

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

**ESTUDO DE CORTINAS BLACK-OUT COMO  
COMPONENTES NO ISOLAMENTO SONORO DE  
FACHADAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ÂNGELA PAULINA GRANDEUAX PISANI**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**ESTUDO DE CORTINAS BLACK-OUT COMO  
COMPONENTES NO ISOLAMENTO SONORO DE  
FACHADAS**

por

**Ângela Paulina Grandaux Pisani**

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

**Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**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

**ESTUDO DE CORTINAS BLACK-OUT COMO COMPONENTES NO  
ISOLAMENTO SONORO DE FACHADAS**

elaborada por  
**Ângela Paulina Grandaux Pisani**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Dr. Eng.**  
(Presidente-Orientador)

---

**Dinara Xavier Paixão, Dr<sup>a</sup>. Eng<sup>a</sup> (UFSM)**

---

**Flávio Maya Simões, Dr. (RITTER DO REIS)**

Santa Maria, 24 de outubro de 2008

*“Os ouvidos não têm pálpebras...”.*  
*Décio Pignatari*

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico ao meu pai, que mesmo não estando mais presente certamente me iluminou e guiou meus passos.

À minha família que não mediu esforços para a realização deste sonho e sempre estiveram prontos a me ajudar e apoiar.

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, pela orientação e apoio, e por acreditar na minha capacidade de realizar este trabalho.

À Prof. Dra. Dinara Xavier da Paixão pela transmissão preciosa de ensinamentos na área de acústica e de metodologia.

Aos amigos Pedroso, Marco Aurélio, Eliomar, Marialva.

À turma do escritório.

Ao Jordan e a Kelly pela inestimável maneira que me auxiliaram ao longo deste trabalho.

## **RESUMO**

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

### **ESTUDO DE CORTINAS BLACK-OUT COMO COMPONENTES NO ISOLAMENTO SONORO DE FACHADAS**

AUTORA: ANGELA PAULINA GRANDEAUX PISANI

ORIENTADOR: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de outubro de 2008.

Nas grandes cidades, encontram-se freqüentemente edifícios submetidos a elevados níveis de poluição sonora, cujas fachadas não isolam adequadamente o ruído externo, situação esta que traz conseqüências para o conforto sonoro e para a saúde dos indivíduos. Associado a isto, está o alto custo dos materiais que apresentam bons índices de redução sonora, havendo a necessidade de se estudarem materiais alternativos, com custos menos elevados, como é o caso das cortinas black-out. Levando-se em conta estes fatores, o objetivo deste trabalho é averiguar o acréscimo no índice de isolamento sonoro a ruídos externos, gerado pela colocação de cortinas de vinil e de poliéster, sobrepostas a um elemento de fachada. Os ensaios foram realizados no laboratório do Setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria. A partir dos resultados dos ensaios verificou-se o desempenho de várias composições de cortinas, obtendo-se um aumento de 2 à 5 dB no índice de isolamento sonoro. A duplicação das cortinas possibilitou um aumento em torno de 1 dB, em relação às cortinas simples. Não houve alteração no índice de isolamento sonoro com o transpasse das cortinas. A colocação de painéis de lã de vidro de diferentes espessuras pouco influenciou no isolamento sonoro da fachada. A partir deste trabalho, pôde-se quantificar qual a melhoria no isolamento sonoro das fachadas propiciada pela colocação de cortinas black-out à disposição no mercado.

**Palavras Chave:** Acústica; Isolamento Sonoro; Cortinas Black-Out.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Dissertation  
Post-Graduation Program on Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **A STUDY OF BLACKOUT CURTAINS AS COMPONENTS IN SOUND ISOLATION FACADES**

**AUTHOR: ANGELA PAULINA GRANDEAUX PISANI**

**ADVISOR: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS**

**Date and Place : October 24, 2008 , Santa Maria**

Buildings which have high levels of sound pollution and facades that do not isolate outside noise are often found in large cities. This situation affects people's sound comfort and health. In connection with that, there is the high cost of materials which offer good sound reduction indices. This way, it is necessary to investigate alternative materials at lower costs, such as the blackout curtains. Taking these factors into consideration, the aim of this study is to examine the increase of sound isolation index ( $R_w$ ) in relation to outside noise, through the use of vinyl and polyester curtains in windows. The tests were carried out at the Acoustic Laboratory of the Federal University of Santa Maria. The results of the tests have shown the performance of various curtains arrangements, resulting in a 2 to 5 dB increase in the sound isolation index. Duplicating curtains enabled an increase of about 1 dB in relation to simple curtains. There was no increase in the sound isolation index when overlapping the curtains. Putting up glass wool panels of different thickness has not influenced in the facade sound isolation. With this study, it has been possible to quantify the improvement of facades sound isolation by putting up blackout curtains currently in the market.

**Key words:** Acoustic; Sound Isolation; Blackout Curtains

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 1 – Diferenças de nível de pressão sonora para o ruído de tráfego .....	26
QUADRO 1 – Valores dB (A) e NC .....	31
TABELA 2 – Valores de referência .....	35
QUADRO 2 – Valores de R para janelas .....	46
QUADRO 3 – Valores de $R_w$ para duplicação de janelas .....	48
QUADRO 4 – Valores de $R_w$ para duplicação de janelas com boa estanqueidade ao ar .....	48
QUADRO 5 – Desempenho das amostras da série “A” de ensaios .....	64
QUADRO 6 – Desempenho das amostras da série “B” de ensaios .....	81



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Fontes urbanas de ruído. (SOUZA, ALMEIDA & BRAGANÇA, 2006, p. 23) .....	20
FIGURA 2 – Intensificação do ruído urbano por reflexão sobre as superfícies da cidade (SOUZA, ALMEIDA & BRAGANÇA, 2006, p. 23) .....	21
FIGURA 3 – Atividades geradoras com respectivas pressões e níveis sonoros (BISTAFA, 2006, p. 18) .....	24
FIGURA 4 – Espectro do ruído rosa (PUJOLLE, 1978, p. 32, adaptado) .....	25
FIGURA 5 – Ruído emitido por veículos pesados e leves (CSTB, 1982, p. 111).....	25
FIGURA 6 – Espectro de ruído de tráfego (CSTB, 1982, p. 115).....	26
FIGURA 7 – Função de transferência dos filtros ponderadores A, B, C e D. (BISTAFA, 2006, p. 77) .....	29
FIGURA 8 – A parede é colocada em vibração por ruído aéreo (MEISSER, 1973, p. 187) .....	30
FIGURA 9 – Evolução da perda auditiva com o tempo de exposição ao ruído (BISTAFA, 2006, p. 50) .....	32
FIGURA 10 – Curva de valores de referência para som aéreo em terços de oitava (ISO 717, 1996, p. 03) .....	34
FIGURA 11 – Reflexão, absorção e transmissão do som (MÉNDEZ et. al, 1994, p. 107) .....	38
FIGURA 12 – Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples (GERGES, 1992, p.197) .....	39
FIGURA 13 – Efeito da coincidência (MÉNDEZ et al., 1994,) .....	40
FIGURA 14 – Lei da Massa (CSTB, 1982) .....	42
FIGURA 15 – Perfil de PVC rígido e vitragem dupla (Fonte: Ângela Pisani, 2006) .....	43
FIGURA 16 – Janela com tecnologia regional usada como referência na série “B” d ensaios (Fonte: Ângela Pisani, 2007) .....	45
FIGURA 17 – Janelas venezianas e janelas só vidros (ESQUADRIAS PRIMO, 2008) .....	45
FIGURA 18 – Ensaio das janelas (RECCHIA, 2001, p. 59) .....	47
FIGURA 19 – Valores de R (dB) para vidros monolíticos comuns (Scherer, 2005, p. 75) .....	49
FIGURA 20 – Composição de Cortina black-out com o ambiente. (REVESTIR, 2008) .....	50
FIGURA 21 – Tecido black-out como elemento de decoração (REVESTIR, 2008) .....	51
FIGURA 22 – Cortina black-out Luminette (Catálogo Luxaflex) .....	52
FIGURA 23 – Cortina black-out Luminette (Catálogo Luxaflex) .....	52

FIGURA 24 – Cortina black-out Duette (Catálogo Luxaflex) .....	53
FIGURA 25 – Cortina black-out Rolô (Catálogo Luxaflex) .....	53
FIGURA 26 – Cortina black-out Vignette (Catálogo Luxaflex) .....	54
FIGURA 27 – Câmaras reverberantes do laboratório do setor de Acústica para ensaio de isolamento sonoro .....	56
FIGURA 28 – Fachada de Referência – Série A de ensaios .....	58
FIGURA 29 – Esquema de montagem dos ensaios A1, A2 e A3.....	58
FIGURA 30 – Esquema de montagem dos ensaios A4, A5, A6 e A7.....	59
FIGURA 31 – Esquema de montagem dos ensaios A8, A9 e A10 .....	60
FIGURA 32 – Painéis Rígidos de lã de vidro .....	60
FIGURA 33 – Esquema de montagem dos ensaios A11 e A12 .....	61
FIGURA 34 – Fachada de Referência – Série B de ensaios.....	61
FIGURA 35 – Esquema de montagem dos ensaios B1, B2, B3 e B4 .....	62
FIGURA 36 – Esquema de montagem do ensaio B5 .....	62
FIGURA 37 – Esquema de montagem dos ensaios B6 e B7.....	63
FIGURA 38 – Cortina simples sem transpasse, com 5 cm de afastamento em relação à amostra de referência .....	65
FIGURA 39 – Cortina simples sem transpasse com 10 cm de afastamento em relação à amostra de referência .....	66
FIGURA 40 – Cortina simples sem transpasse com 15 cm de afastamento em relação à amostra de referência .....	67
FIGURA 41 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse .....	68
FIGURA 42 – Cortina simples com afastamento 15 cm e com transpasse de 5 cm, com relação à amostra de referência .....	69
FIGURA 43 – Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 10 cm, com relação à amostra de referência .....	70
FIGURA 44 – Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 15 cm, com relação à amostra de referência .....	71
FIGURA 45 – Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 20 cm, com relação à amostra de referência .....	72
FIGURA 46 – Gráfico comparativo de desempenho das cortinas simples com transpasse .....	73

FIGURA 47 – Cortinas duplas com afastamentos 5-10, em relação à amostra de referência .....	74
FIGURA 48 – Cortinas duplas com afastamentos 5-15, em relação à amostra de referência .....	75
FIGURA 49 – Cortinas duplas com afastamentos 10-15, em relação à amostra de referência .....	76
FIGURA 50 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas duplas .....	77
FIGURA 51 – Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 5 cm de espessura .....	78
FIGURA 52 – Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 7 cm de espessura .....	79
FIGURA 53 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas com painéis de lã de vidro .....	80
FIGURA 54 – Cortina simples com afastamento de 5 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	82
FIGURA 55 – Cortina simples com afastamento de 10 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	83
FIGURA 56 – Cortina simples com afastamento de 15 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	84
FIGURA 57 - Cortina simples com afastamento de 20 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	85
FIGURA 58 - Gráfico comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse .....	86
FIGURA 59 – Cortina simples com afastamento de 20 cm, com transpasse de 20 cm em relação à amostra de referência .....	87
FIGURA 60 – Cortina dupla com afastamentos 5-20 cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência .....	88
FIGURA 61 – Cortina dupla com afastamentos 10-20 cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência .....	89
FIGURA 62 – Gráfico comparativo dos desempenhos das cortinas duplas com transpasse .....	90
FIGURA 63 – Desempenho das cortinas tipo black-out nas altas frequências .....	91
FIGURA 64 – Gráfico comparativo dos desempenhos de cortinas simples e duplas nas altas frequências .....	92

FIGURA 65 – Gráfico comparativo dos desempenhos das cortinas simples e com colocação de painéis de lã de vidro.....	93
FIGURA 66 – Fonte Sonora .....	118
FIGURA 67 – Microfone .....	118
FIGURA 68 – Analisador Acústico .....	119
FIGURA 69 - Fachada de Referência .....	119
FIGURA 70 – Cortina utilizada nos ensaios .....	120

## **LISTA DE APÊNDICES**

APÊNDICE A – Valores de R (dB) obtidos para cada frequência nos ensaios realizados ..	97
APÊNDICE B – Fotografias dos ensaios realizados .....	118

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

B&K – Brüel & Kjær

dB – decibel

Hz – Hertz

ISO – International Organization for Standardization

KHz – quilohertz

LaTA – Laboratório de Termo-Acústica

LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil

$L_n$  – Nível de pressão sonora de impacto normalizado

$L'_{n,w}$  – Nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado

$\Delta L'_{n,w}$  – Diferença entre níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado

NPS – Nível de Pressão Sonora

Pa – Pascal

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS</b> .....	7
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	8
<b>LISTA DE APÊNDICES</b> .....	12
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	13
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1 Objetivos</b> .....	19
1.1.1 Objetivo Geral .....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>1.2 Justificativa da Pesquisa</b> .....	20
<b>1.3 Hipóteses</b> .....	22
<b>1.4 Estrutura da Dissertação</b> .....	22
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
<b>2.1 Conceitos básicos da Acústica</b> .....	23
2.1.1 Som .....	23
2.1.2 Ruído .....	24
2.1.3 Comprimento de Onda ( $\lambda$ ) .....	26
2.1.4 Freqüência .....	27
2.1.5 Nível de Pressão Sonora (NPS) .....	27
2.1.6 Ruído de Fundo .....	28
2.1.7 Tempo de Reverberação .....	28
2.1.8 Índice de Redução Acústica ( $R_w$ ) .....	28
2.1.9 Curvas de Ponderação .....	28
2.1.10 Propagação do Som .....	29
2.1.11 Efeitos do Ruído no Conforto Sonoro e na Saúde .....	30
<b>2.2 Considerações sobre a Norma Internacional ISO 140/I/II/III</b> .....	32
<b>2.3 Índice de Redução Acústica <math>R_w</math> (ISO 717)</b> .....	34
<b>2.4 Isolamento Acústico</b> .....	35
2.4.1 Isolamento Sonoro .....	36
2.4.2 Absorção Acústica .....	36

2.4.3 Isolamento a Ruídos Aéreos .....	37
2.4.3.1 Isolação Sonora de Paredes Simples .....	39
2.4.3.2 Redução de Transmissão em Paredes Duplas .....	42
<b>2.5 Janelas</b> .....	43
2.5.1 Vitragem .....	49
<b>2.6 Cortinas de Tecido Black-Out</b> .....	49
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	55
<b>3.1 Características do Laboratório do Setor de Acústica da UFSM</b> .....	55
<b>3.2 Sistema de Medição Utilizado</b> .....	56
<b>3.3 Execução dos Ensaios</b> .....	57
<b>3.4 Componentes Ensaçados</b> .....	57
3.4.1 Série “A” de Ensaios .....	58
3.4.1.1 Ensaios visando verificar a influência do afastamento (d) em relação à amostra de referência .....	58
3.4.1.2 Ensaios visando verificar a influência do transpasse (T) em relação à amostra de referência .....	59
3.4.1.3 Ensaios verificando a influência da duplicação das cortinas e dos diversos afastamentos entre elas, variando as distâncias, em relação à amostra de referência .....	59
3.4.1.4 Ensaios visando verificar a influência do material absorvente colocado entre a cortina e a amostra de referência .....	60
3.4.2 Série “B” de Ensaios .....	61
3.4.2.1 Ensaios visando verificar a influência do afastamento (d) .....	62
3.4.2.2 Ensaios visando verificar a influência do transpasse (T) .....	62
3.4.2.3 Ensaios visando verificar a influência da duplicação das cortinas, do afastamento (d) entre elas (variando as distâncias) e o transpasse (T) .....	63
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	64
<b>4.1 Série “A” de Ensaios</b> .....	64
4.1.1 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência do afastamento (d) .....	65
4.1.1.1 Cortina simples sem transpasse com afastamento de 5 cm em relação à amostra de referência .....	65
4.1.1.2 Cortina simples sem transpasse com 10 cm de afastamento em relação à amostra de referência .....	66



4.1.1.3 Cortina simples sem transpasse com 15 cm de afastamento em relação à amostra de referência .....	67
4.1.1.4 Comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse .....	68
4.1.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência do transpasse (T) .....	69
4.1.2.1 Cortina simples com afastamento 15 cm e com transpasse de 5 cm, com relação à amostra de referência .....	69
4.1.2.2 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 10 cm, com relação à amostra de referência .....	70
4.1.2.3 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 15 cm, com relação à amostra de referência .....	71
4.1.2.4 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 20 cm, com relação à amostra de referência .....	72
4.1.2.5 Comparativo de desempenho das cortinas simples com transpasse .....	73
4.1.3 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência da duplicação das cortinas e o afastamento (d) diverso entre elas (variando as distâncias) .....	74
4.1.3.1.. Cortinas duplas com afastamentos $d_1 = 5$ cm e $d_2 = 10$ cm e espaçamento entre elas de 5 cm. ....	74
4.1.3.2. Cortinas duplas com afastamentos $d_1 = 5$ cm e $d_2 = 15$ cm e espaçamento entre elas de 10 cm. ....	75
4.1.3.3 . Cortinas duplas com afastamentos $d_1 = 10$ cm e $d_2 = 15$ cm e espaçamento entre elas de 5 cm. ....	76
4.1.3.4 Comparativo do desempenho das cortinas duplas .....	77
4.1.4 Representação gráfica do desempenho das amostras visando verificar a influência do material absorvente colocado entre a cortina e a amostra de referência .....	78
4.1.4.1 Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura .....	78
4.1.4.2 Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura .....	79
4.1.4.3 Comparativo do desempenho das cortinas com painéis de lã de vidro .....	80
<b>4.2 Série “B” de Ensaios</b> .....	81
4.2.1 Representação gráfica dos desempenhos das amostras para verificação do afastamento (d) .....	82

4.2.1.1 Cortina simples com afastamento de 5 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	82
4.2.1.2 Cortina simples com afastamento de 10 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	83
4.2.1.3 Cortina simples com afastamento de 15 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	84
4.2.1.4 Cortina simples com afastamento de 20 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência .....	85
4.2.1.5 Comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse .....	86
4.2.2 Representação gráfica do desempenho das amostras para verificação da influência do transpasse (T) .....	87
4.2.2.1 Cortina simples com afastamento de 20 cm, com transpasse de 20 cm em relação à amostra de referência .....	87
4.2.3 Representação gráfica do desempenho das amostras para verificação da duplicação e do transpasse (T) das cortinas .....	88
4.2.3.1 Cortina dupla com afastamentos de $d_1 = 5$ cm e $d_2 = 20$ cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência .....	88
4.2.3.2 Cortinas duplas com afastamentos de $d_1 = 10$ e $d_2 = 20$ cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência .....	89
4.2.3.3 Comparativo dos desempenhos das cortinas duplas com transpasse .....	90
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	91
<b>5.4 Sugestões Para Trabalhos Futuros</b> .....	93
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	94
<b>APÊNDICES</b> .....	96

# 1 INTRODUÇÃO

O conforto ambiental estuda o comportamento do ser humano e a sua necessidade de conforto ou bem-estar, abrangendo as áreas relacionadas ao conforto acústico, térmico, lumínico e ergonômico.

Atualmente, pode-se verificar um aumento significativo da emissão de sons indesejáveis e desagradáveis, denominados de ruídos, os quais interferem diretamente no conforto, na saúde e no bem-estar das pessoas expostas a eles, transformando-se assim, num relevante objeto de estudo para o conforto ambiental, com ênfase na acústica.

Conforme Souza, Almeida e Bragança (2006, p. 23), nos dias atuais

[...] a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também de controle do ruído e preservação da qualidade ambiental. A questão da acústica urbana passou a ter mais importância do que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior, e as conseqüências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais.

Para Ferreira e Zannin (2007, p. 28)

os construtores não levam em consideração o conforto acústico na hora de construir. Os usuários, aparentemente, não exigem isso dos construtores e dos projetistas ou por falta de conhecimento, ou de opção, ou, até mesmo, de orientação de quem tenha por eles sido contratado para realizar o projeto de suas residências.

As edificações, de um modo geral, não apresentam condições mínimas de conforto acústico. Normalmente, isto ocorre devido aos dispositivos e materiais utilizados nas fachadas (janelas, portas, ar condicionado, etc...), os quais são concebidos sem a adequada estanqueidade ao som.

Um dos fatores que condicionam esta situação é a baixa tecnologia, empregada em larga escala hoje em nosso país, onde as janelas geralmente são fabricadas com vitragem simples, com pouca vedação (janelas de correr), esquadrias desniveladas, etc. Assim, além de possuírem pouca massa (uma camada de vidro), possibilitam a passagem de som por suas frestas.

Neste contexto, o cuidado em melhorar a acústica de um ambiente torna-se extremamente importante para a melhoria das condições de vida e saúde de todos os indivíduos, pois impede que estes fiquem submetidos à exposição prolongada de ruídos.

As técnicas empregadas para solucionar o problema de baixa isolação acústica das fachadas são de elevado custo e nem sempre apresentam resultados satisfatórios no que concerne ao índice de conforto acústico considerado ideal para o bem-estar das pessoas.

A partir dessa situação, surgem novos materiais como alternativa para o conforto sonoro dos indivíduos. É o caso das cortinas de tecido black-out, que aparecem como novos componentes das fachadas, em substituição às persianas e venezianas.

Diante de condições acústicas cada vez menos favoráveis, principalmente nas grandes cidades, cresce a necessidade de pesquisas que visem criar novas técnicas para amenizar ou solucionar este problema, reduzindo os níveis de ruídos dos ambientes a valores aceitáveis. Pesquisas estas que demonstrem a possibilidade de se construir ambientes confortáveis acusticamente e com custos reduzidos, por meio do conhecimento e da correta utilização dos materiais disponíveis.

Levando-se em conta tais fatores, este estudo pretende determinar os complementos no isolamento sonoro a ruídos aéreos externos que podem ser atingidos com a utilização de cortinas do tipo black-out, contribuindo, deste modo, para o aperfeiçoamento da qualidade acústica das construções, com custos menos elevados.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é pesquisar, através de ensaios laboratoriais, o acréscimo no índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ), gerado pela colocação de cortinas de tecido black-out, sobrepostas a um elemento de fachada.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Reproduzir, em câmara reverberante de transmissão, um ambiente de fachada exposta ao ruído externo;
- Analisar o desempenho acústico das cortinas de tecido black-out, com diferentes espaçamentos em relação à amostra de referência.

- Observar a influência do transpasse das cortinas de tecido black-out no isolamento acústico da fachada;
- Avaliar o desempenho acústico da duplicação das cortinas de tecido black-out, com diferentes espaçamentos em relação à fachada de referência.
- Observar a influência da aplicação de painéis absorventes sonoros entre a fachada e a cortina.

## 1.2 Justificativa da Pesquisa

A maneira como a acústica interfere nas diferentes atividades que as pessoas exercem depende de diversos fatores, tais como: da fonte de produção do som; da posição relativa desta em relação ao edifício (características do entorno); das próprias características do edifício em termos de transmissão de som e de isolamento; das funções que ela abriga; e por último, do usuário, por meio dos efeitos fisiológicos e psicológicos que o ruído pode ter sobre ele.

No momento atual, as fontes de emissão de ruídos têm aumentado consideravelmente nas regiões urbanas, como pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1 – Fontes urbanas de ruído. (SOUZA, ALMEIDA & BRAGANÇA, 2006, p. 23)

Associado a isto, os materiais utilizados para a construção das edificações são, na maioria das vezes, leves e de baixo isolamento acústico, podendo haver uma intensificação das fontes produtoras de ruídos pelos materiais e formas adotadas nos projetos, configurando-se num elemento agravante dos problemas acústicos, o que é demonstrado na Figura 2.

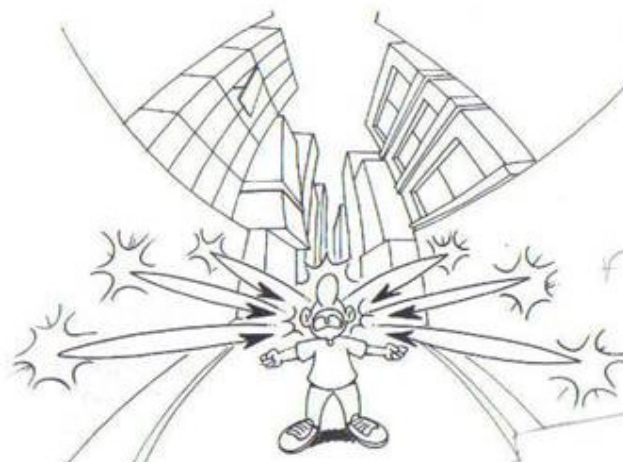


Figura 2 – Intensificação do ruído urbano por reflexão sobre as superfícies da cidade (SOUZA, ALMEIDA & BRAGANÇA, 2006, p. 23)

Por outro lado, o uso de materiais como persianas e venezianas, aumenta consideravelmente os custos das edificações.

Ao projetar, principalmente no que se refere à parte física do edifício, o projetista terá total liberdade de solucionar os problemas causados pela relação fonte-entorno-arquitetura, devendo, para isso, ter conhecimento das características físicas dos materiais com os quais trabalha, dos componentes da construção e do projeto como um todo, entendido como solução-conjunto.

Desta forma, a busca de materiais diferenciados, como, por exemplo, as cortinas de tecido black-out, torna-se uma alternativa interessante tanto para os projetistas, quanto para os pesquisadores e futuros usuários, pois além da redução de custos, também possuem a vantagem de serem de fácil manutenção e substituição.

Pelos motivos acima citados, pretende-se, através desta pesquisa, melhorar a qualidade e a habitabilidade, principalmente das moradias já existentes, com a possibilidade de colocação de cortinas de tecido black-out nas fachadas.

### 1.3 Hipóteses

- O afastamento das cortinas em relação à parede ensaiada influencia na perda de transmissão sonora;
- O uso de transpasse nas cortinas interfere no desempenho sonoro da fachada;
- A duplicação das cortinas de tecido black-out interfere no desempenho sonoro da fachada;
- A aplicação de painéis absorventes sonoros entre a fachada e a cortina influencia na performance do isolamento sonoro.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho será composto de cinco capítulos, descritos a seguir:

O Capítulo I aborda o tema, as hipóteses e os objetivos da pesquisa, procurando mostrar a importância do isolamento acústico ao ruído aéreo nas fachadas.

O Capítulo II apresenta os conceitos básicos relacionados à acústica, os aspectos gerais acerca do som e do ruído, as características relevantes do ambiente urbano, as normas e técnicas que serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa, bem como, estudos precedentes realizados por pesquisadores na questão do isolamento acústico de janelas. Também apresenta os dados acerca do uso de cortinas de tecido black-out nas fachadas.

O Capítulo III descreve os procedimentos realizados durante os ensaios acústicos, a infra-estrutura do laboratório do setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, os equipamentos utilizados e os materiais testados.

O Capítulo IV transcreve os dados obtidos nas medições, mostra os gráficos e a interpretação dos resultados da pesquisa, constituindo-se no elemento base para as conclusões do trabalho.

E o Capítulo V contém as considerações finais do desenvolvimento do presente estudo e as sugestões para futuros trabalhos de pesquisa nesta área.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Conceitos básicos da Acústica

A Acústica estuda a produção, transmissão e efeitos do som. É conhecida mundialmente como a ciência-arte, pois os conceitos físicos e os modelos matemáticos são tão complexos, que ainda não se dispõe de recursos para prever, com segurança, os meios de sua produção, transmissão e seus efeitos.

Sendo assim, ao se tratar de Acústica, é a experimentação, a observação, o bom senso e a vivência diária que muitas vezes prevalecem, por isso, cada caso deve ser analisado individualmente, a partir de critérios bem definidos.

#### 2.1.1 Som

O som é toda e qualquer vibração ou onda mecânica, que se propaga no meio dotado de forças internas (elástico, viscoso, etc), e que possui capacidade de produzir no indivíduo uma sensação auditiva. Genericamente, são vibrações que se propagam através de ondas.

Tais vibrações somente se tornam auditivamente perceptíveis caso estejam dentro da faixa de frequência captável pelo ouvido humano. Segundo Carvalho (2006, p.15), “o som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano”.

A Figura 3 mostra as pressões sonoras ( $p$ ) compreendidas aproximadamente entre o limiar da audibilidade ( $10^{-5}$  Pa) e o limiar da dor ( $10^2$  Pa) e os correspondentes níveis de pressão sonora ( $L_p$ ), com ilustração das atividades geradoras dos sons associados.



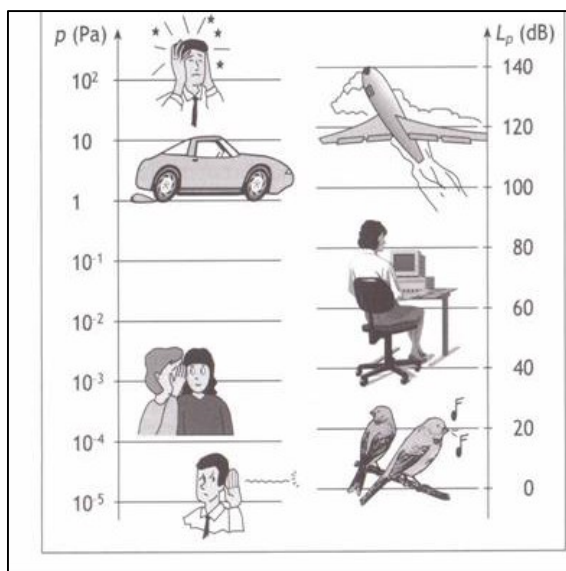


Figura 3 – Atividades geradoras com respectivas pressões e níveis sonoros (BISTAFA 2006, p. 18)

### 2.1.2 Ruído

O ruído é caracterizado por ser um som indesejável e desagradável.

...em termos físicos, ruído é uma superposição de numerosas vibrações de frequências diversas, não harmônicas entre si, ou, mais simplesmente um conjunto de sons produzidos por vibrações irregulares, sem o caráter de periodicidade. Essa falta de harmonia é que torna o som desagradável. (MURGEL, 2007, p. 35)

O ruído tem muitas conseqüências sobre o bem estar do ser humano, desde a simples interferência na comunicação verbal até efeitos fisiológicos mais acentuados, como perda auditiva, perturbações do sono e hipertensão arterial.

Os níveis de aceitação do ruído variam conforme o receptor e o ruído de fundo existente. Neste sentido,

...considera-se que um ruído provoca pequena perturbação quando está 3 dB (A) acima do ruído de fundo preexistente; com mais de 5 dB (A), o nível de incomodo é médio; sendo alta a perturbação provocada por fontes sonoras com mais de 10 dB (A) acima do ruído de fundo (MURGEL, 2007, p. 37).

Os ruídos podem ser divididos em dois tipos: ruído aéreo e ruído estrutural.

O ruído aéreo é aquele transmitido através do ar, como por exemplo, o de vozes e o de automóveis. O ruído estrutural, por sua vez, é aquele que decorre de qualquer percussão sobre um sólido, como é o caso de passos e marteladas.

Os ensaios realizados em laboratório são feitos em uma câmara reverberante com fonte sonora normalizada, a qual emite um ruído com a mesma quantidade de energia em todas as frequências analisadas. Esse ruído denomina-se ruído rosa, cujo gráfico está expresso na figura 4.

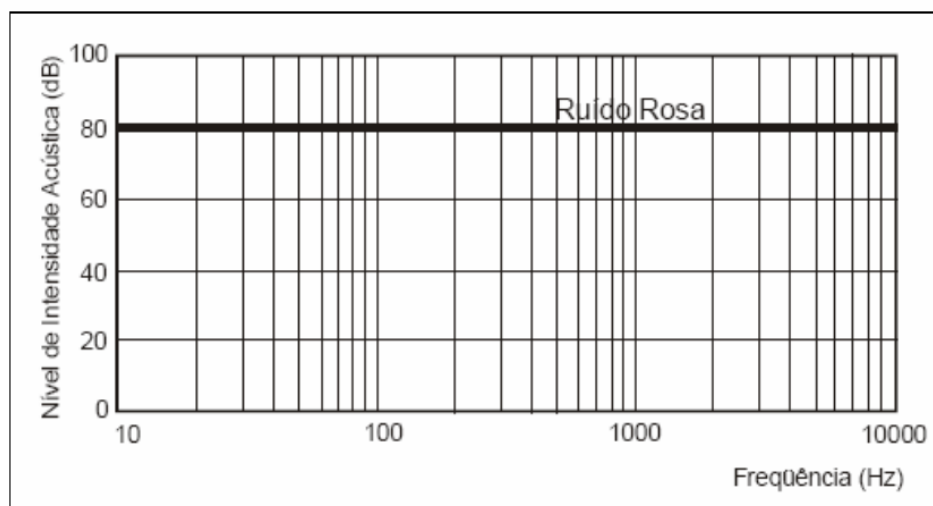


Figura 4 – Espectro do ruído rosa (PUJOLLE, 1978, p. 32, adaptado)

O ruído veicular existente nas ruas e avenidas movimentadas das grandes cidades possui um espectro sonoro diferente do apresentado pelo ruído rosa. Medições práticas e estudos já realizados pelo CSTB (1982) permitiram conhecer as características tonais do ruído produzido por veículos leves e por veículos pesados, as quais são demonstradas na figura 5.

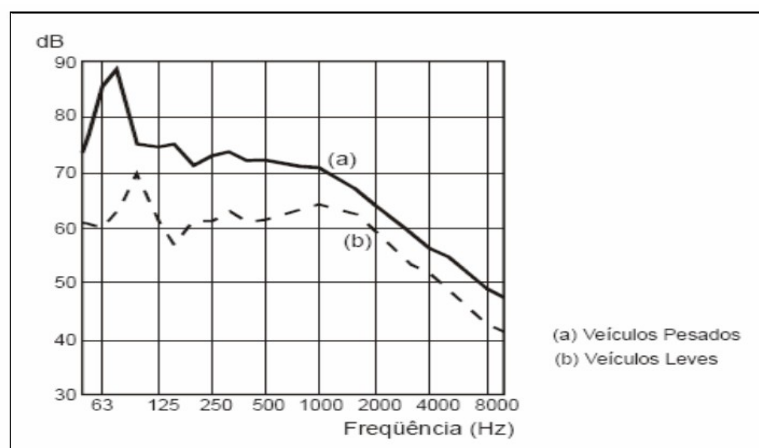


Figura 5 – Ruído emitido por veículos pesados e leves (CSTB, 1982, p. 111)

Com base nesses dados, chegou-se a um ruído de tráfego normalizado, relacionando as diferenças de nível de pressão sonora para cada banda de oitava, de acordo com uma pressão de referência, a 1000 Hz. A tabela 1 e a figura 6 demonstram esses valores e o resultado do espectro de ruído de tráfego.

Tabela 01 – Diferenças de nível de pressão sonora para o ruído de tráfego.

Frequência em banda de oitava Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Diferença do nível de pressão sonora em relação à uma pressão de referência (dB) em 1000 Hz	+6	+5	+1	0	-2	-8

Fonte: CSTB, 1982, p. 114

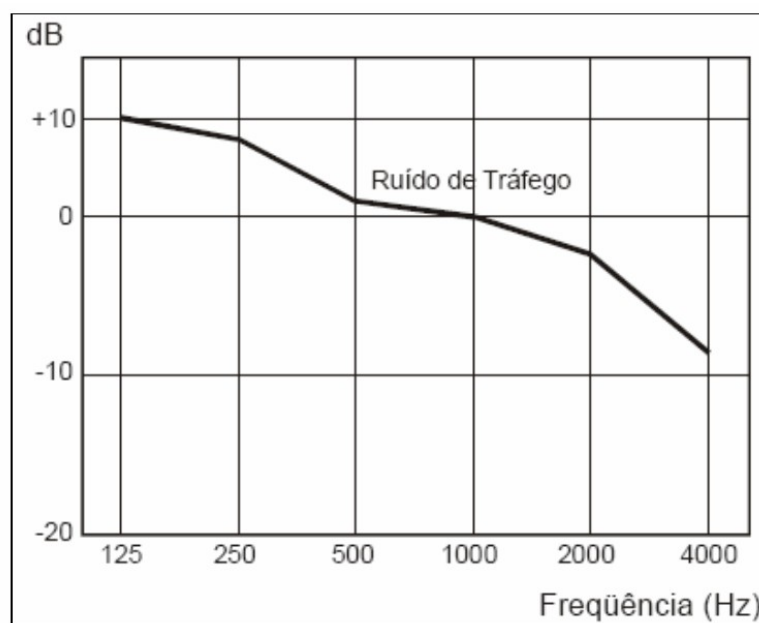


Figura 6 – Espectro de ruído de tráfego (CSTB, 1982, p. 115)

### 2.1.3 Comprimento de Onda ( $\lambda$ )

De acordo com Méndez *et al* (1994, p. 19), *comprimento de onda* é a distância que existe entre dois pontos consecutivos de igual pressão (por exemplo, dois máximos), correspondente a onda sonora que está se propagando.

O comprimento de onda  $\lambda$  está relacionado com a velocidade de propagação e a frequência, de acordo com a equação 1:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Onde:

$\lambda$  : comprimento de onda;

$c$  : velocidade de propagação;

$f$  : frequência (Hz).

Méndez *et al* (1994) analisa a equação e conclui que para uma mesma velocidade de propagação, temos um maior comprimento de onda para baixas frequências, sendo denominados de sons graves. Os sons com frequências mais altas terão menor comprimento de onda e são denominados sons agudos, e na zona intermediária, encontram-se os sons de frequências médias.

#### 2.1.4 Frequência

Frequência é o número de oscilações ou ciclos completos que um fenômeno realiza com periodicidade temporal de um segundo, tendo por unidade de medida o Hertz (Hz). Se estas oscilações tiverem magnitude compreendida entre 20 Hz e 20000 Hz, serão interpretadas pela região cortical do cérebro como sons audíveis (GERGES, 1992, p. 03).

#### 2.1.5 Nível de Pressão Sonora (NPS)

O nível de pressão sonora (NPS) é definido segundo a equação 2.

$$\text{NPS} = 10 \log \left( \frac{P}{P_{ref}} \right)^2 \quad (2)$$

Em que:

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

$P_{ref}$  : nível de referência – limiar de audição em 1000 Hz =  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>

#### 2.1.6 Ruído de Fundo ou Ruído da Atividade

O ruído de fundo ou ruído da atividade pode ser caracterizado como o ruído ambiente normal, que provém de diversas origens, com características regulares e observadas durante um determinado tempo.

#### 2.1.7 Tempo de Reverberação

Tempo de reverberação é definido como o tempo para que o nível de pressão sonora decresça 60 dB, após a interrupção da fonte sonora.

#### 2.1.8 Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw)

Índice de Redução Sonora (R) é um parâmetro que fornece a capacidade de um fechamento (uma parede, por exemplo) isolar o som de um ambiente para outro. Comumente é expresso em dB ou dB (A), por frequência ou através de um único valor total (Rw).

#### 2.1.9 Curvas de Ponderação

O ouvido humano não apresenta igual sensibilidade para todas as frequências audíveis. Esta variação de sensibilidade foi determinada através de numerosos trabalhos em laboratório, com um número elevado de observações, definindo-se assim um conjunto de curvas de igual sonoridade para distintas frequências e níveis de pressão sonora. Baseando-se nestas curvas pode-se constatar que o ouvido humano é mais sensível a altas frequências do que a baixas, apresentando uma maior sensibilidade entre 1000 Hz e 4000 Hz.

A Figura 7 apresenta a função de transferência dos filtros ponderadores A, B, C e D. Segundo Bistafa (2006, p. 77),

Quando uma medição de nível sonoro é feita com um filtro ponderador, o valor obtido em decibéis é indicado na forma dB(X), em que “X” refere-se ao tipo de filtro ponderador utilizado na medição: A, B, C ou D. Quando o valor obtido na medição é indicado simplesmente por dB ou dB (linear), subentende-se que nenhum filtro ponderador foi utilizado na medição. Nesse caso, o nível sonoro medido corresponde à energia sonora total contida no sinal.

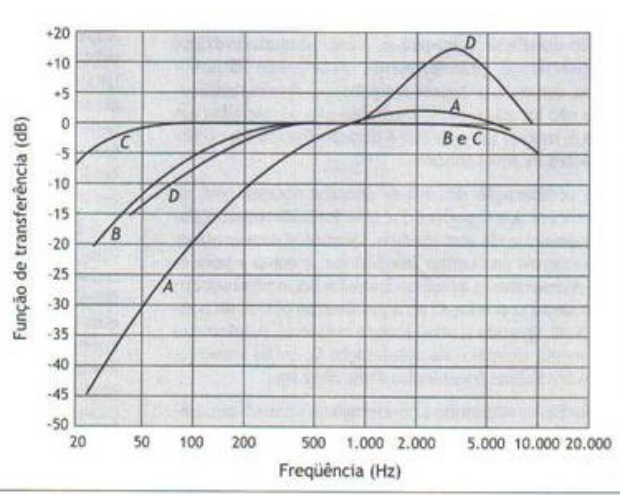


Figura 7 – Função de transferência dos filtros ponderadores A, B, C e D. (BISTAFA, 2006, p. 77)

O filtro ponderador “A” aproxima a resposta do sistema auditivo para sons com níveis sonoros *moderados*, que normalmente se verificam nas atividades do cotidiano da vida moderna, sendo o mais comumente recomendado para medições de ruído, por apresentar uma série de vantagens, tais como:

- fornece valores que são bem correlacionados com a perda de audição por ruído;
- é facilmente implementado nos medidores de nível sonoro;
- fornece como resultado um número único;
- é indicado pela maioria das normas e legislações relativas ao ruído.

#### 2.1.10 Propagação do Som

O som requer um meio qualquer para se propagar (sólido, líquido ou gasoso), não sendo possível se propagar no vácuo. A partir da fonte, o som se propaga em todas as direções, segundo uma esfera. Contudo, para Gerges (1992, p. 05), “duas situações podem

dificultar este modelo simples: a presença de obstáculos na trajetória de propagação e, em campo aberto, a não uniformidade do meio, causada por ventos e/ ou gradientes de temperaturas”.

Uma fonte de ruído produz, no ar do ambiente em que se encontra, ondas de pressão que saem de si e se chocam com as paredes, as quais entram em vibração irradiando som para os ambientes vizinhos.

Quanto maior a massa da parede, mais isolamento sonora esta possui. A Figura 8 ilustra o efeito do ruído aéreo em uma parede.

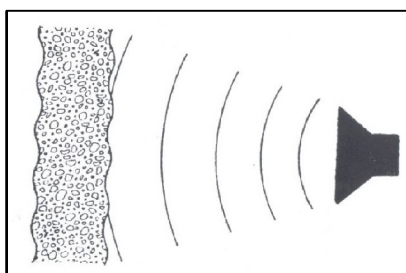


Figura 8 – A parede é colocada em vibração por ruído aéreo (MEISSER, 1973, p. 187)

O ruído de impacto provocado pelo choque de um objeto sobre uma parede, transmite diretamente a esta uma grande quantidade de energia que se concentra próximo à superfície de contato. Assim como no ruído aéreo, a parede também irradia som para os locais vizinhos, porém sua energia é mais difícil de ser atenuada no sentido de não causar desconforto. No caso do impacto, a massa da parede não tem um papel tão importante, sendo necessário atuar sobre o revestimento da superfície ou na descontinuidade do material que compõe a parede para obter-se um isolamento eficiente.

#### 2.1.11 Efeitos do Ruído no Conforto Sonoro e na Saúde

A NBR 10152 (ABNT, 1987) fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, conforme demonstrado no Quadro 1.

De acordo com esta norma, o valor inferior apresentado em cada caso representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior representa o nível sonoro aceitável

para a finalidade do local. Ainda, níveis superiores aos estabelecidos pela norma são considerados de desconforto, sem implicar, necessariamente, em riscos à saúde.

Murgel (2007, p. 37) diz que “uma comunidade reage negativamente a uma fonte sonora, a partir de 65 dB (A), quando surgem raras reclamações. Estas se tornam generalizadas quando o nível de ruído atinge 75 dB (A) e a poluição sonora torna-se inaceitável a partir de 80 dB (A)”.

O Quadro 1 apresenta os valores de dB(A) e NC para locais como hospitais, escolas, hotéis, residências, auditórios, restaurantes, escritórios, igrejas e templos e locais para esportes de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 1987).

LOCAIS	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35 -45	30 -40
Laboratórios, Áreas para uso público	40 - 50	35 -45
Serviços	45 -55	40 -50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 -45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 -50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35 – 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55	40 - 50
<b>Residências</b>		
Dormitórios	35 – 45	30 - 40
Salas de estar	40 – 50	35 - 45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concerto, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de Conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 – 35
<b>Restaurantes</b>	40 - 50	35 - 45
<b>Escritórios</b>		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
<b>Igrejas e Templos</b>	40 - 50	35 - 45
<b>Locais para esportes</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Quadro 1 – Valores dB (A) e NC

Fonte: NBR 10152 (ABNT, 1987)



Na Figura 9 podem ser observados os efeitos do ruído sobre a audição humana, efeitos estes que dependem diretamente dos níveis de ruído e do tempo de exposição do indivíduo a este ruído.

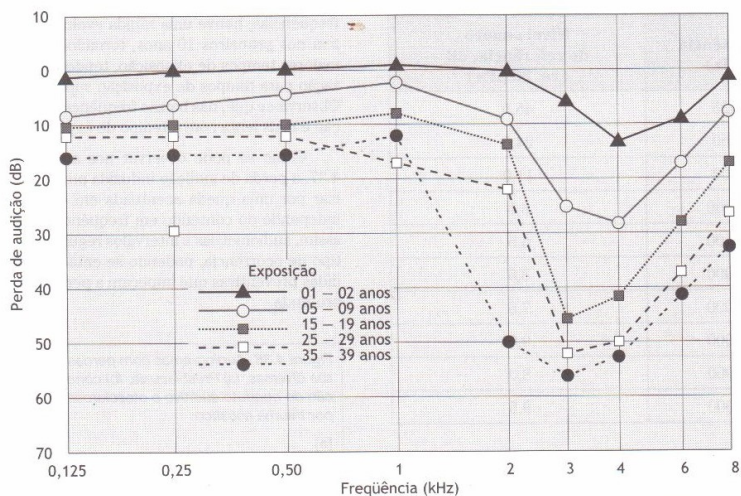


Figura 9 – Evolução da perda auditiva com o tempo de exposição ao ruído. (BISTAFA, 2006, p. 50)

## 2.2 Considerações sobre a Norma Internacional ISO 140/I/II/III

A norma ISO 140 (Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements) trata sobre ensaios de isolamento acústico de elementos construtivos. A parte I (Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission) se refere às condições do laboratório, a parte II (Part 2: Determination, verification and application of precision data) trata da precisão dos dados obtidos e a parte III (Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements) diz respeito aos ensaios sobre ruído aéreo em laboratório:

ISO 140 – I (1997): aborda especificações relativas às dimensões das câmaras dos laboratórios. No caso de isolamento são em duas câmaras, divididas através de uma amostra de ensaio (como uma parede, por exemplo). A norma define as dimensões desses elementos construtivos. Cita – se:

- Câmara de transmissão: A câmara de transmissão é dividida em câmara de emissão e câmara de recepção. Essas não devem ter volumes e formas exatamente iguais. A primeira

deve ter, no mínimo, 50 m<sup>3</sup> de volume, e a segunda deve ter um volume com, no mínimo, 10% a mais do volume da outra;

- Amostras de ensaios: As amostras de paredes e janelas devem ter, aproximadamente, 10 m<sup>2</sup> e 1,68 m<sup>2</sup>, respectivamente. É fundamental ter o cuidado de instalar as amostras o mais similar possível da construção real.

ISO 140 – II (1991/Cor 1: 1993): Menciona procedimentos relativos à precisão dos ensaios, como repetições e exatidão de resultados, segundo cálculos estatísticos.

ISO 140 – III (1995): Trata de detalhes em medições laboratoriais e das fórmulas empregadas em ensaios de isolamento de ruído aéreo de elementos construtivos. Cita – se:

- Ruído de medição: O ruído gerado pela fonte sonora deve ser estacionário e apresentar espectro constante. Deve ser usado filtro de, pelo menos, 1/3 de oitava;

- Potência sonora da fonte: A fonte sonora deve ter potência alta para que o som chegue na câmara de recepção, com no mínimo, 15 dB a mais de NPS que o ruído de fundo.

- Área de absorção: Para fins de cálculo da área de absorção equivalente da câmara de recepção, deve ser utilizada, preferencialmente, a fórmula de Sabine, através do tempo de reverberação medido conforme a norma ISO 354 – Medição dos coeficientes de absorção acústica em sala reverberante (ISO, 1985);

- Fórmula para ensaios de isolamento acústico: A norma determina a utilização da equação 3 para o cálculo do Índice de Redução Sonora R, também conhecida como Perda de Transmissão Sonora.

$$R = NPS_1 - NPS_2 + 10 \log \left( \frac{6,15 S TR}{V} \right) \quad (3)$$

Em que:

NPS<sub>1</sub>: NPS medido na câmara de emissão (dB);

NPS<sub>2</sub>: NPS medido na câmara de recepção (dB);

S: Área da amostra ensaiada (m<sup>2</sup>);

TR: Tempo de reverberação medido na câmara de recepção (s);

V: Volume da câmara (m<sup>3</sup>).

### 2.3 Índice de Redução Sonora Ponderado $R_w$ (ISO 717)

A norma internacional ISO 717 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATIONS – Acoustic – rating of sound insulation in bulduing elements) indica um método para classificar, mediante um valor único, o isolamento para ruído aéreo, oferecido por elementos construtivos, tais como paredes, pisos, portas e janelas. O método consiste em comparar os níveis de isolação sonora oferecidos por um elemento, medidos em bandas de 1/3 de oitavas, com uma curva de referência padrão, conforme a Figura 10.

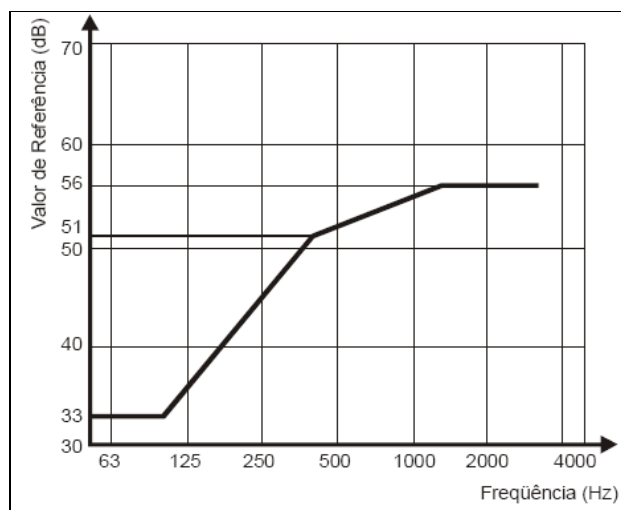


Figura 10 – Curva de valores de referência para som aéreo em terços de oitava (ISO 717, 1996, p. 03)

Os valores medidos obtidos de acordo com a norma ISO 140/III são comparados com os valores de referência tabelados, conforme a tabela 2, nas frequências de medição, no intervalo de 100 a 3150 Hz para as bandas de 1/3 de oitava.

Para se realizar tal comparação, deve-se plotar a curva de referência, variando de 1 em 1 dB em direção à curva medida, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não excedendo a 32 dB, para bandas de 1/3 de oitava. O desvio desfavorável, em uma dada frequência, ocorre, quando o resultado da medição é menor que o valor de referência. Somente tais desvios desfavoráveis devem ser levados em conta.

O número único para o índice de redução sonora é o valor, em decibéis da curva de referência a 500 Hz, após a plotagem anteriormente descrita.

Para a determinação do  $R_w$  de cada ensaio foi desenvolvida uma planilha de cálculo utilizando o programa Excel, de acordo com os procedimentos descritos na Norma ISO 717 – 1.

Tabela 2 – Valores de referência

FREQUÊNCIA (Hz)	Valores de referência, dB	
	Bandas de 1/3 de oitava	Bandas de oitava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Fonte: ISO 717, 1996

## 2.4 Isolamento Acústico

Tratar acusticamente de um ambiente significa dar-lhe boas condições de audibilidade e bloquear os ruídos externos e internos que prejudiquem essa boa audibilidade. Para tal, a

acústica vem se aprimorando em dois tópicos básicos: o isolamento sonoro e a absorção acústica.

#### 2.4.1 Isolamento Sonoro

O isolamento sonoro refere-se à capacidade de certos materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora (ou ruído) passe de um recinto a outro. Neste sentido, “isolar acusticamente um recinto fechado consiste em bloquear os ruídos externos ao mesmo patamares compatíveis com a atividade a ser desenvolvida no seu interior” (CARVALHO, 2006, p. 79).

Nestes casos, se deseja impedir que o ruído alcance o homem em níveis acima dos recomendados. Normalmente são utilizados materiais densos como, por exemplo: concreto, vidro, chumbo, aço, etc...

Isolamento de ruídos aéreos: quando a fonte geradora do som atua diretamente sobre o ar, como por exemplo, vozes, instrumentos musicais e aparelhos de reprodução sonora.

Isolação de ruído de impacto ou estrutural: quando a fonte geradora de ruído é uma vibração, contínua ou de impacto, gerada diretamente sobre a estrutura e que se transmite por meio sólido, como por exemplo, os passos.

#### 2.4.2 Absorção Acústica

A absorção acústica trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras no mesmo ambiente. Conforme Carvalho (2006, p. 81):

A absorção acústica consiste em atenuarmos os efeitos dos sons em ambientes, posto que, quando um som atinge uma superfície lisa e dura, parcela significativa dele é refletida e, em caso contrário, quando atinge superfície macia, parcela significativa dele é absorvida.

Nesses casos se deseja, além de diminuir os níveis de pressão sonora no recinto, melhorar o nível de inteligibilidade. Contrariamente aos materiais de isolamento, esses materiais são materiais leves (de baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos como, por exemplo, espumas poliéster de células abertas, fibras cerâmicas e de vidro, tecidos, carpetes, etc.

A quantidade de energia sonora absorvida depende também das dimensões, espessura, forma de instalação, forma geométrica e quantidade do material por área.

O coeficiente de absorção sonora de um material é obtido experimentalmente em uma câmara de testes especial, denominada câmara reverberante. A este coeficiente obtido chama-se de alfa Sabine, e indica a diferença entre a energia incidente e a refletida.

Bistafa (2006, p. 232), afirma que:

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

Nos materiais sólidos, os principais mecanismos de absorção sonora não existem devido a estes não permitirem que as moléculas de ar interajam com a sua estrutura. As características de absorção sonora destes materiais passam a depender da superfície destes. O coeficiente de absorção sonora de materiais sólidos depende do som incidente e da rugosidade superficial, sendo assim, quanto menos rugosa a superfície, menor é o seu coeficiente de absorção sonora.

#### 2.4.3 Isolamento a Ruídos Aéreos

Souza, Almeida e Bragança (2006, p. 84) consideram que “os principais elementos da edificação responsáveis pela transmissão de ruídos aéreos para o interior de um ambiente são janelas, portas, paredes, pisos, tetos, frestas ou fendas existentes nas superfícies que compõe o ambiente”.

Ao incidir sobre uma superfície, uma onda sonora produz uma vibração na mesma, a qual irradia energia para o outro lado, produzindo um som. É como se o painel de fechamento atuasse como uma nova fonte sonora.

Visto de uma forma mais detalhada, quando uma onda sonora de energia  $E_i$  incide sobre uma parede, se decompõe em duas: uma energia refletida  $E_r$  e uma absorvida  $E_a$ . Esta última, por sua vez, se decompõe em: energia dissipada no interior da parede  $E_d$ , sob a forma de calor, devido a atritos internos que suas moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; e energia transmitida através da parede  $E_t$ . Este fenômeno é mostrado na Figura 11.

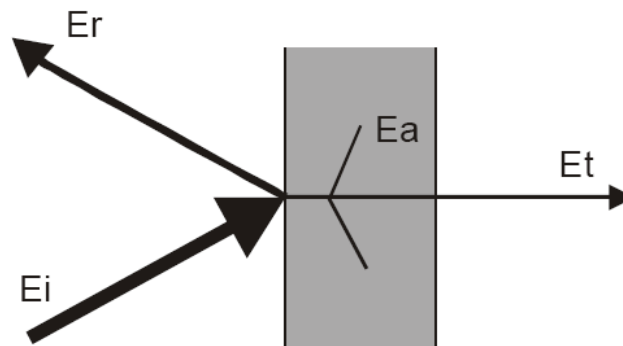


Figura 11 – Reflexão, absorção e transmissão do som (MÉNDEZ et. al, 1994, p. 107)

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

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (4)$$

Para se obter o isolamento acústico entre recintos ou a diferença de nível ( $D$ ), mede-se os NPS na sala de emissão ( $NPS_1$ ) e na sala de recepção ( $NPS_2$ ).

$$D = NPS_1 - NPS_2 \quad (5)$$

Para avaliação do desempenho acústico de dispositivos de fechamentos, como divisórias, paredes, janelas e, inclusive fachadas, examina-se o valor chamado perda de transmissão (PT) ou índice de redução sonora ( $R$ ), definido pela equação 6, onde  $S$  é a superfície da parede ( $m^2$ ) e  $A_2$  é a absorção do local receptor ( $m^2$ ):

$$R = D + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad (6)$$

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

### 2.4.3.1 Isolação Sonora de Paredes Simples

A transmissão num fechamento simples varia conforme a frequência sonora do som incidente. Assim, para uma quantificação correta, devemos conhecer o índice de redução sonora de cada material em todas as frequências audíveis.

O esquema de variação da perda de transmissão (PT) em função da frequência é apresentada na Figura 12, em que se pode observar quatro regiões bem definidas.

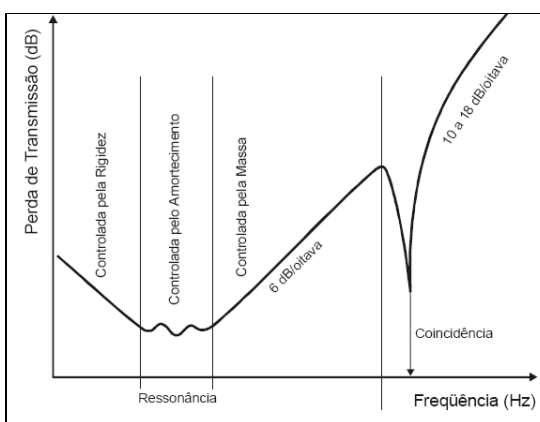


Figura 12 – Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples (GERGES, 1992, p.197)

- a) Região controlada pela rigidez: para frequências muito baixas, a perda de transmissão depende das características de rigidez do fechamento. Quanto mais rígido for o material, pior será o isolamento.
- b) Região controlada pela ressonância: é a região onde aparecem as primeiras frequências de ressonância, produzindo picos desordenados no isolamento. A ressonância depende das dimensões, da rigidez, e da massa por unidade de superfície da parede, que influenciam na determinação da frequência natural dos elementos construtivos.
- c) Região controlada pela massa: Acontece em frequências maiores que o dobro da primeira ressonância, e nela, a isolação acústica do fechamento depende da massa do elemento e da frequência incidente.



Dessa forma, a perda de transmissão tende a representar um aumento de 6 dB para cada duplicação da massa ou a cada duplicação da frequência da onda incidente. Tendo como ponto de partida a Lei da Massa, pode-se concluir que para isolar um ruído é necessário utilizar materiais de alta densidade superficial.

Quanto maior a massa do fechamento e maior a frequência incidente, maior será a dificuldade para fazer o material vibrar, garantindo assim um isolamento mais eficiente. Deve-se levar em consideração, no entanto, que todas as imperfeições, vazios, orifícios e outras discontinuidades que prejudiquem a estanqueidade ao ar do fechamento irão prejudicar o isolamento do conjunto.

- d) Região controlada pela coincidência: a partir de uma frequência chamada crítica ( $f_c$ ), se produz uma perda significativa no isolamento, devido ao fenômeno da coincidência. Além dessa frequência (além da quarta região) o isolamento tende ao determinado pela Lei da Massa.

Segundo Méndez *et al* (1994, p. 111), esta frequência de coincidência acontece porque, no ar, o som se propaga por ondas longitudinais e sua velocidade é a mesma para todas as frequências. Nos sólidos, as ondas podem se propagar de diversas formas, sendo as ondas de flexão as mais importantes para fechamentos. Essas ondas se propagam com velocidade proporcional à frequência. Desse modo, haverá uma frequência crítica na qual a projeção do comprimento de onda do som incidente será igual ao comprimento de onda livre a flexão, ao longo do fechamento, conforme a Figura 13.

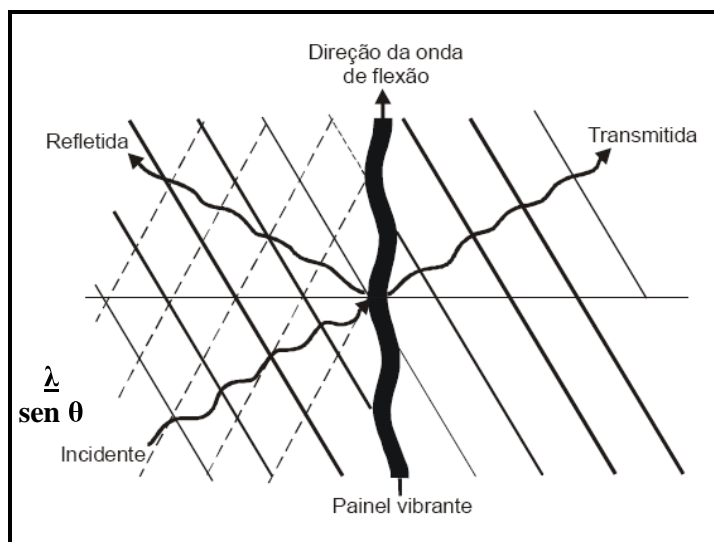


Figura 13 – Efeito da coincidência (MÉNDEZ et al., 1994, adaptado)

Méndez *et al* (1994, p.112), define a frequência crítica  $f_c$  através da equação 7, onde  $c$  é a velocidade do som,  $B$  é a rigidez dinâmica à flexão e  $m$  é a massa superficial.

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \left( \frac{m}{B} \right)^{1/2} \quad (7)$$

A rigidez dinâmica à flexão é calculada por Gerges (1992, p.199) envolvendo as propriedades mecânicas de elasticidade dos materiais, a partir da equação 8, considerando que  $E$  é o módulo de Young,  $h$  é a espessura da parede e  $\nu$  caracteriza o coeficiente de Poisson é

$$B = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (8)$$

Conforme o CSTB (1982),

o valor da perda de isolamento de uma parede, à frequência crítica, depende das perdas internas (capacidade de gerar calor) do material que a constitui. Assim, para materiais de baixas perdas internas (aço, alumínio, vidro) a diminuição do isolamento é na ordem de 10 dB em relação à Lei da Massa.

Para os materiais com perdas internas médias (madeira, concreto) a diminuição é de 6 a 8 dB. Já para aqueles materiais com altas perdas internas (borrachas, cortiça) a diminuição é na ordem 3 a 4 dB.

Para materiais utilizados na construção civil em fechamentos, constata-se que existem três regiões distintas quanto ao isolamento: a região controlada pela Lei da Massa, a região da Coincidência, onde está a  $f_c$ , e a região acima da coincidência.

Por isso, é importante a identificação da  $f_c$  de um fechamento, pois nessa região ocorre uma diminuição no isolamento. Como regra geral, procura-se usar materiais com  $f_c$  situada em uma zona pouco sensível ao ouvido humano, como nas frequências muito baixas ou muito altas, a fim de não comprometer o isolamento.

O CSTB (1982), conforme a Figura 14, mostra a lei que relaciona o índice de redução R e a massa de fechamento para o modelo teórico e dois modelos experimentais com espectros de emissão usuais.

A partir daí, consideram-se então dois grandes grupos: os chamados fechamentos leves, com massa inferior a 150 Kg/m<sup>2</sup>; e os fechamentos pesados, com massa superior a 150 Kg/m<sup>2</sup>.

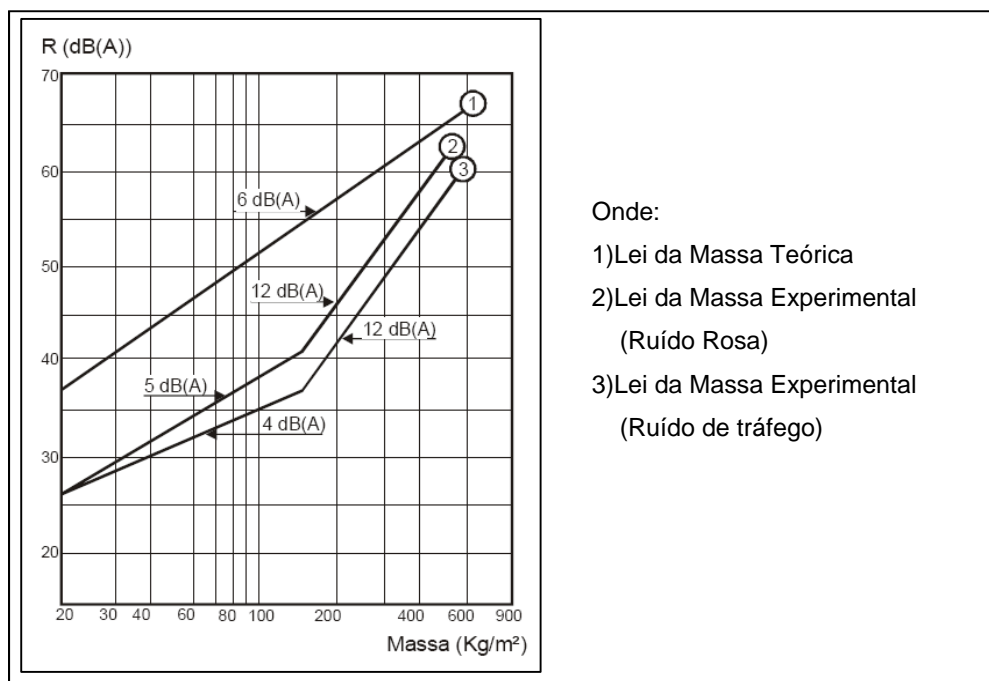


Figura 14 – Lei da Massa (CSTB, 1982, adaptado)

#### 2.4.3.2 Redução de Transmissão em Paredes Duplas

A Lei da Massa não pode servir como solução de todos os problemas de acústica nos ambientes, pois seria necessário aumentarmos consideravelmente o peso dos fechamentos, o que, muitas vezes, é inviável, por razões funcionais, de espaço e econômicas. “Uma solução para sistemas em que se requer uma alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de paredes duplas (ou triplas)”. (GERGES, 1992, p.205).

A combinação de fechamentos paralelos, afastados entre si, formando espaço preenchido pelo ar ou por algum material absorvente acústico, garante um isolamento maior que o efeito produzido pela Lei da Massa, para uma mesma espessura, é o chamado “efeito

sanduíche” (SILVA, 1997, p. 89). Os componentes individuais podem ser constituídos pelo mesmo material ou por materiais diferentes, de espessuras iguais ou assimétricas.

O isolamento acústico proporcionado por uma parede dupla é diferente da soma dos componentes que compõem a parede.

## 2.5 Janelas

A janela como componente de uma edificação, além de suas funções intrínsecas e tradicionais deve ser avaliada em sua composição, modelo e utilização.

Os países mais desenvolvidos da América do Norte e da Europa dominam a tecnologia de esquadrias acústicas, principalmente de PVC.

Devido às rigorosas condições climáticas que ocorrem em alguns países houve a necessidade do desenvolvimento de tecnologia para as esquadrias, tais como: estanqueidade, natureza dos caixilhos, maneira de colocação e tipo de vidro.

Dentro desse contexto, principalmente a Alemanha e a Itália subsidiaram várias iniciativas para o desenvolvimento, produção e comercialização de janelas que tivessem duas importantes características: conforto termo-acústico e sustentabilidade. Uma das tipologias de janelas que surgiram com esse esforço, foram as de PVC rígido e vitragem dupla. A Figura 15 mostra um perfil de PVC rígido utilizado em janelas acústicas com boa estanqueidade.



Figura 15 – Perfil de PVC rígido e vitragem dupla (Fonte: Foto Ângela Pisani, 2006)

No Brasil, a utilização de janelas com bom desempenho acústico ainda é incipiente. Dentre os motivos para essa baixa utilização podem ser citados:

- Ausência de uma política pública de incentivo ao desenvolvimento, produção e comercialização de esquadrias com melhor qualidade, capazes de garantir conforto termo-acústico e conservação de energia;
- Baixo poder aquisitivo da grande maioria da população, a qual não dispõe de recursos suficientes para adquirir esquadrias com maior estanqueidade ao som;
- Desconhecimento ou mesmo negligência do consumidor final no momento de aquisição de um imóvel;
- Falta de legislação eficiente que possa obrigar as construtoras a produzirem habitações com melhor qualidade acústica;
- Resistência cultural quanto à utilização de janelas pivotantes, as quais possuem maior vedação e isolamento acústico do que as esquadrias com caixilho de correr.

A NBR 10821 – Caixilhos para Edificação – Janela (ABNT, 1989), apresenta os requisitos fundamentais para a definição do perfil de desempenho de uma janela, que são:

- estanqueidade à água da chuva;
- estanqueidade ao ar;
- estanqueidade a insetos e poeiras;
- isolamento sonora;
- iluminação;
- ventilação;
- facilidade de manuseio;
- manutenção;
- durabilidade;
- resistência aos esforços de uso;
- resistência a cargas de ventos;
- economia.

Observa-se que entre os objetivos dessa Norma Brasileira destaca-se a preocupação em assegurar ao consumidor o recebimento dos produtos com condições mínimas exigíveis de desempenho.

Ferreira e Zannin (2007, p. 24), ao avaliarem os índices de isolamento acústico de residências em Curitiba, observaram que “99% da energia sonora são transmitidos através da

partição avaliada, ou seja, da janela de alumínio de correr”. Podendo-se perceber que a janela é o elemento por onde a maior parte da energia sonora é transmitida.

A Figura 16 apresenta um modelo de janela de tecnologia regional.



Figura 16 – Janela com tecnologia regional usada como referência na série “B” de ensaios (Fonte: Foto Ângela Pisani, 2007)

Na Figura 17 são mostrados alguns modelos de esquadrias fabricadas no Rio Grande do Sul.

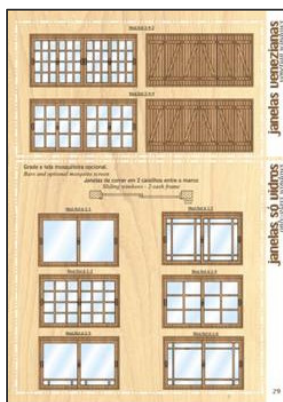


Figura 17 – Janelas venezianas e janelas só vidros (ESQUADRIAS PRIMO, 2008)

Recchia (2001, p. 79), ao pesquisar acerca do isolamento acústico a ruído aéreo dos elementos construtivos que compõe a fachada (paredes, janelas e condicionadores de ar), fabricados no Rio Grande do Sul, concluiu que “as janelas constituem o elemento fraco no isolamento de fachadas, independente do material utilizado em sua confecção, na ordem de 20 dB (A) para janelas de correr e 28 dB (A) para modelos de fechamento maxim-ar”.

Os dados obtidos por Recchia (2001) nos ensaios com as janelas com tecnologia regional podem ser visualizados na Quadro 2.

N. ensaio	Material	Fechamento	Vidro	Complemento	R dB(A)
09	madeira	correr	simples 3mm	-	19,1
10	madeira	maxim-ar	simples 3mm	-	26,4
11	madeira	correr	simples 3mm	com veneziana	22,7
12	madeira	correr	simples 3mm	com veneziana com vedação fita 2 lados	25,0
3	madeira	correr	duplo 3mm	-	20,0
14	alumínio	correr	simples 3mm	com efeito de pressão nas folhas	21,1
15	alumínio	correr	simples 3mm	-	17,8
16	alumínio	maxim-ar	simples 3mm	-	28,2
17	alumínio	maxim-ar	impresso canelado 3mm	-	28,2
18	alumínio	correr	simples 3mm	com persiana	24,8
19	ferro	correr	simples 3mm	com grande pressão	23,5
20	ferro	correr	simples 3mm	-	21,1
21	PVC	maxim-ar	simples 3mm	-	30,0
22	PVC	correr	reflexivo 3mm	-	20,5
23	PVC	correr	simples 3mm	-	20,0

Quadro 2 – Valores de R para Janelas

Fonte: RECCHIA, 2001, p. 58 - adaptado

Nos ensaios, a autora observou que existe uma dispersão muito grande no desempenho acústico das janelas, sendo que,

...essa variação está relacionada com o tipo de fechamento das janelas, à sua estanqueidade, ao tipo de ferragens utilizadas na sua concepção, ao tipo de abertura, ao material utilizado, à presença de venezianas ou persianas e aos elementos de vedação à base de elastômeros (RECCHIA, 2001, p. 58).

O gráfico apresentado na Figura 18 ilustra essa dispersão.

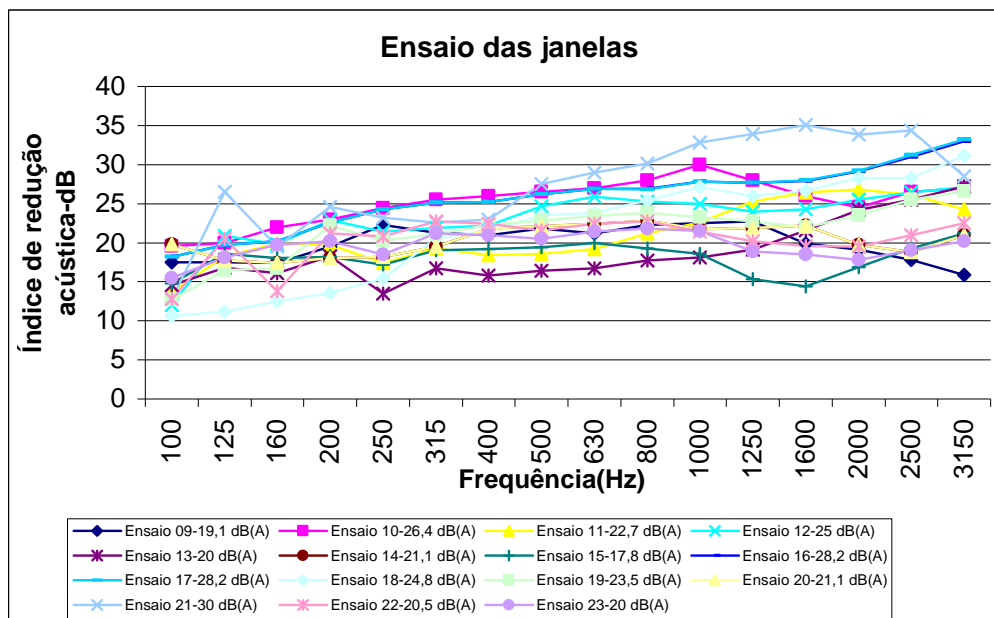


Figura 18 – Ensaio das janelas (RECCHIA, 2001, p. 59, adaptado)

Conforme Recchia (2001, p. 64), a janela de madeira com veneziana apresentou performance similar à janela de madeira sem-veneziana para as baixas e médias frequências. Nas altas frequências, o modelo de janela de madeira com veneziana obteve uma melhora em torno de 8 dB.

Quanto às janelas de alumínio, a autora averiguou que a presença da persiana aumentou o isolamento acústico da janela nas médias frequências (de 315 a 1000 Hz) em torno de 5 dB, e para as altas frequências (acima de 1000 Hz) em aproximadamente 10 dB. Nas baixas frequências o isolamento diminuiu.

Nos quadros 3 e 4 são demonstrados os resultados obtidos por Oliveira (2007) ao avaliar o comportamento da isolamento sonora de janelas duplas (onde uma segunda janela é sobreposta à primeira, havendo entre ambas uma camada de ar). No primeiro momento foram duplicadas janelas com baixa estanqueidade ao ar e a seguir janelas que apresentavam boa estanqueidade ao ar.



<b>Nº Ensaio</b>	<b>Descrição da amostra</b>	<b>R (dB)</b>
01	Parede de alvenaria em tijolo maciço Espessura = 22 cm	50
02	Uma janela de correr com tecnologia regional Espessura do vidro = 4 mm	18
03	Duas janelas com tecnologia regional Espessura de ambos os vidros = 4 mm	26
04	Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm	28

Quadro 3 – Valores de  $R_w$  para duplicação de janelas com tecnologia regional

Fonte: OLIVEIRA, 2007, p. 57, adaptado

<b>Nº Ensaio</b>	<b>Descrição da amostra</b>	<b>R (dB)</b>
05	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm	29
06	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm	29
07	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqüidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm	33
08	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqüidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm + uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqüidade e vidro simples de 6 mm	37
09	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqüidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm + uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqüidade e vidro simples de 8 mm	37
10	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm + Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm	34

Quadro 4 – Valores de  $R_w$  para duplicação de janelas com boa estanqueidade ao ar

Fonte: OLIVEIRA, 2007, p. 60 - adaptado

A partir dos ensaios, Oliveira (2007) averiguou que a duplicação de janelas com baixa estanqueidade ao ar atingiu um  $R_w=26$  dB, com acréscimo de 8 dB em relação à uma única janela do mesmo tipo. Nesse caso o ganho de isolamento ocorreu, principalmente, nas médias e baixas frequências. Em relação à duplicação de janelas com boa estanqueidade, atingiu-se um  $R_w$  final de 37 dB, sendo o acréscimo no isolamento acústico dependente do desempenho inicial da primeira janela. O ganho em isolamento nesta segunda situação foi de 4 a 8 dB, com incidência, sobretudo nas baixas e médias frequências.

### 2.5.1 Vitragem

Conforme Scherer (2005, p. 96) fechamentos com vitragens simples de espessuras diferentes seguem a lei da massa com incrementos de isolamento sonoro na ordem de 0,5 dB (A) para cada milímetro de acréscimo na espessura de vidros monolíticos comuns ou temperados e quanto maior for a espessura do vidro comum ou temperado, menor é a frequência crítica do material. Scherer concluiu ainda que os vidros laminados apresentam um ganho de isolamento acústico de cerca de 2 dB(A) em relação aos vidros comuns e temperados de igual espessura, devido à presença do filme de butiral de polivinil (PVB), cuja consequência é suavizar o efeito da frequência crítica.

A Figura 19 ilustra ensaios feitos por Scherer com relação à vitragem simples.

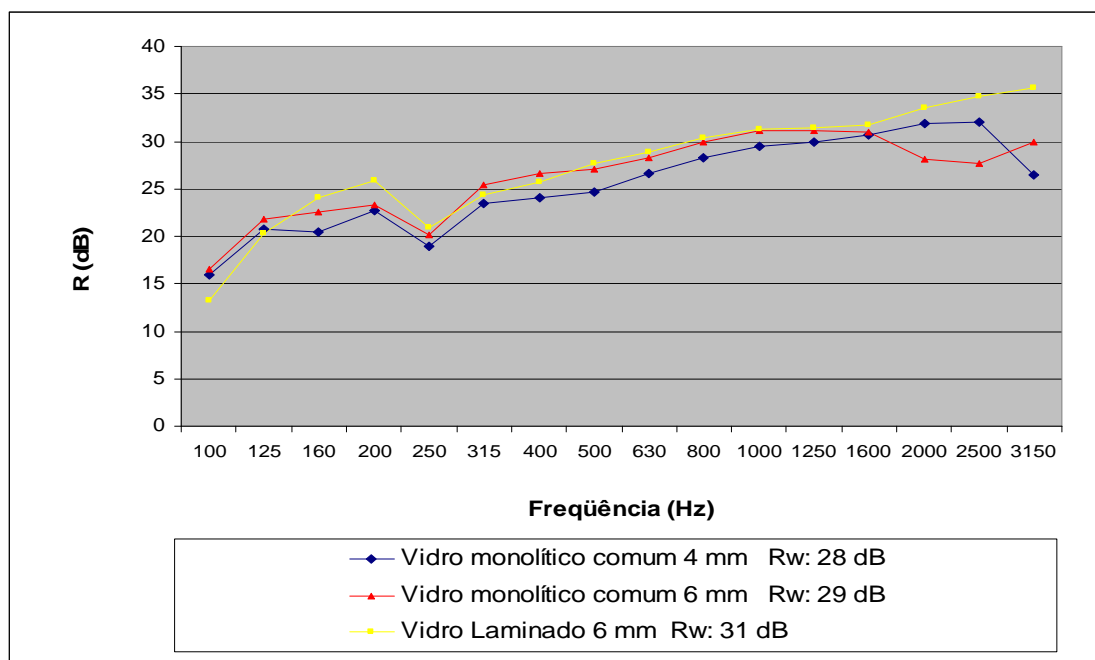


Figura 19 – Valores de R (dB) para vidros monolíticos comuns (Scherer, 2005, p. 75)

### 2.6 Cortinas de Tecido Black-Out

A origem das cortinas é do século XVII, quando as holandesas começaram a cobrir suas janelas com tecidos para ter mais privacidade. Logo após, essa tendência espalhou-se por

toda a Europa e, atualmente, as cortinas transformaram-se num elemento não apenas de decoração, mas também num componente da fachada nas edificações.

As grandes vantagens do uso de cortinas nos ambientes são: a alta rotatividade do seu uso; o tipo de tecido utilizado para as cortinas (em substituição de venezianas e persianas); e um baixo custo de manutenção e execução. Os tecidos e outros materiais usados hoje em dia na confecção das cortinas são os mais variados.

Do ponto de vista acústico, Santos *et al* (1998, p. 312) ao analisarem o desempenho de cortinas leves no isolamento sonoro de ambientes, buscando desenvolver painéis para cortinas isolantes, enfatizaram a importância de se estudar materiais alternativos, destacando que “o desenvolvimento de cortinas para o isolamento de aberturas, traria uma solução a curto prazo para obras já existentes, ou que viessem a ser construídas”, e com um custo acessível para uma parcela da população mais necessitada.

Um tipo de cortina que vem sendo cada vez mais utilizado pelos hotéis, clínicas, pousadas e residências, são as chamadas cortinas de tecido black-out. Essas cortinas têm a função de vedar o ambiente, impedindo a passagem de luz. Outras vantagens que estas apresentam são a durabilidade e a fácil limpeza, manutenção e substituição.

A Figura 20 mostra uma composição da cortina de tecido black-out com o restante do ambiente.



Figura 20 – Composição de Cortina black-out com o ambiente. (REVESTIR, 2008)

Hoje em dia, as fábricas de tecidos apostam numa coleção que utilize o tecido black-out como um elemento de decoração, e não apenas como um componente “feito” das cortinas das edificações. Isto pode ser visualizado na Figura 21, que traz diferentes sugestões de cores e estampas para cortinas de tecido black-out.



Figura 21 – Tecido Black-out como elemento de decoração (REVESTIR, 2008)

As cortinas que serviram de referência para a realização desta pesquisa foram cedidas pelas empresas Vulcan e Döhler. As cortinas de tecido black-out são fabricadas com a seguinte composição: Vulcan: 20% algodão e 80% vinil<sup>1</sup>; Döhler: 60% algodão e 40% poliéster<sup>2</sup>.

A cortina utilizada na série “A” de ensaios, da empresa Vulcan tem densidade superficial = 0,5/m<sup>2</sup> e espessura de 1,5 milímetros. Na série “B” de ensaios foi utilizada uma cortina da empresa Döhler, com densidade = 0,426 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1 milímetro.

Nas figuras 22 a 26 são apresentados modelos de cortinas black-out disponíveis no mercado atualmente.

<sup>1</sup> Como todo plástico, o vinil é feito a partir de repetidos processos de polimerização que convertem hidrocarbonetos, contidos em materiais como o petróleo, em um único composto chamado polímero. O vinil é formado basicamente por etileno e cloro. Este dá ao vinil duas vantagens, a de não ser tão susceptível às mudanças de preço no mercado de petróleo e de não ser um bom combustível como os derivados de petróleo. Por uma reação química, o etileno e o cloro combinam-se formando o diclorato de etileno, que por sua vez é transformado em um gás chamado "VCM" (Vinyl chloride monomer, em português cloreto de vinila). O passo final é a polimerização, que converte o monómero num polímero de vinil, que é o PVC, ou simplesmente, vinil.

<sup>2</sup> As resinas de poliéster constituem uma família de polímeros de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. Poliéster é um termo que significa: poli (muitos, portanto muitos grupos ésteres); éster (é uma função química; um éster é obtido através da seguinte reação: ácido + álcool = éster + água). Desta maneira, moléculas de biácido e de biálcool originarão várias moléculas, formando o poliéster.



Figura 22 – Cortina black-out Luminette (Catálogo Luxaflex)



Figura 23 – Cortina black-out Luminette (Catálogo Luxaflex)



Figura 24 – Cortina black-out Duette (Catálogo Luxaflex)



Figura 25 – Cortina black-out Rolô (Catálogo Luxaflex)



Figura 26 – Cortina black-out Vignette (Catálogo Luxaflex)

### **3 METODOLOGIA**

O presente estudo realiza uma análise sobre a influência dos transpasses e dos afastamentos das cortinas de tecido black-out em relação à janela, para a melhoria da eficácia do isolamento sonoro nas fachadas.

A metodologia aplicada neste trabalho foi de natureza experimental e baseou-se na realização de ensaios no Laboratório do Setor de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, seguindo os procedimentos especificados pela Norma Internacional ISO 140/III, que trata sobre ensaios de isolamento acústico de elementos construtivos, a partir de ruídos aéreos em laboratório. Os resultados obtidos foram quantificados conforme previsto pela Norma Internacional ISO 717 – I, a qual estabelece um método para classificar, mediante um valor único, o isolamento para ruído aéreo, oferecido por elementos construtivos, tais como paredes, pisos, portas, janelas e fachadas.

#### **3.1 Características do Laboratório do Setor de Acústica da UFSM**

O Laboratório do Setor de Acústica da UFSM possui uma câmara reverberante para ensaio de isolamento acústico a ruído aéreo, construída com paredes de concreto armado de 30 cm de espessura, e passível de ser dividida em duas câmaras menores: câmara de emissão e câmara de recepção, com volumes respectivos de 60 m<sup>3</sup> e 67 m<sup>3</sup>.

A câmara de ensaio está apoiada sobre isoladores de neoprene e a forma geométrica é tal, que não existe paralelismo em relação a nenhuma das faces das paredes.

Entre as câmaras de emissão e recepção existe um pórtico de concreto de 55 cm de espessura com um vão livre de 4,10 m de largura por 3,20 m de altura, formando uma área de 13,12 m<sup>2</sup>, a qual é utilizada para colocar a amostra a ser ensaiada.

As portas da câmara para ensaio de isolamento são duplas e feitas em aço com 12,7 mm de espessura, tendo vão livre de 1,20 x 2,20 m e vedação acústica com borracha em todo o contorno para garantir uma perfeita estanqueidade. A Figura 27 ilustra de forma esquemática a câmara de ensaio.



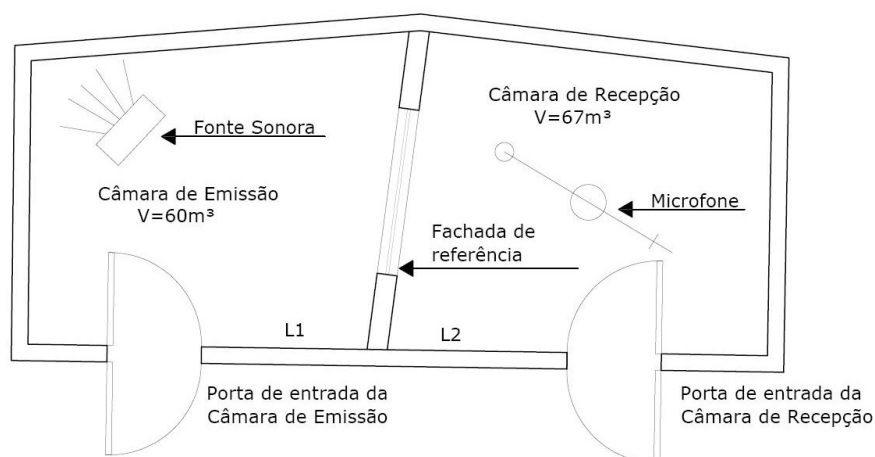


Figura 27 – Câmaras reverberantes do Laboratório do Setor de Acústica para ensaio de isolamento sonoro

Santos e Mutti (1991) consideraram aceitáveis a precisão das instalações e o procedimento de ensaio do laboratório, considerando-o operacional para a prestação de serviços à comunidade científica e empresarial.

### 3.2 Sistema de Medição Utilizado

O Laboratório do Setor de Acústica da UFSM possui uma série de equipamentos normalizados, destinados à realização de diferentes ensaios acústicos. Nos ensaios de isolamento sonoro foram utilizados os seguintes equipamentos (Fotos no Apêndice B):

- Fonte sonora Brüel & Kjaer Tipo 4224;
- Microfone Brüel & Kjaer tipo 4166;
- Analisador Acústico Brüel & Kjaer Tipo 4418;
- Calibrador Brüel & Kjaer Tipo 4230 (94 dB em 1000 Hz, com desvio de  $\pm 0,2$  dB);
- Analisador climático;

Fonte sonora: Utilizou-se uma fonte sonora com difusor, com atenuação de potência de - 10 dB e potenciômetro no nível 4 (pois não é necessário utilizar a potência máxima da

fonte), sempre em duas posições (dois cantos diferentes) e a 1 metro, no mínimo, de distância das paredes, e com inclinação de 30° em relação ao piso.

**Microfone:** O microfone foi posicionado, em todas as medições, no mínimo, há 1 metro das paredes, da amostra de ensaio e da fonte. Nas medições com TR, utilizou-se o microfone com suporte rotativo, com varredura de 1,0 m e trajetória inclinada. O tempo médio de cada ensaio foi de 16 segundos. Nas medições dos NPS da câmara de recepção, o microfone permaneceu fixo em cada um dos três pontos, a uma altura de 1,5 m do piso, ocorrendo três repetições em cada ponto.

### **3.3 Execução dos Ensaios**

Para execução dos ensaios foram feitas as seguintes medições:

- **Nível de pressão sonora:** por meio da fonte sonora, o ruído é gerado na câmara de emissão, por faixas de frequências de terços de oitava, nas frequências de 100 Hz a 3150 Hz. O analisador acústico realiza duas medições do nível de pressão sonora: na câmara de emissão e na de recepção, registrando tais valores na memória, podendo ser impresso pelo registrador gráfico;

- **Ruído de fundo:** o ruído de fundo é medido na câmara de recepção pelo analisador acústico e seu valor deve ficar, no mínimo, 10 dB abaixo do valor do nível de pressão sonora medido na câmara de recepção no laboratório.

- **Tempo de reverberação:** o ensaio inclui a determinação dos tempos de reverberação na câmara de recepção, em cada frequência, por meio do mesmo analisador acústico, tendo em vista quantificar a absorção sonora nessa câmara.

Todos os valores são medidos em cada uma das faixas de frequências de terço de oitava consideradas. Com essas medições, o índice de redução sonora ou perda de transmissão (R) é calculado pelo analisador acústico.

### **3.4 Componentes Ensaiaados**

Os ensaios laboratoriais foram executados em duas séries, designadas de Série A e Série B, tendo cada uma delas uma fachada diferente.

### 3.4.1 Série “A” de Ensaio

Os ensaios da Série A empregaram, como objeto de ensaio, uma cortina tipo black-out de vinil, de densidade superficial = 0,5 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1,5 milímetro. A fachada de referência utilizada foi uma parede de alvenaria com reboco em ambos os lados com uma esquadria de alumínio de correr sem persiana ou veneziana com dimensões de 1,20 x 1,30, conforme mostra de forma esquemática a Figura 28.

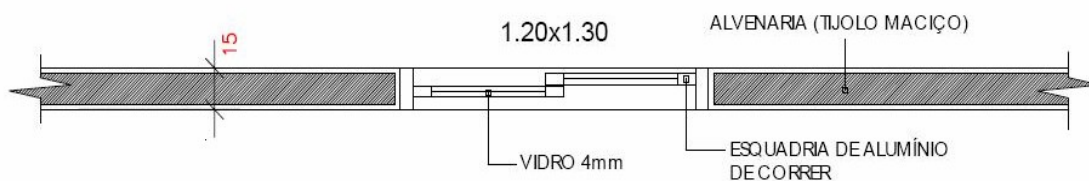


Figura 28 – Fachada de referência - Série “A” de ensaios

Os ensaios relativos a série A podem ser subdivididos em quatro grupos, segundo o tipo de análise realizada.

#### 3.4.1.1 Ensaio visando verificar a influência do afastamento (d) em relação à amostra de referência

A Figura 29 apresenta o esquema da montagem do ensaio, onde:

A1 – Cortina simples com  $d = 5$  cm.

A2 – Cortina simples com  $d = 10$  cm.

A3 - Cortina simples com  $d = 15$  cm.

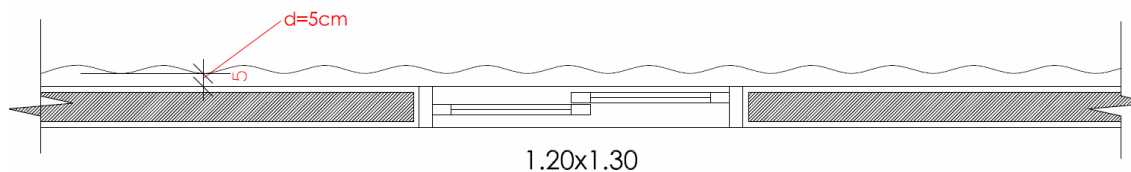


Figura 29 - Esquema montagem dos ensaios A1, A2 e A3

### 3.4.1.2 Ensaio visando verificar a influência do transpasse (T) em relação à amostra de referência

A Figura 30 mostra o esquema de montagem do ensaio, onde:

A4 – Cortina simples com  $d =$  afastamento de 15 cm da parede, com transpasse de 5 cm,  $T = 5$ .

A5 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede,  $d = 15$ , com transpasse de 10 cm,  $T = 10$ .

A6 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede,  $d = 15$ , com transpasse de 15 cm,  $T = 15$ .

A7 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede,  $d = 15$ , com transpasse de 20 cm,  $T = 20$ .

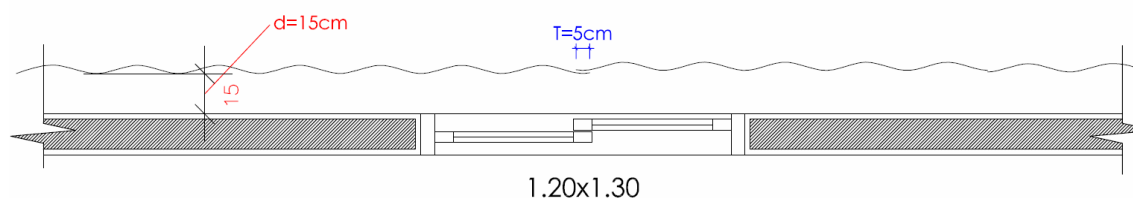


Figura 30 – Esquema de montagem dos ensaios **A4**, A5, A6 e A7

Nos ensaios A4, A5, A6 e A7 optou-se pela distância de 15 cm ( $d=15$ ) por ser a dimensão mais usada.

### 3.4.1.3 Ensaio verificando a influência da duplicação das cortinas e dos diversos afastamentos entre elas, variando as distâncias, em relação à amostra de referência

A Figura 31 demonstra o esquema de montagem do ensaio, no qual:

A8 – Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com  $d_1 = 5$  cm da parede e a outra com  $d_2 = 10$  cm da parede e o espaçamento entre elas  $e = 5$  cm.

A9 - Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com  $d_1 = 5$  cm da parede e a outra com  $d_2 = 15$  cm da parede e o espaçamento entre elas  $e = 10$  cm.

A10 – Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com  $d_1 = 10$  cm da parede e a outra com  $d_2 = 15$  cm e o espaçamento entre elas  $e = 5$  cm.

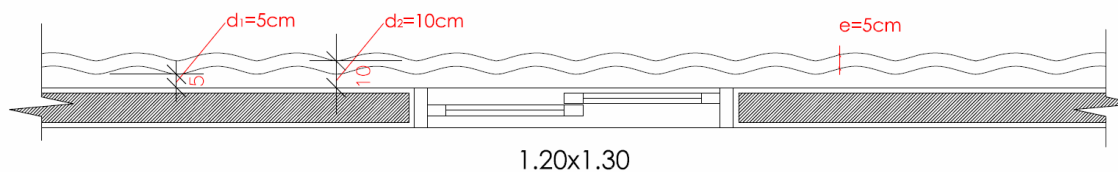


Figura 31 – Esquema de montagem dos ensaios **A8**, A9 e A10

#### 3.4.1.4 Ensaios visando verificar a influência do material absorvente colocado entre a cortina e a amostra de referência

Foram utilizados 02 painéis rígidos de lã de vidro da marca IsoSound® – Isover, aglomerada com resina sintética, com dimensões de 1,20 x 2,40 com espessura de 75 mm e 50 mm. Estes painéis possuem acabamento em um dos lados com tecido de vidro “Glass Fabric”, totalizando  $40 \text{ Kg/m}^3$  de densidade, com  $\text{NRC} = 0,95$ , que são representados na Figura 32.

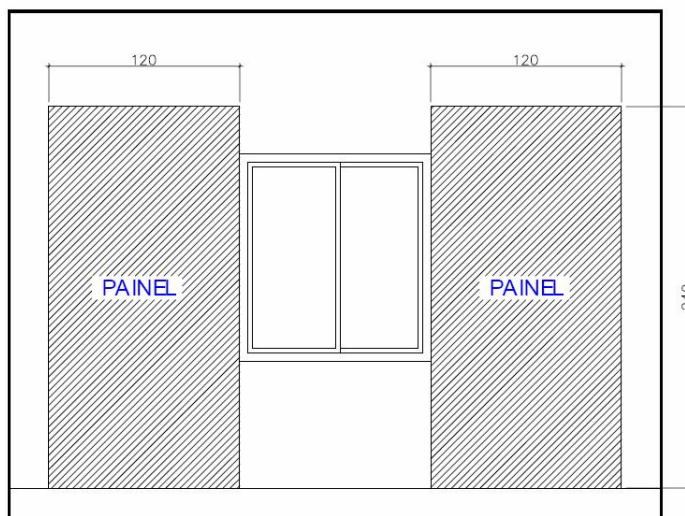


Figura 32 – Painéis rígidos de lã de vidro

A Figura 33 apresenta o esquema de montagem do ensaio, no qual:

A11 - Cortina simples com  $d = 15$  cm da parede e painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura.

A12 - Cortina simples com  $d = 15$  cm da parede e painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura.

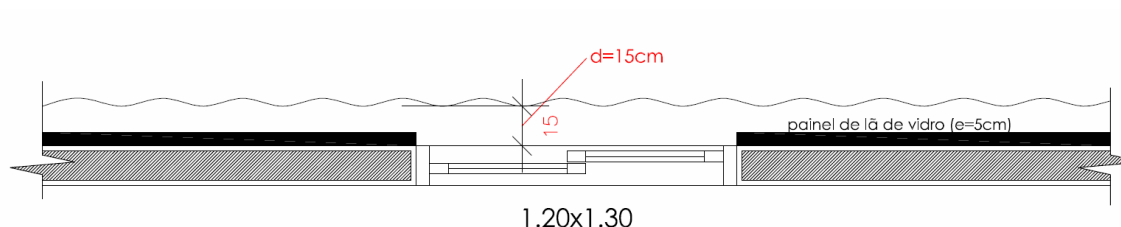


Figura 33 – Esquema de montagem dos ensaios **A11** e **A12**

Nos ensaios A11 e A12 optou-se pela distância de 15 cm ( $d=15$ ) da parede, e painéis de lã de vidro de 50 mm e 75 mm de espessura, por serem as dimensões mais usadas.

### 3.4.2 Série “B” de Ensaios

Os ensaios que constituem a série B se referem ao estudo de uma cortina tipo black-out de poliéster, com densidade =  $0,426 \text{ Kg/m}^2$  e espessura de 1 milímetro.

A fachada de referência foi constituída de uma parede de placas pré-moldadas de raspas de pneus, sendo sua face interna (câmara de recepção) revestida com lambri, com uma janela central de correr, em madeira com vitragem de 3 mm e venezianas de abrir. Totalizando uma parede de 8 cm. A Figura 34, esquematiza a fachada de referência.

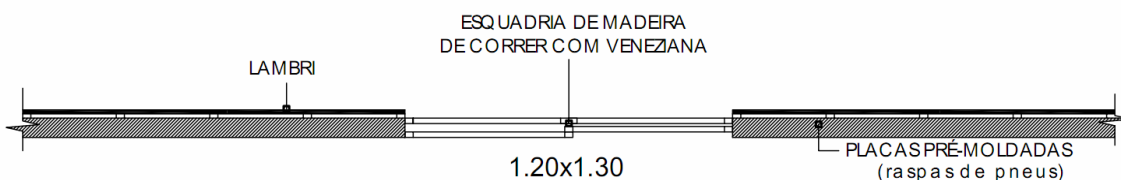


Figura 34 – Fachada de referência – Série B de ensaios

As composições ensaiadas foram agrupadas em três diferentes posições, a partir da análise da influência do afastamento, do transpasse e da duplicação das cortinas.

### 3.4.2.1 Ensaios visando verificar a influência do afastamento (d).

A Figura 35 apresenta o esquema de montagem do ensaio, no qual:

- B1 - Cortina simples com  $d = 5$  cm.
- B2 - Cortina simples com  $d = 10$  cm.
- B3 - Cortina simples com  $d = 15$  cm.
- B4 - Cortina simples com  $d = 20$  cm.

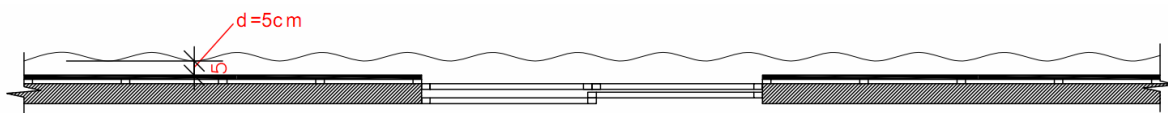


Figura 35 – Esquema de montagem dos ensaios **B1**, B2, B3 e B4

### 3.4.2.2 Ensaios visando verificar a influência do transpasse (T).

A Figura 36 mostra o esquema de montagem do ensaio, onde:

- B5 - Cortina simples com  $d = 20$  cm e  $T = 20$  cm.

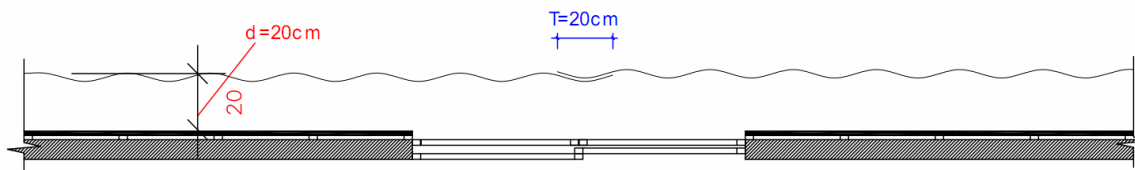


Figura 36 – Esquema de montagem do ensaio B5

Optou-se pela distância de 20 cm ( $d=20$ ) em relação à parede, e um transpasse de 20 cm ( $T=20$ ) por acreditar-se que este possibilita um maior desempenho.

3.4.2.3 Ensaio visando verificar a influência da duplicação das cortinas, do afastamento (d) entre elas (variando as distâncias) e o transpasse (T)

A Figura 37 apresenta o esquema de montagem do ensaio, no qual:

B6 - Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com  $d_1 = 5$  cm da parede e a outra com  $d_2 = 10$  cm, com transpasse de 20 cm.

B7 - Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com  $d_1 = 10$  cm da parede e a outra com  $d_2 = 20$  cm, com transpasse de 20 cm.

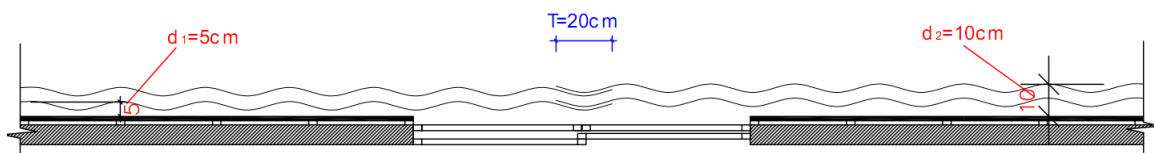


Figura 37 – Esquema de montagem dos ensaios **B6** e **B7**



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios para a determinação do Índice de Redução Sonora (R), obtidos com a colocação de cortinas de tecido black-out como componentes no isolamento sonoro de fachadas. Os resultados das duas séries (“A” e “B”) de ensaios executados são expressos através do valor do  $R_w$  (dB) e do espectro de frequências referente a cada amostra testada.

### 4.1 Série “A” de Ensaio

Na série “A” de ensaios foi utilizada uma parede de alvenaria com reboco em ambos os lados, com uma esquadria de alumínio de correr sem persiana ou veneziana com massa de 1,20 x 1,30. Sobreposta a esta fachada foi colocada uma cortina de vinil, com densidade superficial de 0,5 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1,5 milímetro. O desempenho da amostra de referência foi de  $R_w$  (dB) = 28. O quadro 5 apresenta os desempenhos das amostras desta série de ensaios.

<b>Amostra</b>	<b>Composição</b>	<b><math>R_w</math> (dB)</b>
	Amostra de Referência	28
A1	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 5 cm	31
A2	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 10 cm	32
A3	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 15 cm	32
A4	Cortina simples com afastamento de 15 cm e transpasse de 5 cm	33
A5	Cortina simples com afastamento de 15 cm e transpasse de 10 cm	33
A6	Cortina simples com afastamento de 15 cm e transpasse de 15 cm	33
A7	Cortina simples com afastamento de 15 cm e transpasse de 20 cm	33
A8	Cortinas duplas sem transpasse com afastamentos de 5 e 10 cm	32
A9	Cortinas duplas sem transpasse com afastamentos de 5 e 15 cm	32
A10	Cortinas duplas sem transpasse com afastamentos de 10 e 15 cm	33
A11	Cortina simples com afastamento de 15 cm e painel de lã de vidro de 50 mm	33
A12	Cortina simples com afastamento de 15 cm e painel de lã de vidro de 75 mm	33

Quadro 5 - Desempenho das amostras da série “A” de ensaios

4.1.1 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência do afastamento (d)

4.1.1.1 Cortina simples sem transpasse com afastamento de 5 cm em relação à amostra de referência

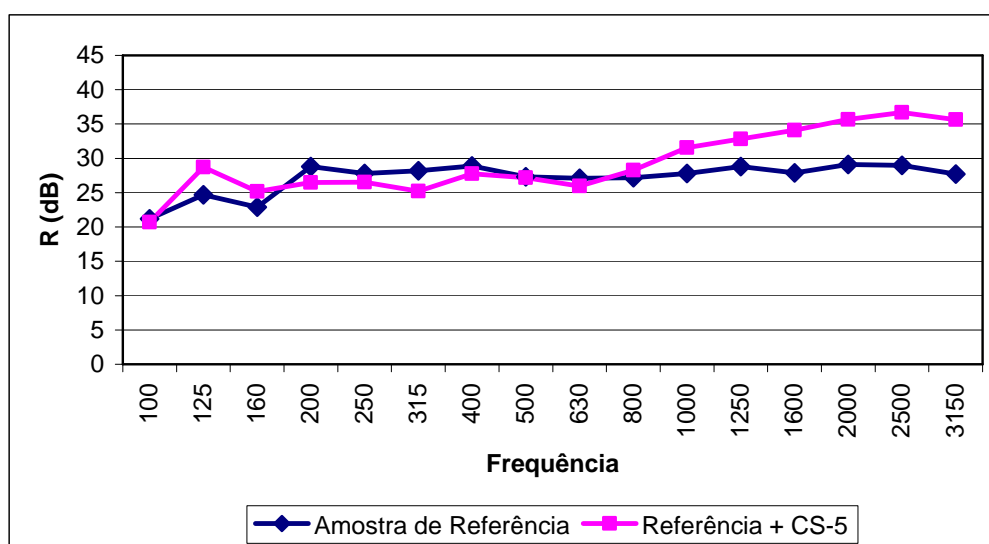
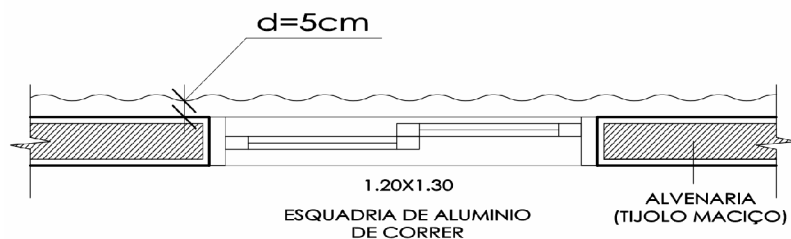


Figura 38 – Gráfico de desempenho cortina simples sem transpasse, com 5 cm de afastamento em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Pode-se observar o acréscimo do índice de isolamento sonoro proporcionado pela colocação da cortina de black-out com afastamento de 5 cm em relação à amostra de referência, observando-se que esse acréscimo ocorreu nas médias e altas frequências, a partir de 800 Hz, sendo que nas altas frequências houve uma melhora de até 7 dB.

#### 4.1.1.2 Cortina simples sem transpasse com 10 cm de afastamento em relação à amostra de referência

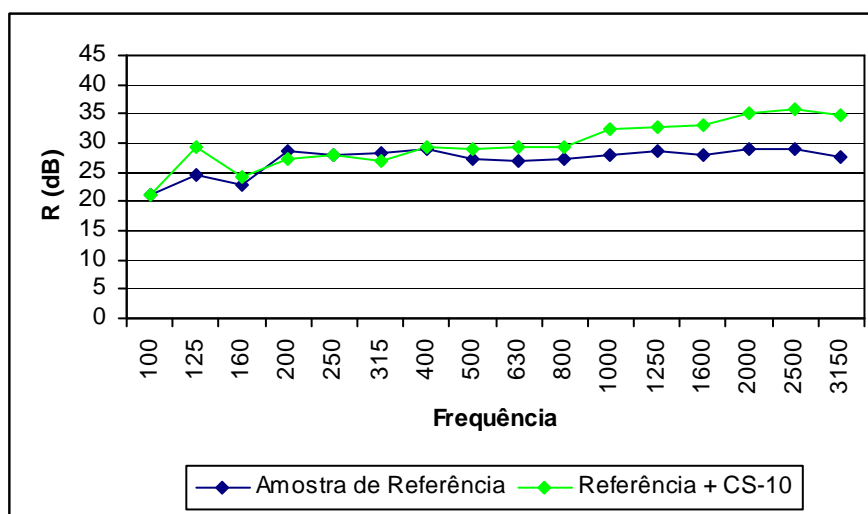
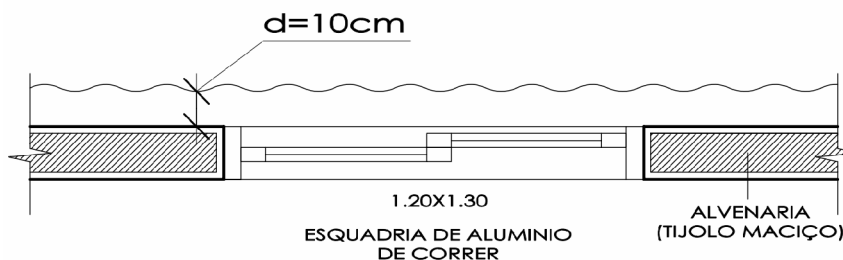


Figura 39 – Gráfico de desempenho cortina simples sem transpasse com 10 cm de afastamento em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com um afastamento de 10 cm em relação à amostra de referência, o acréscimo do índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ) pode ser observado a partir da frequência de 400 Hz, sendo que nas altas frequências, houve um aumento de até 7 dB se comparado à amostra de referência.

#### 4.1.1.3 Cortina simples sem transpasse com 15 cm de afastamento em relação à amostra de referência

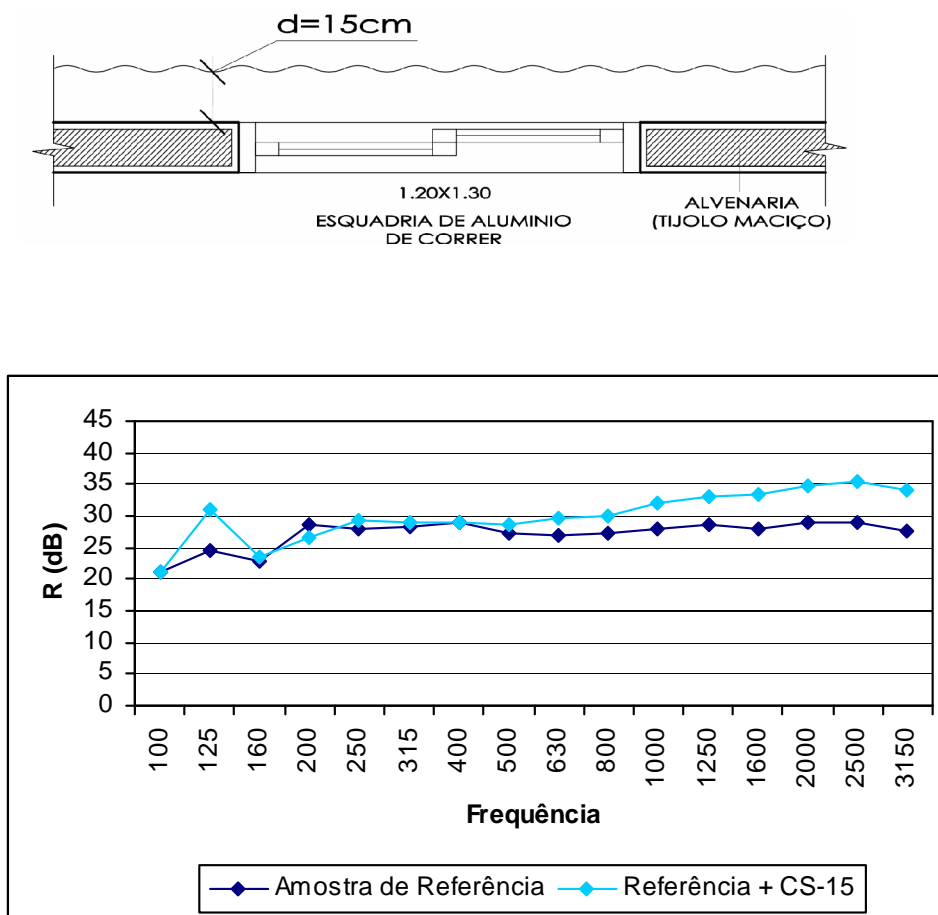


Figura 40 – Gráfico de desempenho cortina simples sem transpasse com 15 cm de afastamento em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Averiguou-se que com um afastamento de 15 cm, se comparado à amostra de referência, o acréscimo no índice de isolamento sonoro pode ser observado a partir da frequência de 400 Hz, ocorrendo o melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, havendo um aumento em torno de 7 dB.

## 4.1.1.4 Comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse

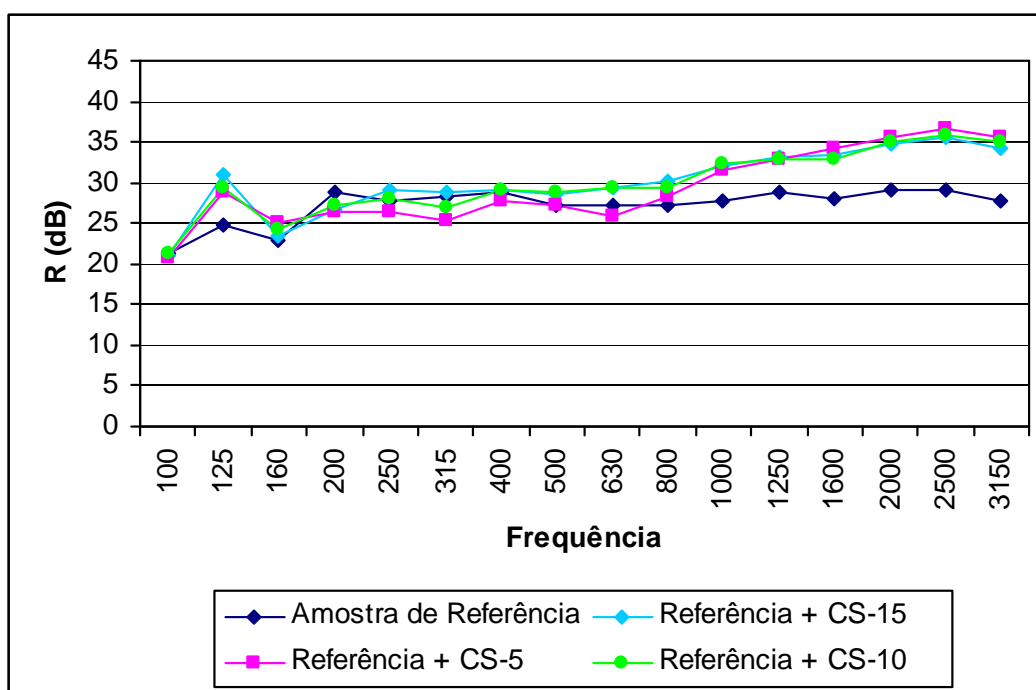


Figura 41 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse

**Análise Comparativa dos Desempenhos:** Pode-se constatar pela análise do gráfico que o desempenho das cortinas simples sem transpasse, com diferentes afastamentos em relação à amostra de referência possibilitou um aumento médio de 3 a 4 dB no índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ). A cortina com 5 cm de afastamento foi a que apresentou pior desempenho nas baixas e médias frequências, entretanto, apresentou o melhor desempenho a partir de 1600 Hz, sendo que na frequência de 3150 Hz houve um aumento de quase 8 dB. Pode-se observar que nas baixas e médias frequências os afastamentos de 10 cm e 15 cm tiveram desempenhos semelhantes. Nas altas frequências, os desempenhos dos três afastamentos ficaram próximos.

4.1.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência do transpasse (T)

4.1.2.1 Cortina simples com afastamento 15 cm e com transpasse de 5 cm, com relação à amostra de referência

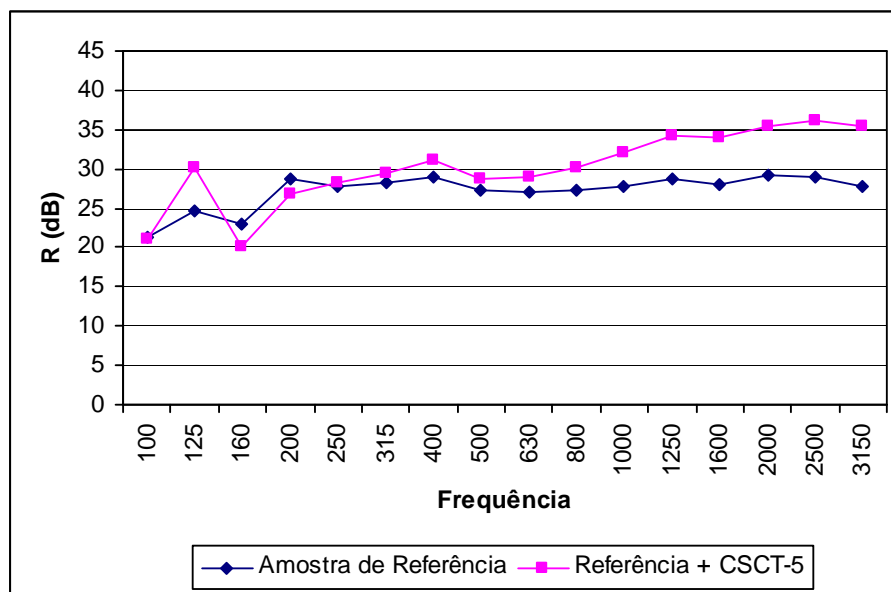
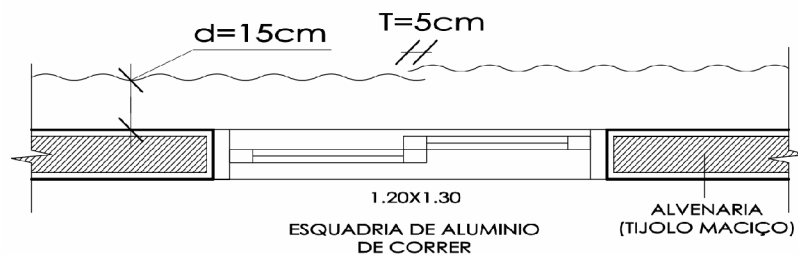


Figura 42 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento 15 cm e com transpasse de 5 cm, com relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Observa-se que cortinas colocadas com um transpasse de 5 cm, quando comparadas à amostra de referência, possibilitam um aumento no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 250 Hz, tendo um ganho expressivo a partir de 1000 Hz. O aumento mais significativo ocorreu na frequência de 3150 Hz, havendo um acréscimo na ordem de 8 dB.

4.1.2.2 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 10 cm, com relação à amostra de referência.

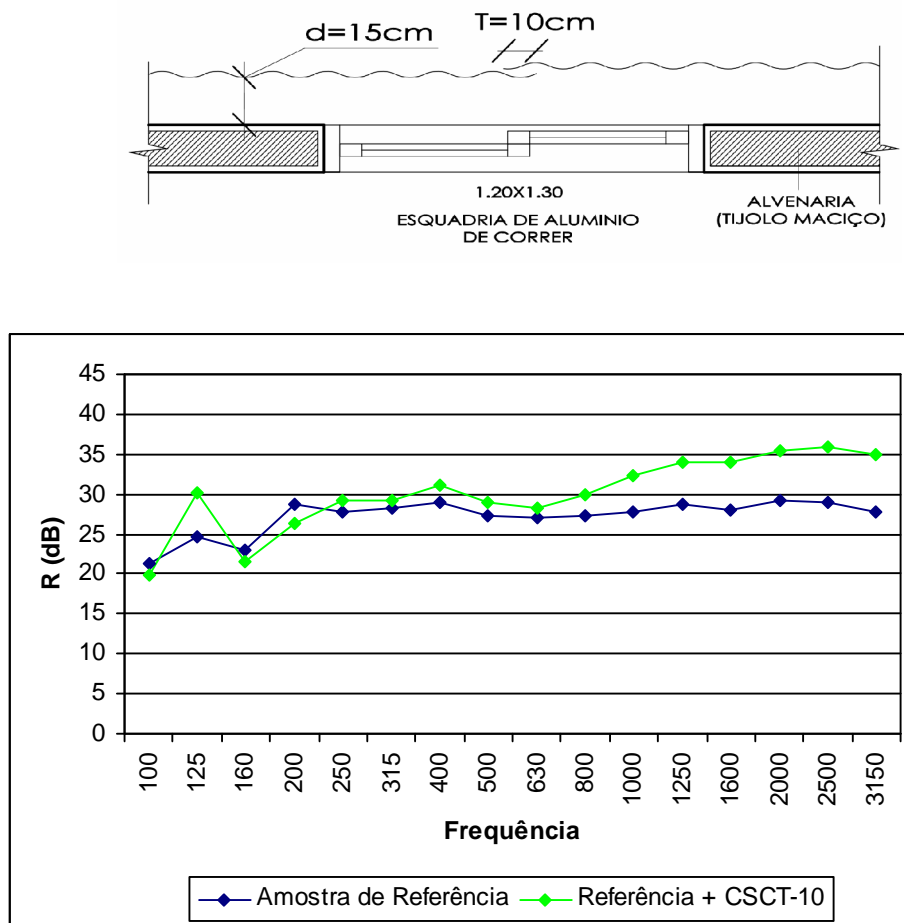


Figura 43 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 10 cm, com relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com a utilização de um transpasse de 10 cm, observou-se um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 250 Hz, sendo mais acentuado a partir de 1000 Hz, ou seja, nas altas frequências. O melhor desempenho ocorreu na frequência de 3150 Hz, obtendo-se um aumento na ordem de 7 dB em relação à amostra de referência.

4.1.2.3 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 15 cm, com relação à amostra de referência.

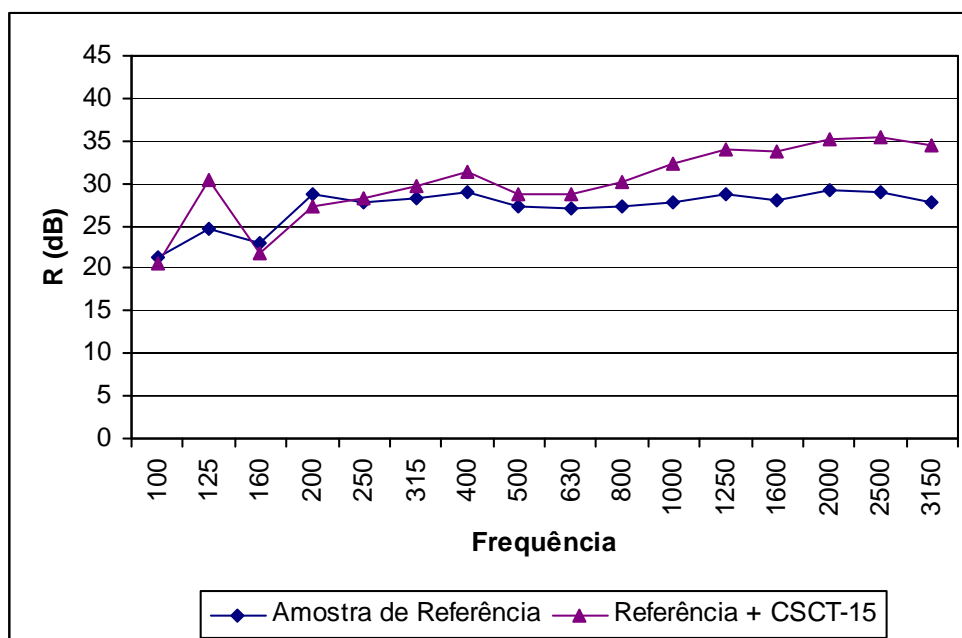
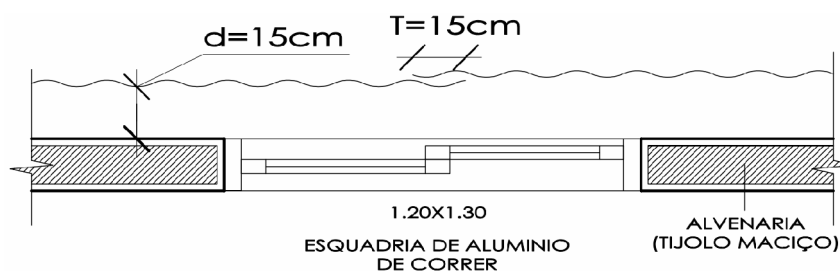


Figura 44 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 15 cm, com relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com o uso de um transpasse de 15 cm, observou-se um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 250 Hz, verificando-se um aumento mais significativo a partir de 800 Hz, ocorrendo o melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, com um acréscimo em torno de 7 dB em relação à amostra de referência.



4.1.2.4 Cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 20 cm, com relação à amostra de referência.

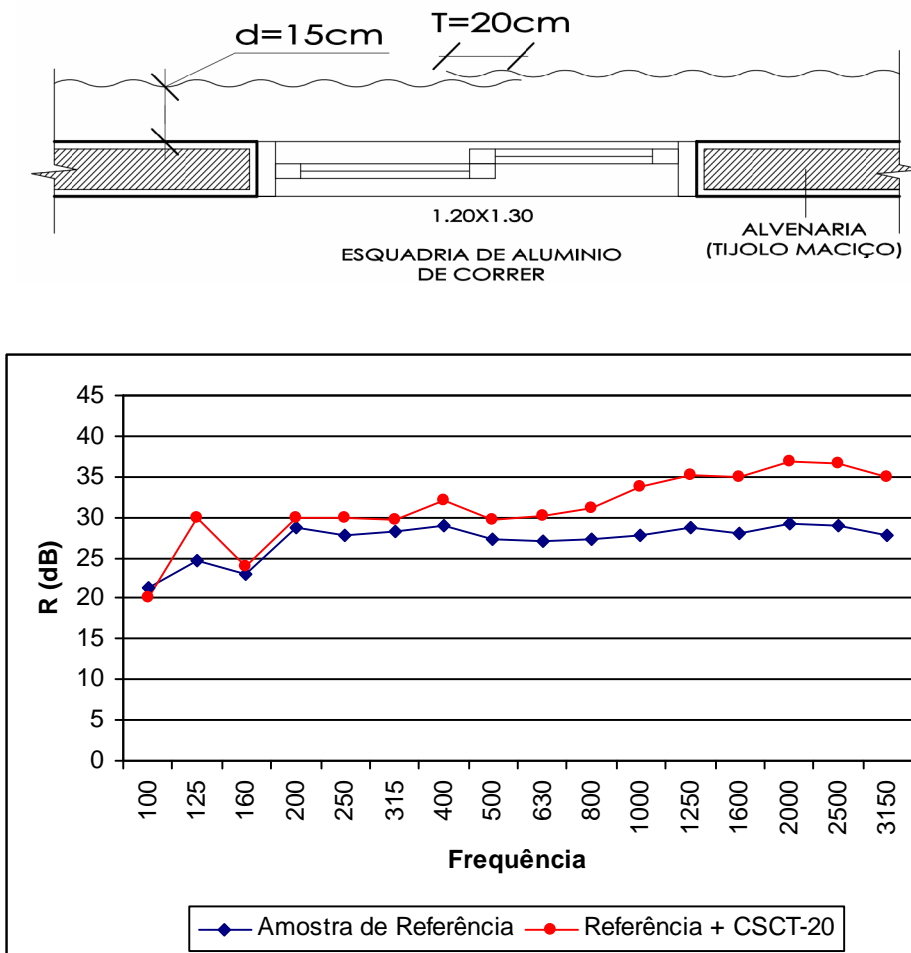


Figura 45 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento 15 cm com transpasse de 20 cm, com relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Verificou-se que o uso de transpasse de 20 cm ocasionou um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 200 Hz. Esse acréscimo pode ser observado nas médias e altas frequências, podendo ser observada uma melhoria no desempenho a partir frequência de 500 Hz, com um acréscimo na ordem de 8 dB na frequência de 2000 Hz, se comparado à amostra de referência.

#### 4.1.2.5 Comparativo de desempenho das cortinas simples com transpasse.

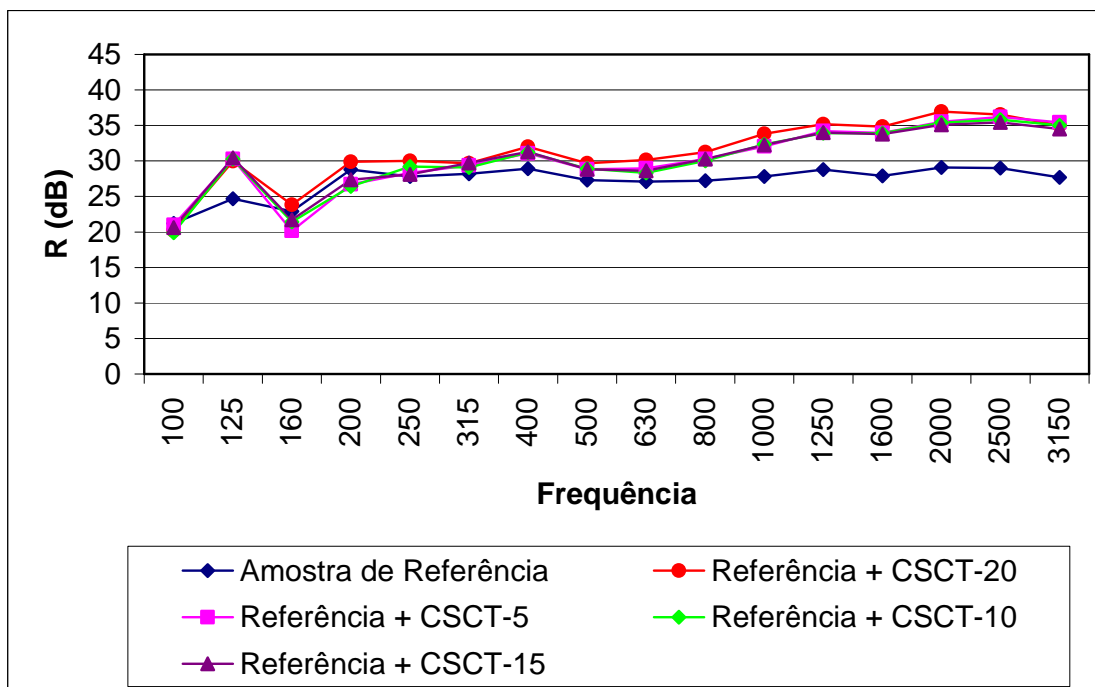


Figura 46 – Gráfico comparativo de desempenho das cortinas simples com transpasse

**Análise Comparativa dos Desempenhos:** Pode-se observar que com o uso de diferentes transpases, em relação à amostra de referência, houve um aumento médio de 5 dB no índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ). Através do gráfico, pode ser observado que o uso de diferentes transpases proporcionou desempenhos semelhantes, ocorrendo melhores resultados nas médias e altas frequências, chegando a 6 e 7 dB de aumento entre 2000 e 3150 Hz.

4.1.3 Representação gráfica dos desempenhos das amostras visando verificar a influência da duplicação das cortinas e o afastamento ( $d$ ) diverso entre elas (variando as distâncias).

4.1.3.1 Cortinas duplas com afastamentos  $d_1 = 5$  cm e  $d_2 = 10$  cm e espaçamento entre elas de 5 cm.

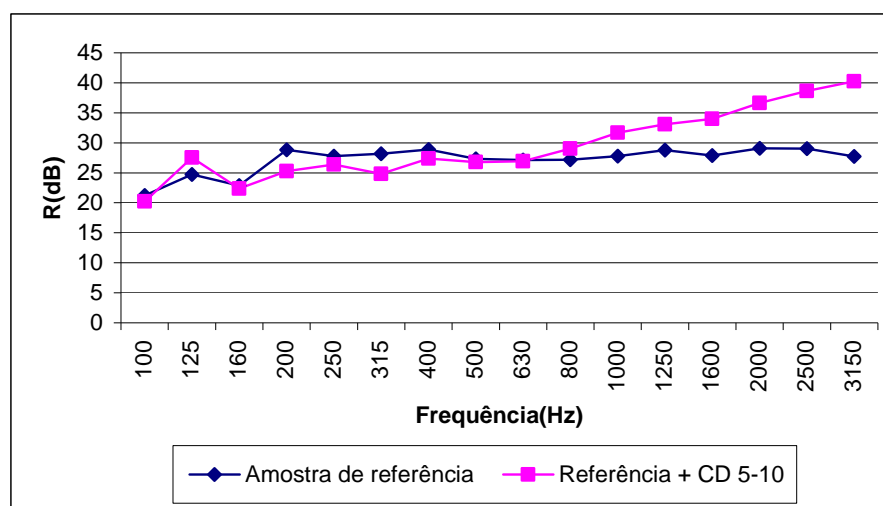
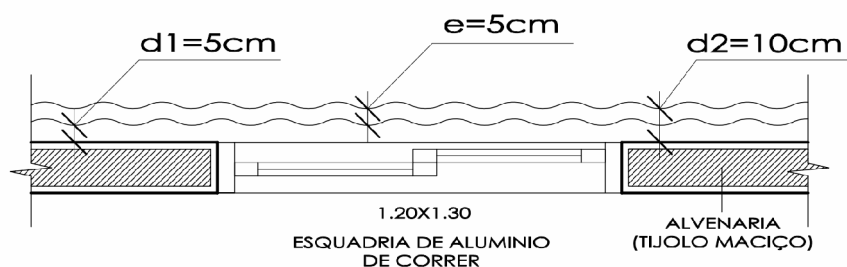


Figura 47 – Gráfico de desempenho cortinas duplas com afastamentos 5-10, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** A duplicação das cortinas, com os afastamentos de 5 cm e 10 cm da parede proporcionou uma melhoria do desempenho a partir da frequência de 630 Hz, sendo significativo o aumento observado na frequência de 3150 Hz, da ordem de 12 dB se comparado à amostra de referência. Nas médias frequências o desempenho apresentado ficou abaixo da amostra de referência.

4.1.3.2 Cortinas duplas com afastamentos  $d_1 = 5$  cm e  $d_2 = 15$  cm e espaçamento entre elas de 10 cm.

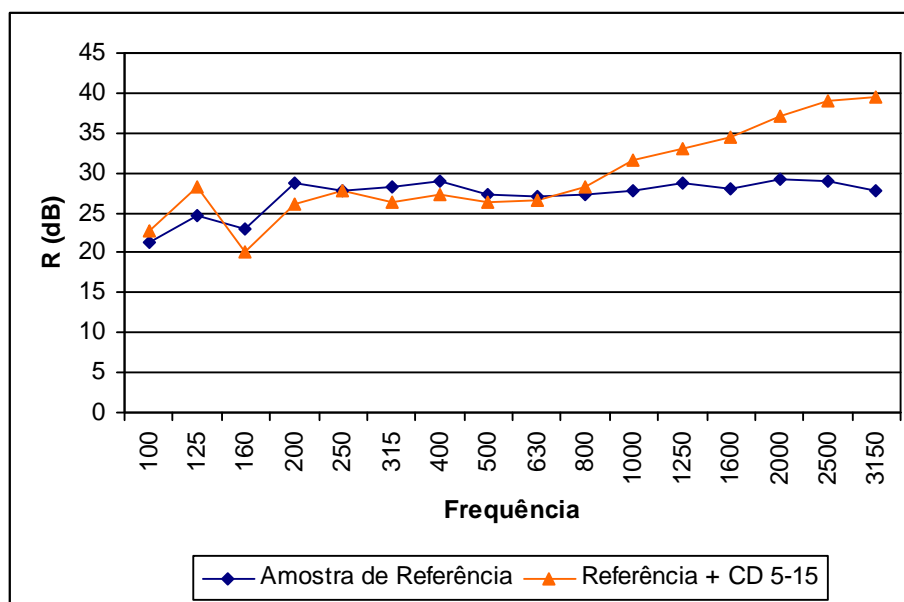
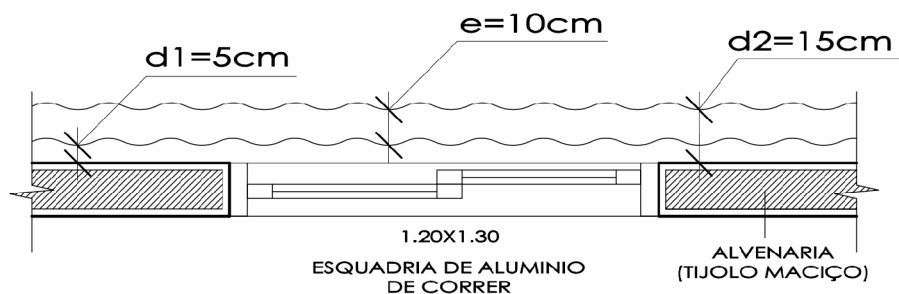


Figura 48 – Gráfico de desempenho cortinas duplas com afastamentos 5-15, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com a duplicação das cortinas e os respectivos afastamentos de 5 cm e 15 cm, pode-se verificar um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 800 Hz, sendo o melhor desempenho nas altas frequências, com um aumento na ordem de 12 dB na frequência de 3150 Hz. Observa-se também que nas médias frequências o desempenho apresentado ficou abaixo da amostra de referência.

4.1.3.3 Cortinas duplas com afastamentos  $d_1 = 10$  cm e  $d_2 = 15$  cm e espaçamento entre elas de 5 cm.

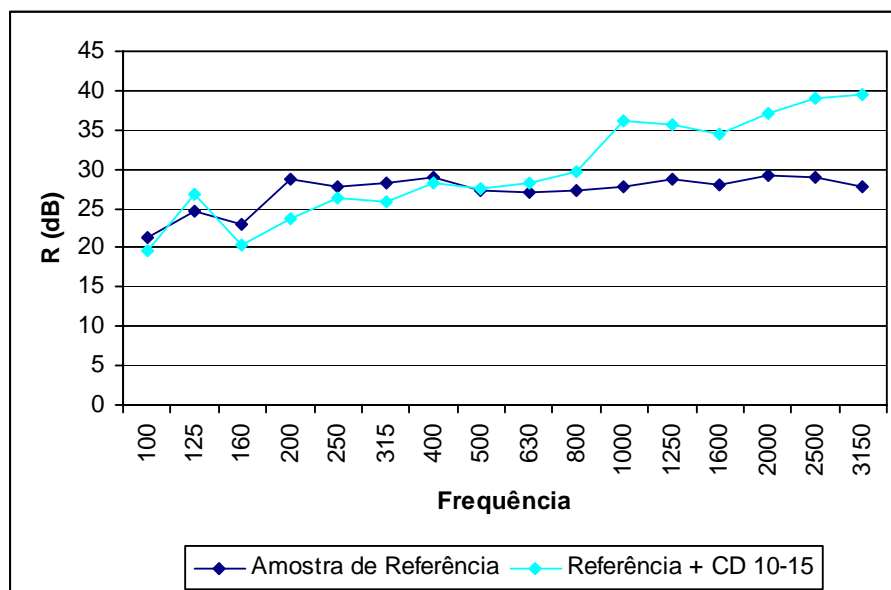
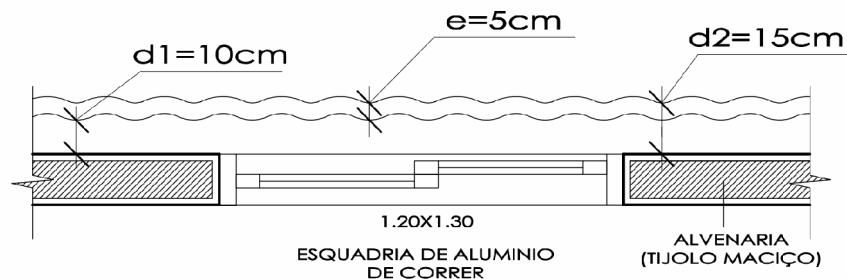


Figura 49 – Gráfico de desempenho cortinas duplas com afastamentos 10-15, em relação à amostra de referência.

**Análise do Desempenho:** Na duplicação das cortinas com afastamentos iguais à 10 cm e 15 cm, pode ser verificado uma melhoria no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 800 Hz, sendo que nas baixas e médias frequências o desempenho foi inferior do apresentado pela amostra de referência. O melhor desempenho ocorreu na frequência de 3150 Hz, com um acréscimo em torno de 12 dB em relação à amostra de referência.

#### 4.1.3.4 Comparativo do desempenho das cortinas duplas

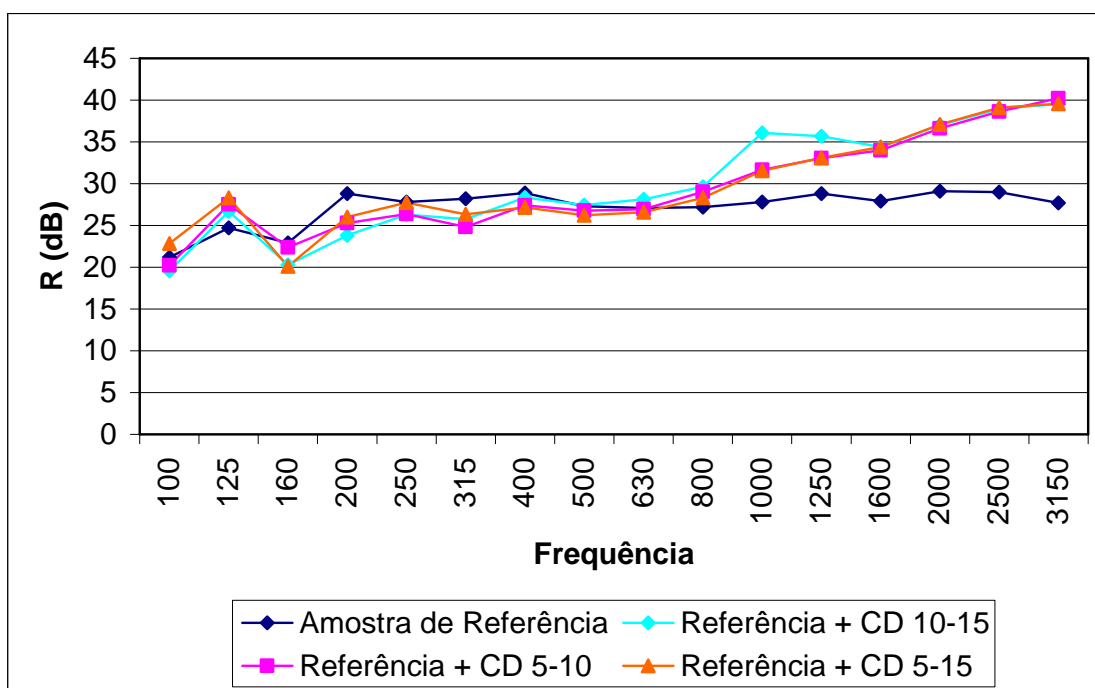


Figura 50 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas duplas

**Análise Comparativa dos Desempenhos:** Comparando-se os desempenhos da duplicação das cortinas, com diferentes afastamentos entre elas, verificou-se que houve um acréscimo médio de 4 à 5 dB no índice de isolamento acústico ( $R_w$ ), em comparação à amostra de referência, sendo que o melhor desempenho ocorreu em altas frequências. Nos diferentes afastamentos, pode-se observar que o desempenho mostrado nas médias frequências ficou abaixo do apresentado pela amostra de referência. Pode-se constatar que os diferentes afastamentos tiveram uma pequena diferença entre si, exceto na frequência de 1000 Hz, na qual as cortinas com afastamentos 10-15 cm da parede, propiciaram um acréscimo de 4 dB em relação aos outros afastamentos.

4.1.4 Representação gráfica do desempenho das amostras visando verificar a influência do material absorvente colocado entre a cortina e a amostra de referência

4.1.4.1 Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura

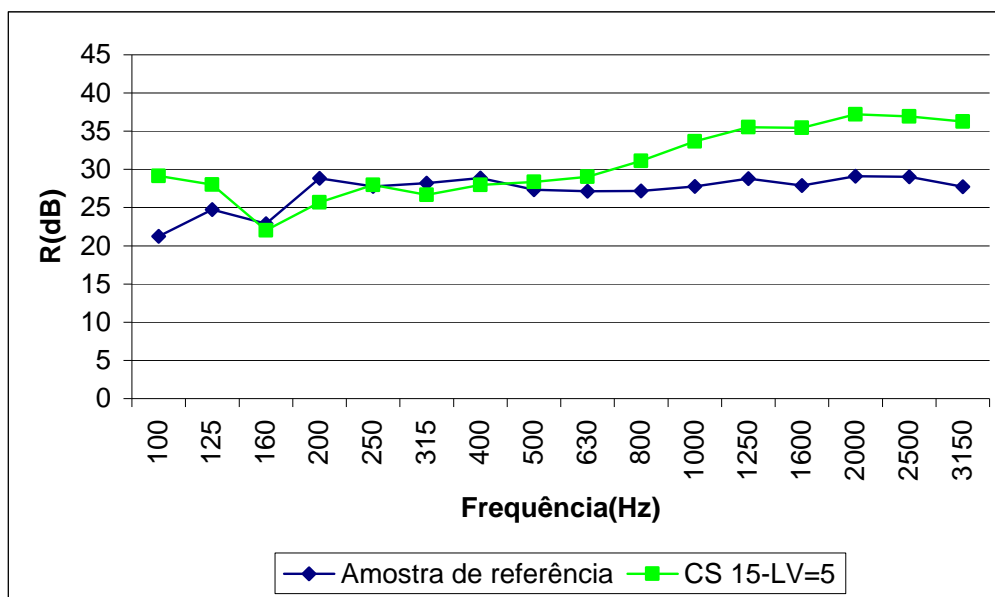
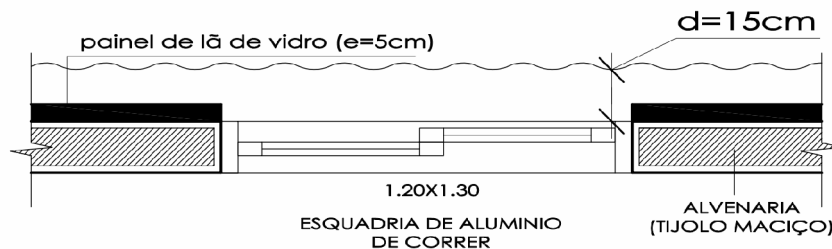


Figura 51 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura

**Análise do Desempenho:** Observou-se que a colocação de 02 painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura melhorou o desempenho nas altas frequências, se comparado à amostra de referência. Nas médias frequências seu desempenho ficou abaixo da amostra de referência. Verificou-se um melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, com um acréscimo na ordem de 9 dB no índice de isolamento sonoro.

4.1.4.2 Cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura

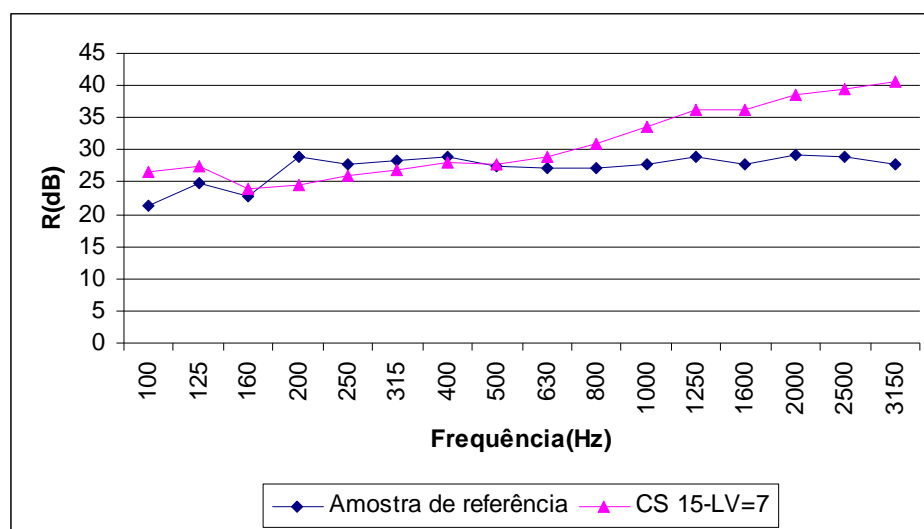
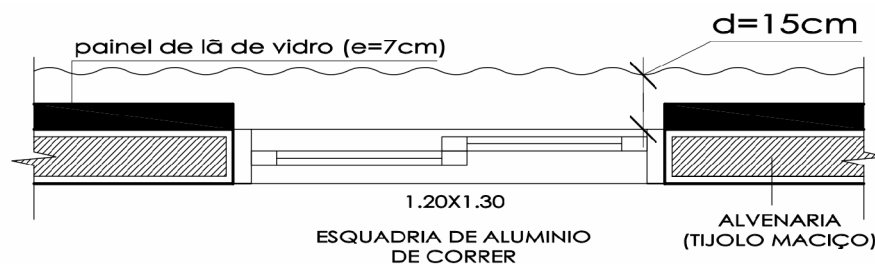


Figura 52 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 15 cm, com 02 painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura

**Análise do Desempenho:** A colocação de 02 painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura ocasionou um aumento no índice de isolamento sonoro nas altas frequências. Nas médias frequências o desempenho ficou abaixo do apresentado pela amostra de referência. Averiguou-se um melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, com um aumento de 13 dB.



#### 4.1.4.3 Comparativo do desempenho das cortinas com painéis de lã de vidro

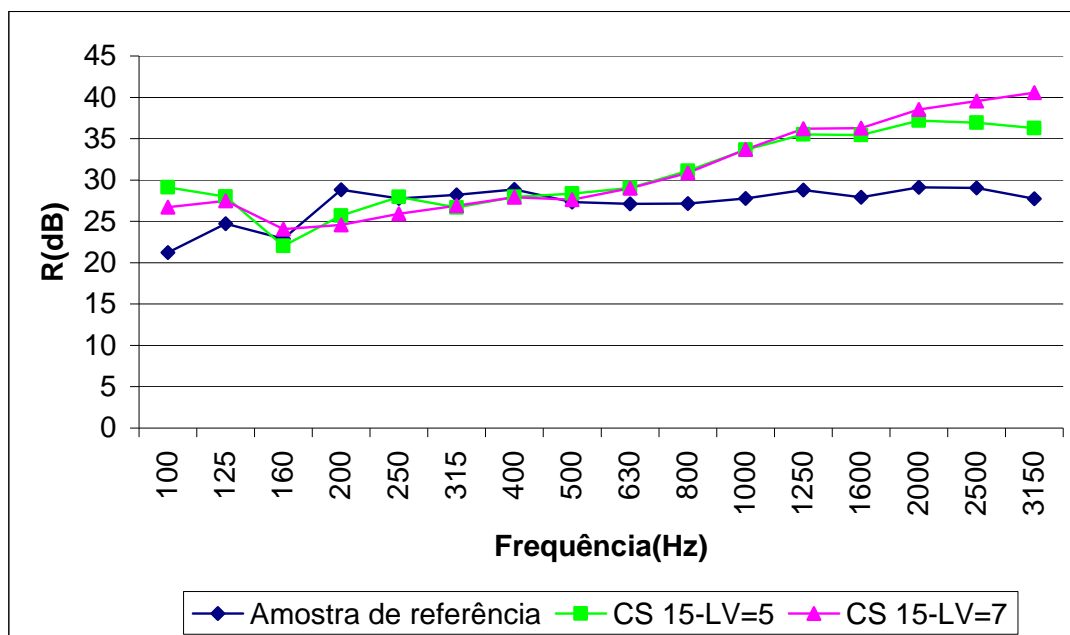


Figura 53 – Gráfico comparativo do desempenho das cortinas com painéis de lã de vidro

**Análise Comparativa do Desempenho:** Comparando-se os desempenhos apresentados com a colocação de painéis de lã de vidro, observou-se um acréscimo médio de 5 dB no índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ), se comparado à amostra de referência. Observou-se que a colocação de painéis de lã de vidro de 75 mm ocasionou um melhor desempenho nas altas frequências se comparado ao de 50 mm. Nas médias frequências o desempenho ficou abaixo do apresentado pela amostra de referência em ambas as amostras. Houve uma melhoria do desempenho nas frequências de 100 e 125 Hz, independente a espessura da lã de vidro. Se comparado ao desempenho apresentado pela cortina com afastamento de 15 cm, sem o uso de painéis de lã de vidro, pode-se observar que o uso de painéis proporcionou um melhor desempenho nas altas frequências, ocorrendo um aumento de até 6 dB na frequência de 3150 Hz.

#### 4.2 Série “B” de Ensaio

Na série “B” de ensaios foi utilizada uma parede de placas pré-moldadas de raspa de pneus com sua face interna revestida com lambri com uma janela central de correr de madeira com vidro simples de 3 mm e venezianas de abrir. Totalizando uma parede de 8 cm. Sobreposta a esta parede foi colocada uma cortina de poliéster, com densidade = 0,426 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1 milímetro. O desempenho da amostra de referência foi de  $R_w$  (dB) = 26. O quadro 6 apresenta os desempenhos das amostras da série “B” de ensaios.

<b>Amostra</b>	<b>Composição</b>	<b>R<sub>w</sub> (dB)</b>
	Amostra de Referência	26
B1	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 5 cm	28
B2	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 10 cm	28
B3	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 15 cm	28
B4	Cortina simples sem transpasse com afastamento de 20 cm	28
B5	Cortina simples com afastamento de 20 cm e transpasse de 20 cm	28
B6	Cortinas duplas com afastamentos de 5 e 20 cm e transpasse de 20 cm	29
B7	Cortinas duplas com afastamentos de 10 e 20 cm e transpasse de 20 cm	29

Quadro 6 – Desempenho das amostras da série “B” de ensaios

4.2.1 Representação gráfica dos desempenhos das amostras para verificação do afastamento (d).

4.2.1.1 Cortina simples com afastamento de 5 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

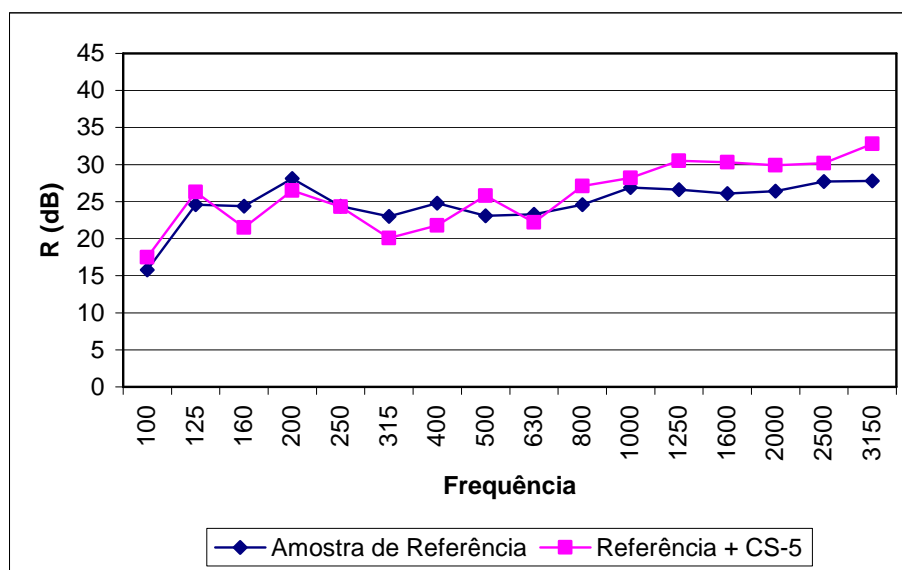


Figura 54 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 5 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** A colocação de cortina simples, com um afastamento de 5 cm, se comparada à amostra de referência, proporciona um acréscimo no índice de isolamento sonoro, a partir da frequência de 630 Hz, mas seu melhor desempenho ocorre na frequência de 3150 Hz, com um acréscimo na ordem de 5 dB. Verificou-se que nas médias frequências o desempenho foi inferior ao apresentado pela amostra de referência.

#### 4.2.1.2 Cortina simples com afastamento de 10 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

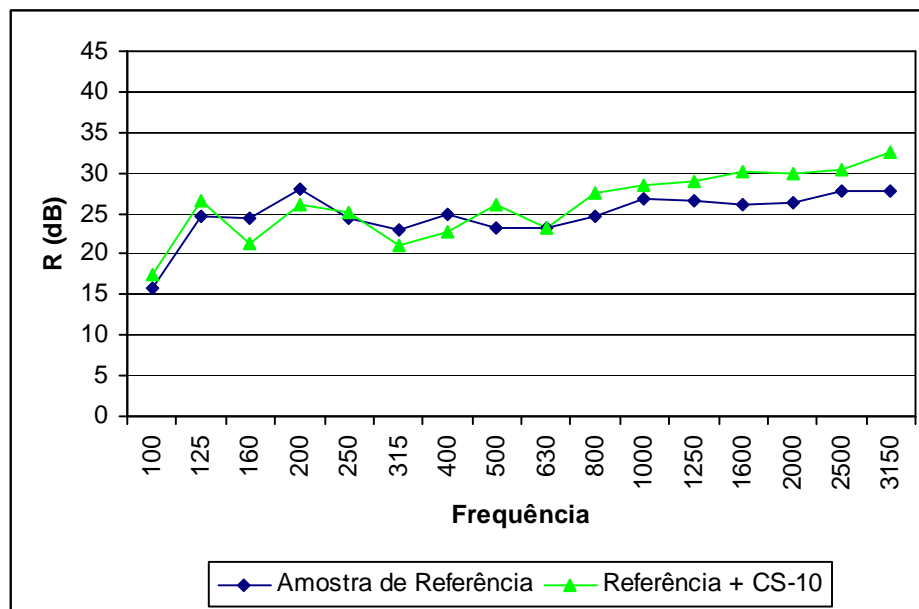


Figura 55 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 10 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Aplicando-se um afastamento de 10 cm, se comparado à amostra de referência, houve um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 630 Hz, sendo seu melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, com um aumento de 5 dB. Observa-se que para as frequências abaixo de 800 Hz as cortinas não apresentam melhoria em seu desempenho sonoro.

#### 4.2.1.3 Cortina simples com afastamento de 15 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

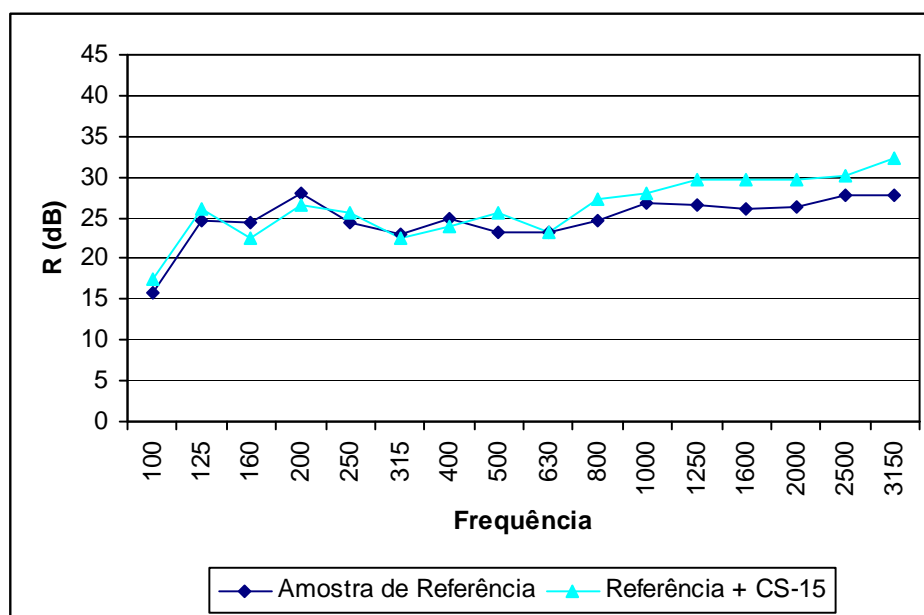
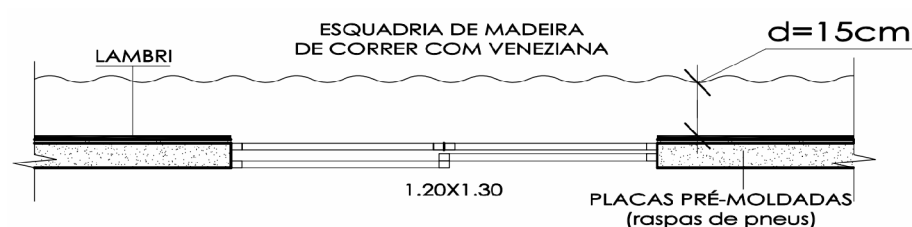


Figura 56 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 15 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com um afastamento de 15 cm em relação à amostra de referência, houve um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 630 Hz, sendo seu melhor desempenho na frequência 3150 Hz, com um aumento de 4 dB. Nas baixas e médias frequências o desempenho foi semelhante ao da amostra de referência.

#### 4.2.1.4 Cortina simples com afastamento de 20 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

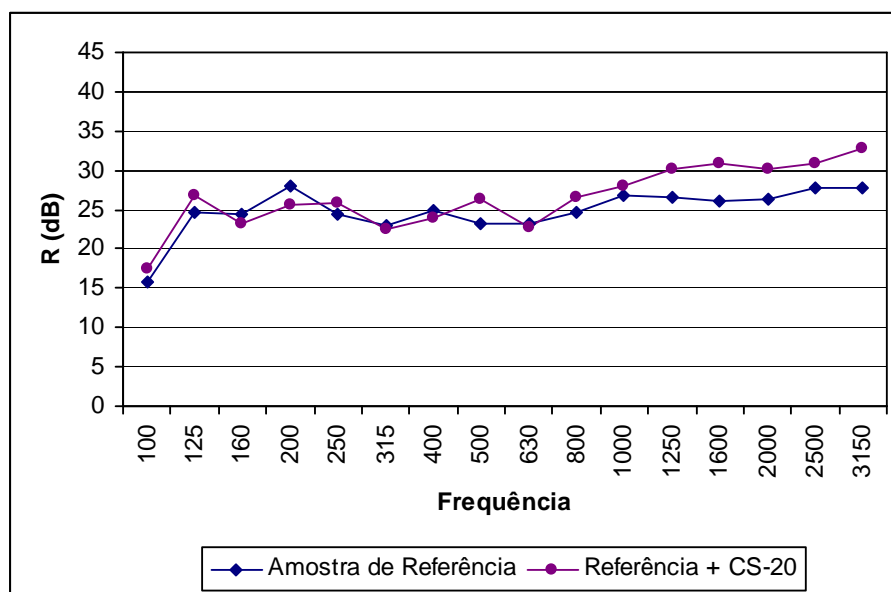


Figura 57 – Cortina simples com afastamento de 20 cm sem transpasse, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Percebe-se que um afastamento de 20 cm em relação à amostra de referência, produz um acréscimo no índice de isolamento sonoro, a partir de 630 Hz, apresentando um aumento de 5 dB na frequência de 3150 Hz, sendo esse o seu melhor desempenho. Observa-se que nas frequências abaixo de 630 Hz as cortinas não apresentam melhoria no desempenho sonoro.

## 4.2.1.5 Comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse

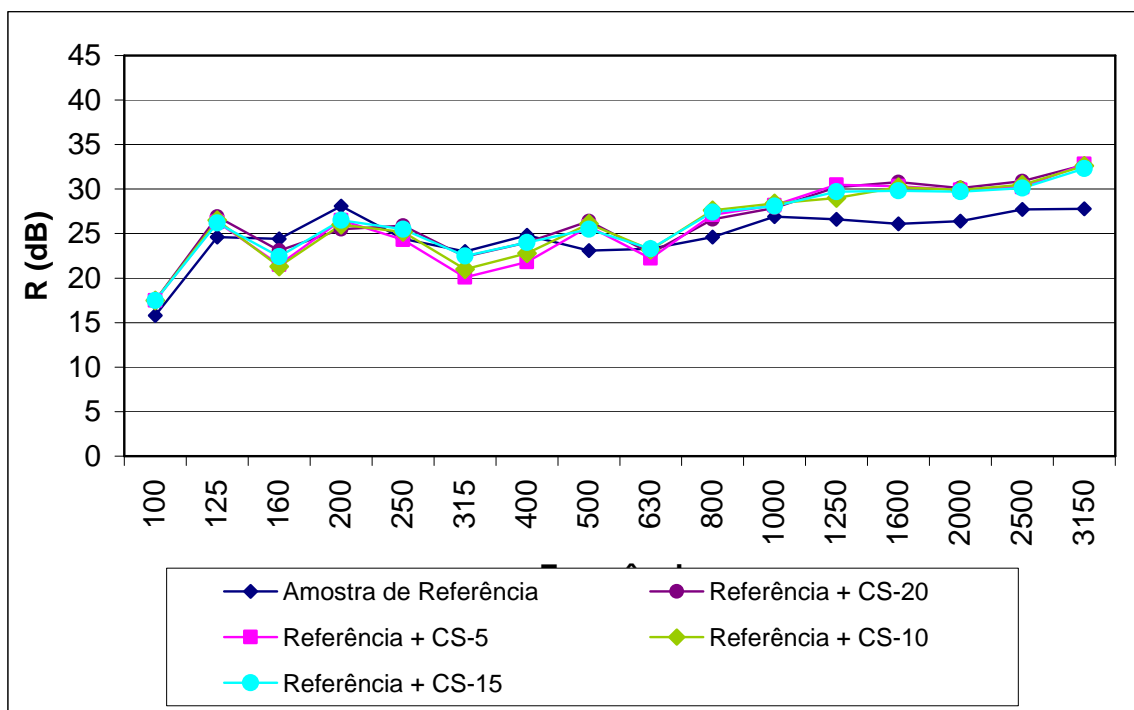


Figura 58 - Gráfico comparativo do desempenho das cortinas simples sem transpasse

**Análise Comparativa do Desempenho:** Pode-se constatar que os diferentes afastamentos em relação à mostra de referência, ocasionaram um acréscimo do índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ) foi em média de 2 dB. Todas as amostras tiveram resultados semelhantes nas baixas, médias e altas frequências.

#### 4.2.2 Representação gráfica do desempenho das amostras para verificação da influência do transpasse (T)

##### 4.2.2.1 Cortina simples com afastamento de 20 cm, com transpasse de 20 cm em relação à amostra de referência

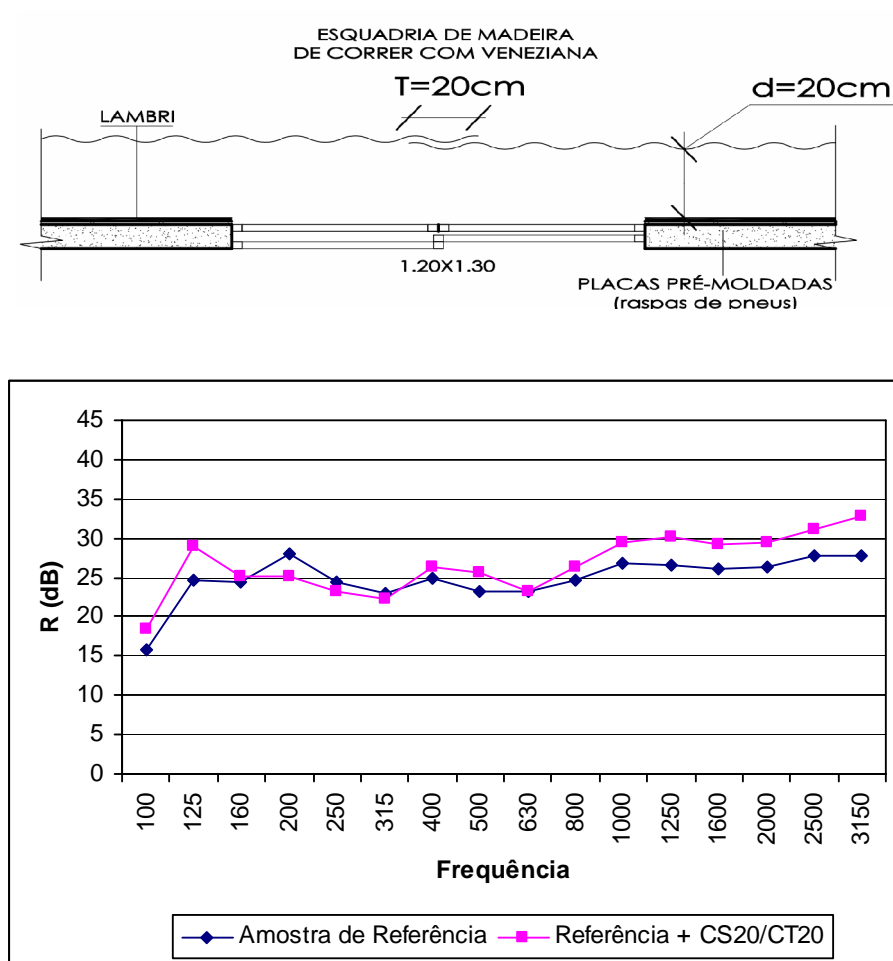


Figura 59 – Gráfico de desempenho cortina simples com afastamento de 20 cm, com transpasse de 20 cm em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Percebe-se que com um afastamento de 20 cm, e a utilização de um transpasse de 20 cm, houve um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir de 630 Hz, sendo seu melhor desempenho verificado na frequência de 3150 Hz, com um aumento de 5 dB se comparado à amostra de referência.



#### 4.2.3 Representação gráfica do desempenho das amostras para verificação da duplicação e do transpasse (T) das cortinas

##### 4.2.3.1 Cortina dupla, com afastamentos $d_1 = 5$ cm e $d_2 = 20$ cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência

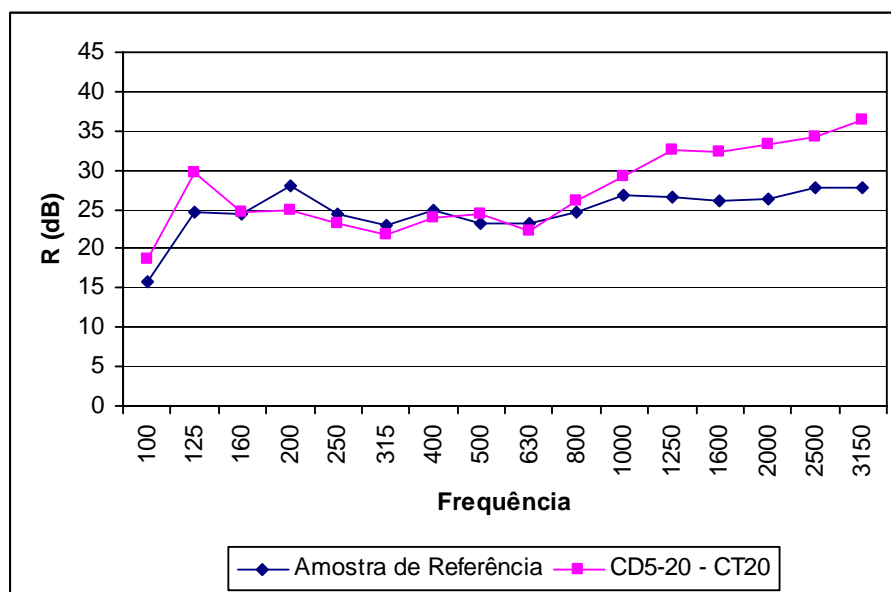
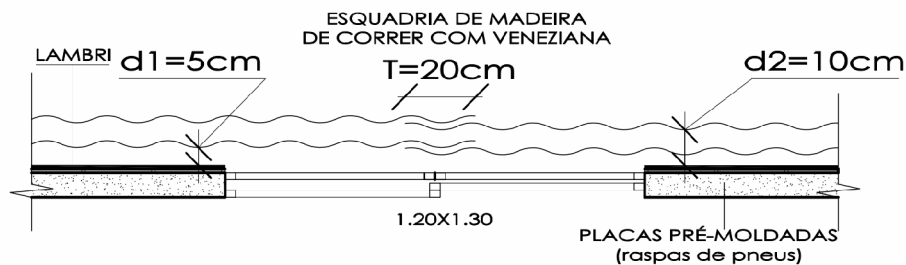


Figura 60 – Gráfico de desempenho cortina dupla com afastamentos 5-20 cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com a colocação de cortinas duplas, com afastamentos respectivos de 5 e 20 cm, com transpasse de 20 cm, pode-se verificar um acréscimo no índice de isolamento sonoro a partir de 800 Hz, com um melhor desempenho na frequência de 3150 Hz, tendo aumentado 7 dB se comparado à amostra de referência.

4.2.3.2 Cortinas duplas, com afastamentos  $d_1 = 10$  cm e  $d_2 = 20$  cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência

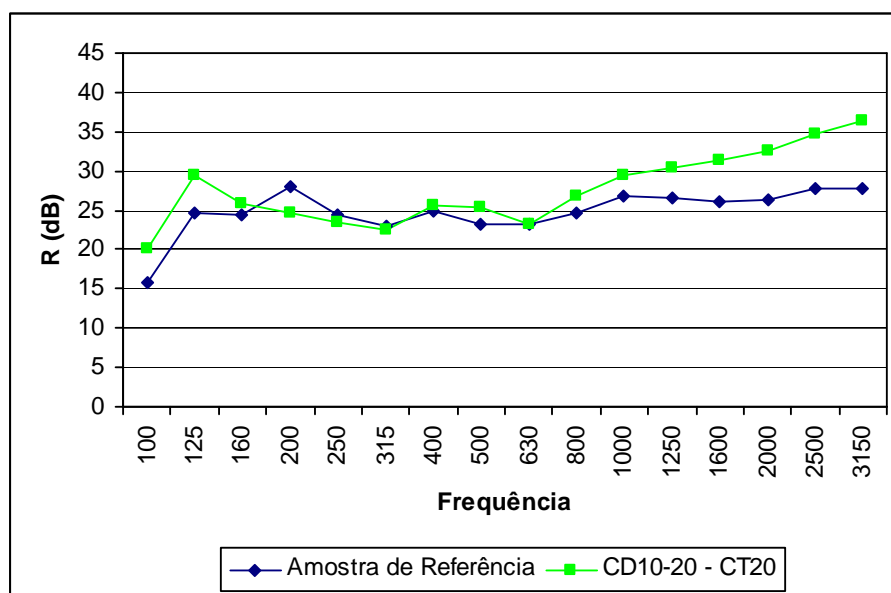
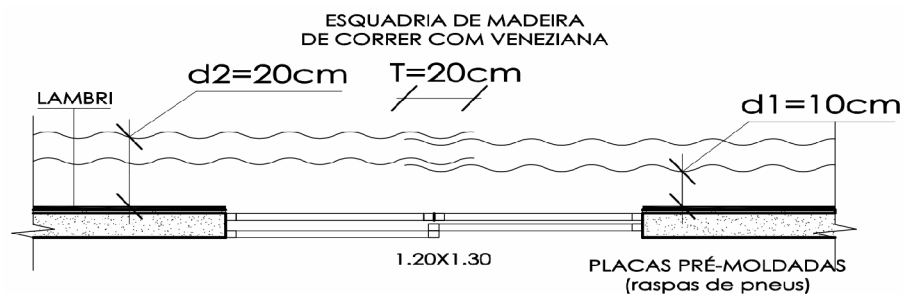


Figura 61 – Gráfico de desempenho cortinas duplas com afastamentos 10-20 cm, com transpasse de 20 cm, em relação à amostra de referência

**Análise do Desempenho:** Com a duplicação das cortinas, com afastamentos de 10 e 20 cm, e com um transpasse de 20 cm, pode ser averiguado um aumento no índice de isolamento sonoro a partir da frequência de 630 Hz, apresentando um acréscimo de 8 dB, em relação à amostra de referência, na frequência de 3150 Hz sendo esse seu melhor resultado.

#### 4.2.3.3 Comparativo dos desempenhos das cortinas duplas com transpasse

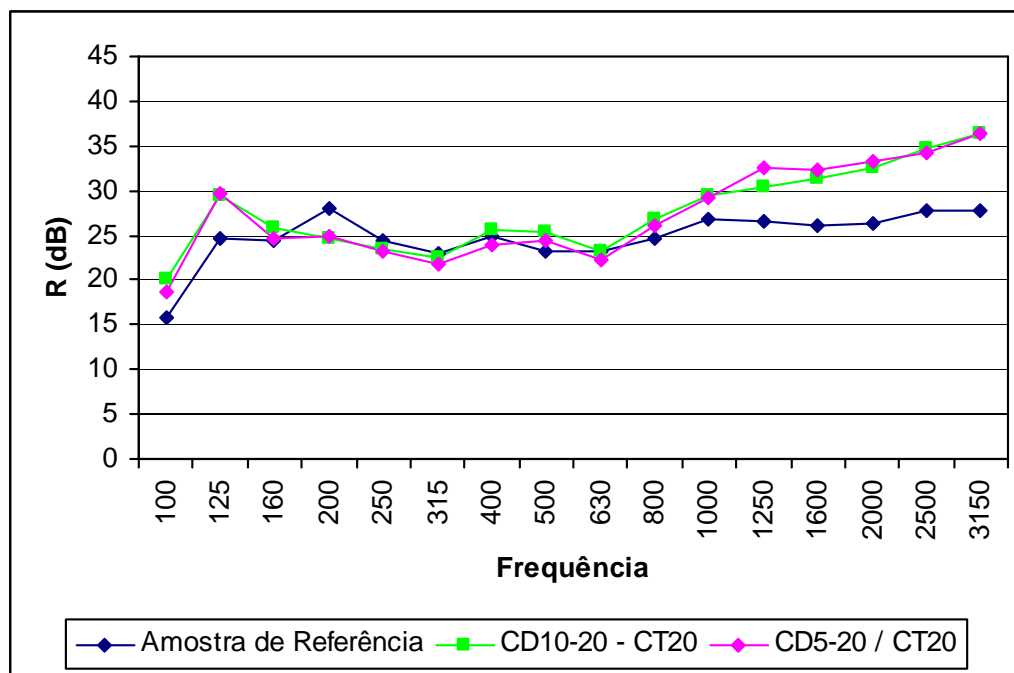


Figura 62 – Gráfico comparativo dos desempenhos das cortinas duplas com transpasse

**Análise Comparativa do Desempenho:** O acréscimo do desempenho do índice de isolamento sonoro ( $R_w$ ) observado com a colocação das cortinas duplas, com uso de transpasse, foi de em média 3 dB em relação à amostra de referência, sendo que este aumento ocorreu das médias para as altas frequências. Observa-se que as cortinas com afastamentos de 5 cm e 20 cm, com um transpasse de 20 cm, apresentaram um melhor desempenho nas altas frequências. Nas médias frequências seu desempenho foi inferior ao da amostra de referência e da outra amostra testada. As cortinas com afastamentos de 10 cm e 20 cm, com um transpasse de 20 cm, tiveram um melhor desempenho nas médias e baixas frequências em relação às outras amostras.

## 5 CONCLUSÕES

Conforme verificou-se no andamento desta dissertação, a utilização de cortinas black-out como componentes no isolamento sonoro em ambientes de fachadas aparece como uma alternativa para o conforto sonoro dos indivíduos, uma vez que essas cortinas têm chamado a atenção dos fabricantes e usuários da rede hoteleira e hospitalar, pela sua praticidade, durabilidade e principalmente pela sua função de impedir a passagem da luz. Outro fator importante é o seu baixo custo em comparação às persianas e às venezianas.

O presente estudo teve o objetivo de analisar a influência no isolamento sonoro ( $R_w$ ) de fachadas, gerada pela colocação de cortinas black-out, com densidade superficial de 0,426 e 0,5  $\text{Kg/m}^2$ , sobrepostas a um elemento de fachada.

Após a análise dos resultados obtidos com os ensaios de isolamento sonoro de diferentes composições, afastamentos e transpasses constatou-se que estas cortinas trazem ganho no isolamento sonoro basicamente nas altas frequências, acima de 630 Hz, devido a baixa densidade das mesmas. Isto pode ser visualizado na Figura 63.

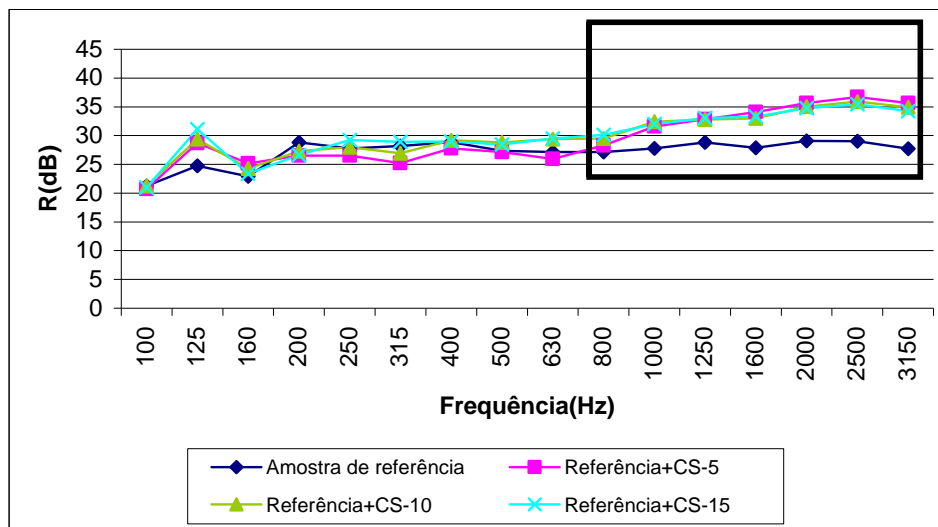


Figura 63 – Desempenho das cortinas tipo black-out nas altas frequências

Nos ensaios com a colocação de cortinas black-out, verificou-se que as cortinas simples sobrepostas a um elemento de fachada, com afastamentos entre 5 e 20 cm em relação à janela, proporcionaram uma melhoria no desempenho do isolamento sonoro  $\Delta R_w$  de 2 à 4

dB em relação às fachadas de referência ensaiadas. Neste sentido, pode-se concluir que o uso de diferentes afastamentos pouco influenciou no desempenho sonoro das cortinas.

Referente ao uso de transpasses entre cortinas de black-out, que variou de 5 a 20 cm, verificou-se que não houve nenhuma perda de performance no isolamento em relação a cortina sem transpasse (única/inteira). Todas estas composições com transpasses apresentaram uma melhora no  $R_w$  de 1 dB, em relação à cortina sem transpasse, devido ao aumento da massa na área transpassada. Este é um dado importante devido ao fato de as cortinas serem geralmente utilizadas com transpasse, pela facilidade de manuseio que este apresenta.

As composições ensaiadas com cortinas duplas com afastamento de 5 a 15 cm entre elas não ofereceram uma melhoria significativa em relação às cortinas simples, sendo que apenas uma das composições apresentou uma melhoria de  $R_w$  1 dB. As cortinas duplas tiveram um melhor desempenho nas altas frequências, conforme pode ser visualizado no gráfico da Figura 64.

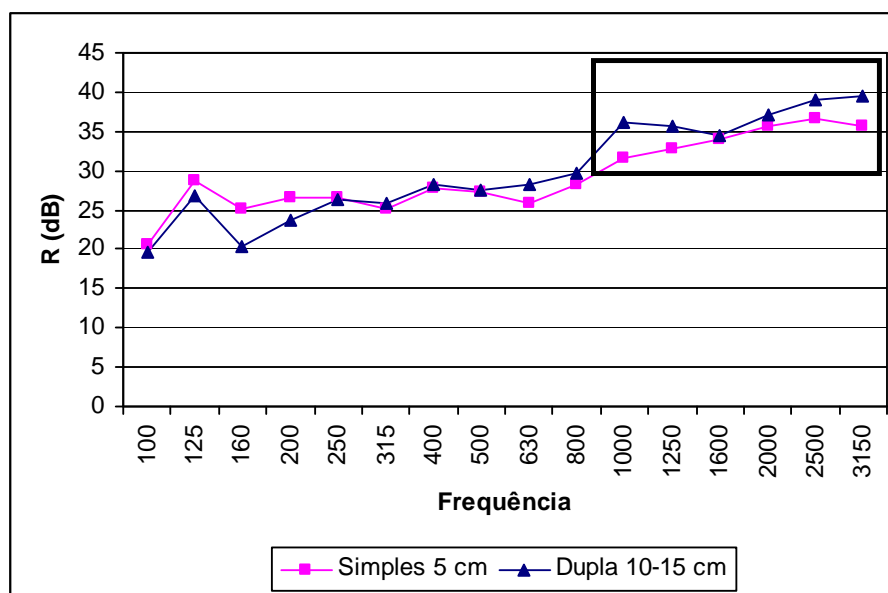


Figura 64 – Gráfico comparativo entre desempenho das cortinas simples e duplas nas altas frequências

A colocação de painéis de lã de vidro Isosound Tecido, de espessura de 50 mm e 75 mm, entre a cortina black-out e a parede acrescentou apenas 1 dB com relação às cortinas simples. No entanto, apresentaram um melhor desempenho nas baixas frequências, em relação

às cortinas simples, como pode ser visualizado na Figura 65. Observa-se também que a espessura do material absorvente não influenciou no isolamento sonoro da fachada.

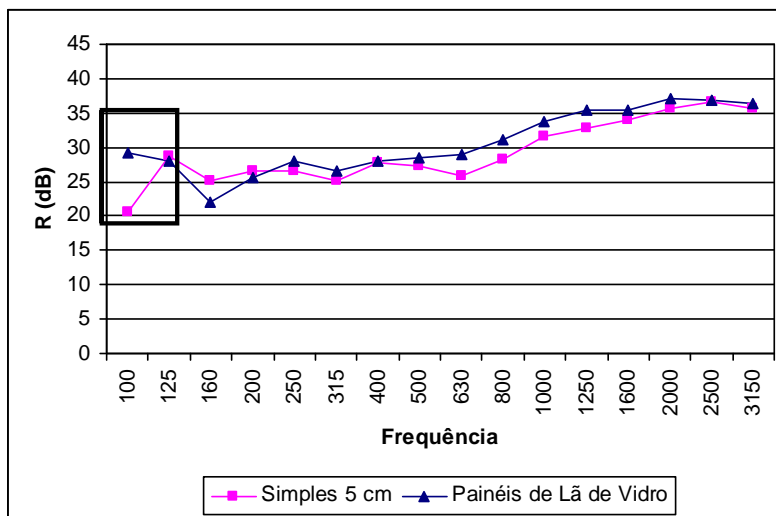


Figura 65 – Gráfico comparativo entre desempenho cortinas simples e com colocação de painéis de lã de vidro

As cortinas de black-out apresentaram um melhor desempenho no isolamento sonoro à ruídos aéreos se comparado às venezianas e persianas, sendo assim, mais viável sua utilização na relação custo-benefício.

Conclui-se que o uso de cortinas black-out sobrepostas a um elemento de fachada contribui para o isolamento sonoro dos ambientes, com certas limitações nas baixas frequências, sendo viável sua utilização do ponto de vista acústico e econômico.

### 5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

As sugestões para trabalhos futuros incluem ensaios de tecidos com maior densidade e com diferentes porcentagens na composição de seus materiais, já disponíveis no mercado, com o intuito de buscar alternativas para o isolamento sonoro de fachadas com custos menos elevados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 10821**. Caixilhos para Edificação – janelas. Rio de Janeiro. 1992. 37 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10152**. Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro. 1987.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 1. ed. Brasília: Thesaurus, 2006.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT CSTB. **Acoustique, sciences du Batiment**. Reef . Paris: CSTB, 1982. 296 p. v.2.

ESQUADRIAS PRIMO. Disponível em: <<http://www.esquadriasprimo.com.br>>. Acesso em 18 jul 2008.

FERREIRA, J.A.C; ZANNIN, P.H.T. Determinação de Coeficientes de Isolamento Acústico: Medições *in situ* e Simulação Computacional. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 7, n. 2 , p. 15-29, abr./jun. 2007.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: UFSC, 1992. 600 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Requeriments for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission. **ISO 140/I**. 1997.

\_\_\_\_\_. Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Determination, verification and application of precision data. **ISO 140/II**. 1991/Cor 1: 1993.

\_\_\_\_\_. Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. **ISO 140/III**. 1995.

\_\_\_\_\_. **ISO 717-1** – Rating of Sound Insulation in Building Elements Part 1: Airborne Sound Insulation. 2nd ed. 1996.

LUXAFLEX. **Catálogo Mostruário de Cortinas**. 2007.

MEISSER, M. **Acustica de los Edifícios**. Barcelona: Editores Técnicos Associados, 1973.

MÉNDEZ, A.M. et al. **Acustica Arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238 p.

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Senac, 2007.

OLIVEIRA, M. A. **Estudo da Eficiência da Duplicação de Janelas na Melhoria do Isolamento Acústico destes Componentes**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PUJOLLE, J. **La Pratique de l'Isolation Acoustique des Batiments**. Editions du Moniteur. Paris, 1978. 574 p.

RECCHIA, C. A. **Estudo do Desempenho Acústico dos Elementos Construtivos que Compõe a Fachada**. 2001. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

REVESTIR, Revista Eletrônica de Revestimentos e Acabamentos. Disponível em: <<http://www.revestir.com.br>>. Acesso em 12 jul 2008.

SANTOS, J.L.P; MUTTI, C. Qualificação do Laboratório de Isolação Acústica da UFSM de acordo com a Norma ISO 140. **Revista Acústica e Vibrações**. SOBRAC, v. 09, p. 01-04, jun 91.

SANTOS, J.L.P *et al.* Estudo de Cortinas Leves na Isolação Acústica de Ambientes. Santa Maria, 1998 – Disponível em <http://www.infohab.org.br> – Acesso em 12 nov 2008.

SCHERER, M. J. **Estudo do Isolamento Sonoro de Vidros de Diferentes Tipos e Espessuras, em Vitragem Simples e Dupla**. 2005.149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar**. 3. ed. Belo Horizonte: Termo-Acústica, 1997. 277 p.

SOUZA, L.C; ALMEIDA, M.G; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da Acústica Arquitetônica: Ouvindo a Arquitetura**. São Carlos: EdUFSCar, 2006.



## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Valores de R (dB) obtidos para cada frequência nos ensaios realizados.

### - Série “A” de Ensaio

**Amostra de Referência:** uma parede de alvenaria com reboco em ambos os lados com uma esquadria de alumínio de correr sem persiana ou veneziana com dimensões de 1,20 x 1,30.

**Cortina:** uma cortina de vinil, de densidade superficial de 0,5 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1,5 milímetros.

#### Ensaio sem cortina

Frequência (Hz)	R (dB)
100	21,2
125	24,7
160	22,9
200	28,8
250	27,8
315	28,2
400	28,9
500	27,3
630	27,1
800	27,2
1000	27,8
1250	28,8
1600	27,9
2000	29,1
2500	29,0
3150	27,7

**R<sub>w</sub> = 28**

**Ensaio com amostra de referência + cortina de vinil, de densidade superficial de  $0,5 \text{ Kg/m}^2$  e espessura de 1,5 milímetros com diferentes composições.**

**A1 – Cortina simples com afastamento de 5 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	20,7	-0,5
125	24,7	28,7	4,0
160	22,9	25,2	2,3
200	28,8	26,5	-2,3
250	27,8	26,5	-1,3
315	28,2	25,2	-3,0
400	28,9	27,8	-1,1
500	27,3	27,2	-0,1
630	27,1	26,0	-1,1
800	27,2	28,3	1,1
1000	27,8	31,6	3,8
1250	28,8	32,8	4,0
1600	27,9	34,1	6,2
2000	29,1	35,7	6,6
2500	29,0	36,7	7,7
3150	27,7	35,6	7,9

<b><math>R_w = 31</math></b>
------------------------------

**A2 – Cortina simples com afastamento de 10 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	21,2	0
125	24,7	29,4	4,7
160	22,9	24,3	1,4
200	28,8	27,3	-1,5
250	27,8	28,0	0,2
315	28,2	26,9	-1,3
400	28,9	29,2	0,3
500	27,3	28,8	1,5
630	27,1	29,4	2,3
800	27,2	29,5	2,3
1000	27,8	32,4	4,6
1250	28,8	32,8	4,0
1600	27,9	33,0	5,1
2000	29,1	35,0	5,9
2500	29,0	35,9	6,9
3150	27,7	34,9	7,2

**R<sub>w</sub> = 32**

**A3 - Cortina simples com afastamento de 15 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	21,0	-0,2
125	24,7	31,1	6,4
160	22,9	23,4	0,5
200	28,8	26,6	-2,2
250	27,8	29,2	1,4
315	28,2	28,9	0,7
400	28,9	29,0	0,1
500	27,3	28,5	1,2
630	27,1	29,5	2,4
800	27,2	30,1	2,9
1000	27,8	32,0	4,2
1250	28,8	33,1	4,3
1600	27,9	33,3	5,4
2000	29,1	34,8	5,7
2500	29,0	35,5	6,5
3150	27,7	34,2	6,5

$$R_w = 32$$

**A4 – Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede com transpasse de 5 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	21,0	-0,2
125	24,7	30,3	5,5
160	22,9	20,1	-2,8
200	28,8	25,7	-3,1
250	27,8	28,3	0,6
315	28,2	29,4	1,2
400	28,9	31,1	2,2
500	27,3	28,8	1,5
630	27,1	29,0	1,8
800	27,2	30,3	3,1
1000	27,8	32,0	4,3
1250	28,8	34,2	5,4
1600	27,9	33,9	6,0
2000	29,1	35,5	6,4
2500	29,0	36,2	7,2
3150	27,7	35,4	7,7

$$R_w = 33$$

**A5 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede com transpasse de 10 cm, sobreposta à amostra de referência**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	19,9	-1,3
125	24,7	30,3	5,5
160	22,9	21,4	-1,5
200	28,8	26,4	-2,4
250	27,8	29,2	1,5
315	28,2	29,1	0,9
400	28,9	31,2	2,3
500	27,3	28,9	1,6
630	27,1	28,3	1,2
800	27,2	30,0	2,9
1000	27,8	32,3	4,6
1250	28,8	33,9	5,1
1600	27,9	33,9	6,0
2000	29,1	35,4	6,3
2500	29,0	35,8	6,8
3150	27,7	35,0	7,3

$$R_w = 33$$

**A6 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede com transpasse de 15 cm, sobreposta à amostra de referência**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	20,6	-0,6
125	24,7	30,4	5,7
160	22,9	21,7	-1,2
200	28,8	27,3	-1,5
250	27,8	28,1	0,4
315	28,2	29,7	1,5
400	28,9	31,3	2,4
500	27,3	28,8	1,5
630	27,1	28,6	1,5
800	27,2	30,3	3,1
1000	27,8	32,3	4,5
1250	28,8	34,0	5,2
1600	27,9	33,8	5,9
2000	29,1	35,1	6,0
2500	29,0	35,4	6,4
3150	27,7	34,5	6,8

$$R_w = 33$$



**A7 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede com transpasse de 20 cm, sobreposta à amostra de referência**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	20,2	-1,0
125	24,7	30,0	5,2
160	22,9	23,8	0,9
200	28,8	29,9	1,1
250	27,8	30,0	2,2
315	28,2	29,7	1,5
400	28,9	32,0	3,1
500	27,3	29,7	2,3
630	27,1	30,1	3,0
800	27,2	31,2	4,1
1000	27,8	33,8	6,1
1250	28,8	35,2	6,4
1600	27,9	34,8	6,9
2000	29,1	37,0	7,9
2500	29,0	36,5	7,5
3150	27,7	35,0	7,3

$$R_w = 33$$

**A8 – Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com afastamento de 5 cm da parede e a outra com afastamento de 10 cm e o espaçamento entre elas de 5 cm, sobrepostas à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	20,2	-1,0
125	24,7	27,5	2,8
160	22,9	22,4	-0,5
200	28,8	25,3	-3,5
250	27,8	26,4	-1,4
315	28,2	24,8	-3,4
400	28,9	27,4	-1,5
500	27,3	26,8	-0,6
630	27,1	26,9	-0,2
800	27,2	29,0	1,9
1000	27,8	31,7	3,9
1250	28,8	33,1	4,3
1600	27,9	34,0	6,1
2000	29,1	36,6	7,5
2500	29,0	38,6	9,6
3150	27,7	40,2	12,5

**Rw = 32**

**A9 - Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com afastamento de 5 cm da parede e a outra com afastamento de 15 cm e o espaçamento entre elas de 10 cm, sobrepostas à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	22,8	1,6
125	24,7	28,3	3,6
160	22,9	20,1	-2,8
200	28,8	26,0	-2,8
250	27,8	27,7	0
315	28,2	26,3	-1,9
400	28,9	27,2	-1,7
500	27,3	26,2	-1,1
630	27,1	26,6	-0,6
800	27,2	28,3	1,1
1000	27,8	31,5	3,8
1250	28,8	33,1	4,3
1600	27,9	34,4	6,5
2000	29,1	37,1	8,0
2500	29,0	39,1	10,1
3150	27,7	39,6	11,8

**Rw = 32**

**A10 – Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com afastamento de 10 cm da parede e a outra com afastamento de 15 cm e o espaçamento entre elas de 5 cm, sobrepostas à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	19,6	-1,7
125	24,7	26,7	2,0
160	22,9	20,3	-2,6
200	28,8	23,8	-5,0
250	27,8	26,3	-1,5
315	28,2	25,8	-2,4
400	28,9	28,3	-0,5
500	27,3	27,4	0,1
630	27,1	28,1	1,0
800	27,2	29,6	2,5
1000	27,8	36,1	8,3
1250	28,8	35,7	6,9
1600	27,9	34,4	6,5
2000	29,1	37,0	7,9
2500	29,0	39,0	9,9
3150	27,7	39,5	11,8

$$R_w = 33$$

**A11 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede e painéis de lã de vidro de 50 mm de espessura, sobrepostos à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	29,1	7,9
125	24,7	28,0	3,3
160	22,9	22,0	-0,9
200	28,8	25,7	-3,1
250	27,8	28,0	0,2
315	28,2	26,7	-1,5
400	28,9	28,0	-0,9
500	27,3	28,4	1,0
630	27,1	29,0	1,9
800	27,2	31,1	4,0
1000	27,8	33,7	5,9
1250	28,8	35,5	6,7
1600	27,9	35,4	7,5
2000	29,1	37,2	8,1
2500	29,0	36,9	7,9
3150	27,7	36,3	8,5

$$R_w = 33$$

**A12 - Cortina simples com afastamento de 15 cm da parede e painéis de lã de vidro de 75 mm de espessura, sobrepostos à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	21,2	26,7	5,5
125	24,7	27,5	2,7
160	22,9	24,1	1,2
200	28,8	24,6	-4,3
250	27,8	25,9	-1,9
315	28,2	26,9	-1,3
400	28,9	27,9	-0,9
500	27,3	27,6	0,3
630	27,1	29,0	1,9
800	27,2	30,9	3,7
1000	27,8	33,7	5,9
1250	28,8	36,2	7,4
1600	27,9	26,3	-1,6
2000	29,1	38,5	9,4
2500	29,0	39,5	10,5
3150	27,7	40,6	12,8

**R<sub>w</sub> = 33**

**- Série “B” de Ensaio**

**Amostra de Referência** – uma parede de placas pré-moldadas de raspas de pneus, sendo sua face interna (câmara de recepção) revestida com lambri, com uma janela central de correr, em madeira com vitragem de 3 mm e venezianas de abrir. Totalizando uma parede de 8 cm.

**Cortina:** uma cortina de poliéster, com densidade = 0,426 Kg/m<sup>2</sup> e espessura de 1 milímetro

**Ensaio sem cortina**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>R (dB)</b>
100	15,8
125	24,6
160	24,4
200	28,1
250	24,4
315	23,0
400	24,8
500	23,1
630	23,3
800	24,6
1000	26,9
1250	26,6
1600	26,1
2000	26,4
2500	27,7
3150	27,8

**R<sub>w</sub> = 26**

**B1 - Cortina simples com afastamento de 5 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	17,5	1,7
125	24,6	26,3	1,7
160	24,4	21,5	-2,9
200	28,1	26,5	-1,6
250	24,4	24,3	-0,1
315	23,0	20,1	-2,9
400	24,8	21,8	-3,0
500	23,1	25,8	2,7
630	23,3	22,2	-1,1
800	24,6	27,1	2,5
1000	26,9	28,2	1,3
1250	26,6	30,5	3,9
1600	26,1	30,3	4,2
2000	26,4	29,9	3,5
2500	27,7	30,2	2,5
3150	27,8	32,8	5,0

$$R_w = 28$$



**B2 - Cortina simples com afastamento de 10 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	17,5	1,7
125	24,6	26,5	1,9
160	24,4	21,3	-3,1
200	28,1	26,0	-2,1
250	24,4	25,2	0,8
315	23,0	21,0	-2,0
400	24,8	22,8	-2,0
500	23,1	26,1	3,0
630	23,3	23,2	-0,1
800	24,6	27,6	3,0
1000	26,9	28,4	1,5
1250	26,6	29,0	2,4
1600	26,1	30,2	4,1
2000	26,4	29,9	3,5
2500	27,7	30,5	2,8
3150	27,8	32,6	4,8

$$R_w = 28$$

**B3 - Cortina simples com afastamento de 15 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	17,5	1,7
125	24,6	26,2	1,6
160	24,4	22,4	-2,0
200	28,1	26,5	-1,6
250	24,4	25,5	1,1
315	23,0	22,5	-0,5
400	24,8	24,0	-0,8
500	23,1	25,5	2,4
630	23,3	23,3	0
800	24,6	27,4	2,8
1000	26,9	28,1	1,2
1250	26,6	29,7	3,1
1600	26,1	29,8	3,7
2000	26,4	29,7	3,3
2500	27,7	30,1	2,4
3150	27,8	32,3	4,5

$$R_w = 28$$

**B4 - Cortina simples com afastamento de 20 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	17,5	1,7
125	24,6	26,9	2,3
160	24,4	23,1	-1,3
200	28,1	25,5	-2,6
250	24,4	25,9	1,5
315	23,0	22,4	-0,6
400	24,8	24,0	-0,8
500	23,1	26,4	3,3
630	23,3	22,8	-0,5
800	24,6	26,6	2,0
1000	26,9	27,9	1,0
1250	26,6	30,2	3,6
1600	26,1	30,8	4,7
2000	26,4	30,1	3,7
2500	27,7	30,9	3,2
3150	27,8	32,7	4,9

$$R_w = 28$$

**B5 - Cortina simples com afastamento de 20 cm com transpasse de 20 cm, sobreposta à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	18,5	2,7
125	24,6	29,0	4,4
160	24,4	25,1	0,7
200	28,1	25,2	-2,9
250	24,4	23,1	-1,3
315	23,0	22,2	-0,8
400	24,8	26,4	1,6
500	23,1	25,7	2,6
630	23,3	23,2	-0,1
800	24,6	26,3	1,7
1000	26,9	29,5	2,6
1250	26,6	30,1	3,5
1600	26,1	29,1	3,0
2000	26,4	29,4	3,0
2500	27,7	31,0	3,3
3150	27,8	32,9	5,1

$$R_w = 28$$

**B6 - Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com afastamento de 5 cm da parede e a outra com afastamento de 10 cm, com transpasse de 20 cm, sobrepostas à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	18,7	2,9
125	24,6	29,6	5,0
160	24,4	24,6	0,2
200	28,1	25,0	-3,1
250	24,4	23,2	-1,2
315	23,0	21,7	-1,3
400	24,8	24,0	-0,8
500	23,1	24,3	1,2
630	23,3	22,3	-1,0
800	24,6	26,0	1,4
1000	26,9	29,3	2,4
1250	26,6	32,5	5,9
1600	26,1	32,2	6,1
2000	26,4	33,3	6,9
2500	27,7	34,3	6,6
3150	27,8	36,5	8,7

$$R_w = 29$$

**B7 – Cortinas duplas, sendo uma das cortinas com afastamento de 10 cm da parede e a outra com afastamento de 20 cm, com transpasse de 20 cm, sobrepostas à amostra de referência.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Amostra de Referência R (dB)</b>	<b>R (dB) do ensaio</b>	<b>Diferença R (dB)</b>
100	15,8	20,2	4,4
125	24,6	29,5	4,9
160	24,4	25,9	1,5
200	28,1	24,6	-3,5
250	24,4	23,4	-1,0
315	23,0	22,6	-0,4
400	24,8	25,7	0,9
500	23,1	25,3	2,2
630	23,3	23,2	-0,1
800	24,6	26,7	2,1
1000	26,9	29,4	2,5
1250	26,6	30,4	3,8
1600	26,1	31,4	5,3
2000	26,4	32,6	6,2
2500	27,7	34,7	7,0
3150	27,8	36,3	8,5

**Rw = 29**

## APÊNDICE B – Fotografias dos ensaios realizados



Figura 66 – Fonte Sonora



Figura 67 – Microfone



Figura 68 – Analisador Acústico



Figura 69 - Fachada de Referência





Figura 70 – Cortina utilizada nos ensaios

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.