura da argamassa de revestimento, para os testes efetuados em laboratório. Dessa forma, nesse trabalho atesta-se, através de uma bateria de ensaios, que a parede revestida aos 3 dias de cura da argamassa apresenta resultados muito semelhantes aos encontrados aos 7 dias, fazendo valer, para pesquisa em laboratório esse tempo como mínimo para a secagem de revestimentos de argamassa. Através dos resultados obtidos em cada ensaio confirma-se que, com exceção da parede em osso (que apresentou a pequena diferença de 1 dB no Índice de Redução Sonora Ponderado  $R_w$ , do ensaio realizado aos 7 dias para o teste aos 3 dias de secagem), nos demais experimentos, todos os Índices de Redução Sonora ponderado  $R_w$  permaneceram inalterados.

Para a parede B, construída com bloco de alvenaria estrutural com 5 cm a menos de espessura que o bloco da parede A e com o uso do chapisco na combinação das camadas de argamassa, pode-se concluir que o incremento gerado para a parede revestida em ambas as faces (B3) também é de 5 dB no Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  quando comparada à parede em osso (B1).

O uso da textura (B4), diferentemente da tinta (usada na parede A), apresentou um pequeno ganho em dB para a parede em relação ao seu estágio anterior (revestida com argamassa em ambas as faces - B3), registrando-se um incremento de 1 dB no Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$ ; entretanto, este aumento não pode ser creditado exclusivamente à adição de textura.

Um resumo dos resultados obtidos para cada estágio de ensaio realizado na parede B pode ser descrito através dos valores de  $R_w$  encontrados. São eles: B1 = 38 dB; B2 = 42 dB; B3 = 43 dB e B4 = 44.

Quando comparadas as paredes A e B, nota-se que o bloco constituinte da parede A apresenta melhores desempenhos acústicos, por ser mais espesso, quando estudadas as diferenças geradas nas paredes em osso. A partir do momento em que a parede B recebe revestimento, a curva de isolamento sonora dessa parede passa a se comportar de forma semelhante a curvatura obtida na parede A, apresentando para as frequências abaixo de 250 Hz e acima de 2500 Hz um comportamento de cerca de 3 dB mais favorável que a parede A.

Para a parede C, o incremento gerado com o revestimento em ambas as faces com camadas de argamassa (C3) foi de 4 dB para o Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$ . Nessa parede, usou-se como argamassa de emboço a massa grossa (C2 e

C3), e, quando comparada diretamente com a parede B no mesmo estágio (B2 e B3), executadas com argamassa média, apresentou um ganho de 1 dB. A parede B revestida em ambas as faces com argamassa de chapisco, emboço (massa média) e reboco (B3), obteve um Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  de 43 dB. Já a parede C quando revestida em ambas as faces com argamassa de chapisco, emboço (massa grossa) e reboco (C3), obteve um Índice de Redução Sonora ponderado  $R_w$  de 44 dB.

O resumo dos resultados obtidos para a parede C pode ser definido ao mostrar os valores de  $R_w$  encontrados em todas as etapas ensaiadas e, enfatizando os resultados obtidos para a parede C1 (em osso) e C3 (com revestimento nas duas faces, interna e externa), onde se obteve o ganho expressivo de 4 dB de isolamento sonora. Os valores em  $R_w$  são: C1 = 40 dB; C2 = 43 dB e C3 = 44 dB.

Todos os resultados obtidos através dos ensaios com a parede C estão no apêndice 1, como critério de exemplificar como os dados brutos das medições são extraídos e, a partir de então, analisados.

Pode-se atribuir o aumento no Índice de Redução Sonora gerado a partir da colocação de camadas de argamassa à parcela de energia sonora refletida, à massa superficial, ao amortecimento e à rigidez do sistema.

Através de análise feita a partir dos gráficos de desvios padrão de todos os experimentos realizados, conclui-se que para todas as frequências acima de 400 Hz todas as curvas plotadas apresentam-se constantes, sem variações. Entretanto para as frequências localizadas abaixo de 315 Hz pode-se perceber algumas variações atingindo picos máximos de, em torno, 3,5 dB. Esse fator pode ser explicado devido ao fato de essas frequências configurarem a região da frequência de coincidência das paredes e também as faixas de frequência onde as câmaras reverberantes não são tão eficazes: frequências de corte da câmara.

Considera-se que os objetivos da pesquisa foram alcançados, uma vez que se conseguiram explicar todos os propósitos lançados ao trabalho e obtiveram-se resultados que poderão servir de auxílio e subsídios para os profissionais da área.

## 5.2 Sugestões para futuros trabalhos

- Investigar outros tipos de revestimentos, como por exemplo, as argamassas com aditivos que substituem em parte o agregado miúdo (areia) por um material com granulometria mais fina.
- Investigar o revestimento em outros tipos de sistemas construtivos.
- Investigar os parâmetros específicos das paredes utilizadas no Brasil e necessários aos cálculos analíticos, como densidade, módulo de elasticidade e amortecimento.
- Aperfeiçoar as paredes através de melhorias programadas da região de frequência crítica.
- Testes expeditos em campo de aperfeiçoamento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ACIOLI, José de L. **Física Básica para Arquitetura: mecânica, transmissão de calor, acústica**. 1994.

ARCH-TEC, **Edificações e Tecnologias de Conforto Ambiental e Impermeabilizações Ltda** – <[www.arch-tec.com.br](http://www.arch-tec.com.br)>. Acesso em 18 nov. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

AZEREDO, H. A. **O Edifício e seu Acabamento**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2004.

BARING, João Gualberto de Azevedo. **Desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações: conceituação (1ª e 2ª Parte)**. In: Tecnologia de Edificações/Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini/IPT, 1988.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção 2**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC-SA, 1985

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

BIRLIK, Gulin. Technical note: the contribution of perlite to the sound transmission loss of solid masonry walls. **Building Acoustics**, 8 (3), p 237-244, 2001.

BISTAFA, Sylvio R., **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

CANDEIAS, A. E; NOGUEIRA, P. & MIRÃO, J; SILVA, A.S & VEIGA, R; CASAL, M.G; RIBEIRO, I & SERUYA, A. I. **Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives**. CERC – 3 – Chairmen of the European Research Councils Chemistry Committes, 2004.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência dos Materiais. 1ª Edição, Volume 2. São Paulo: Ed. Geraldo C. Isaia, 2007.

CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília, D.F: Ed. Thesaurus, 2006.

CIOCCARI, Leandro. **Re: Informações**. [Mensagem Pessoal]. Mensagem recebida por <[adriana@construtorafriedrich.com.br](mailto:adriana@construtorafriedrich.com.br)> em 25 nov. 2009

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

DE MARCO, Conrado S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 2.ed. São Paulo, SP: Nobel, 1990. 129p.

DUARTE, R.B. **Recomendação para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: ed. Senai de artes gráficas Henrique D`Ávila Bertaso, 1999.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo Comparativo entre Traços de Argamassa de Revestimento utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

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.

FAZENDA, J. M. **Tintas e Vernizes, Ciência e Tecnologia**. ABRAFATI, Volume 2 – 2ª Edição, São Paulo, 1995

FERNANDES, João C. **Acústica e Ruídos**. Bauru: UNESP, 2002. 98 p. Apostila.

FRINGUELLINO, M. & SCHMITZ, R. S. **Sound Transmission Through Hollow Brick Walls**. In: Physikalisch-Technische Bundesanstalt Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig, Alemanha, 1999. p. 171 – 186.

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

GOMES, A. de O. **Argamassas para Revestimentos de Edificações**. UFBA, Escola Politécnica, DCTM. 2006

HANAI, J. B. de. **Construção de Argamassa Armada. Fundamentos Tecnológicos para Projeto e Execução**. São Paulo: Ed. PINI, 1992.

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

LJUNGGREN, S. **Airborne sound insulation of thin walls**. In: Journal of Acoustical Society of America, 89 (5), 1991a, 2324-2337.

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

LOURENCI, Sidney. **Caracterização de Argamassas de Revestimento Fabricadas com Materiais Alternativos**. 2003. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Joinville, SC, 2003.

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

MIBIELLI, J.G. **Estudo da Aderência de Revestimentos Cerâmicos Externos**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, S.C, 1994.

NETO, Nestor A. dos. **Caracterização do Isolamento Acústico de uma Parede de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos**. 2006. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

NINA, Gilberto D. Tintas, Vernizes, Lacas e Esmaltes. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 2**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC-SA, 1985

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.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção**. 2ª edição, Porto Alegre: Globo, 1976.

REID, Esmond. Como funcionam os edifícios: uma abordagem multidisciplinar. Portugal, 1989.

RIZZATTI, E. **Alvenaria Estrutural**. Santa Maria: USM, 2007. Apostila.

ROMAN & MOHAMAD. Alvenaria Estrutural: **Classificação dos Materiais**, 1999. Apostila.

ROVERE, H. L. **Noções de Alvenaria Estrutural**. 2001. Apostila.

SABBATTINI, Fernando H.; Baía, Luciana L. M. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: Ed. O nome da Rosa, 2000.

SABBATTINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B de; SILVA, M. M de A. Banco de Tecnologia Construtiva para a produção de alvenarias de vedação racionalizadas. In: **Entac – IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Foz do Iguaçu, Paraná, 2002.

SCHMITZ, A; MEIER, A; RAABE, G. **Inter-Laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part I – Preliminary Test**. In: Physikalisch-

Technische Bundesanstalt Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig, Alemanha, 1999. p. 159 – 169.

SCHMITZ, A; MEIER, A; RAABE, G. **Inter-Laboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part II – Results of Main Test.** In: Physikalisch-Technische Bundesanstalt Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig, Alemanha, 1999. p. 171 – 186.

SILVA, M. R. **Materiais de Construção.** 2ª Edição revista. São Paulo: Ed. PINI, 1991.

SILVA, P.M. **Ruído Urbano: modelo de previsão.** Lisboa, Portugal, 1978.

SZLAK, Bruno; TANIGUTI, Eliana; NAKAKURA, Elza; MOTA, Érika; BOTTURA, Mércia; FRIGIERI, Valter. **Manual de Revestimentos de Argamassa.** Associação Brasileira de Cimento Portland. s.d.

TURNER, J.D. & PRETLOVE, A.J. **Acoustics for engineers.** London: Macmillan Education Ltd, 1991, 192 p.

VERÇOSA, Ênio José. **Materiais Cerâmicos.** In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 2.** 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC-SA, 1985

WATTERS, B. G. **Transmission Loss of Some Masonry Walls.** In: Journal of Acoustical Society of America, volume 31, número 7, 1959. p.898 – 911.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)