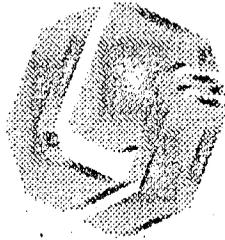


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



*PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O
ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES
FECHADOS DE PEQUENO PORTE.*

ORIENTADOR: EDGARD LAMOUNIER JÚNIOR, PhD

ORIENTADO: MAURÍCIO CAPELAS

OUTUBRO

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

*PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O
ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES
FECHADOS DE PEQUENO PORTE.*

Dissertação apresentada por Maurício Capelas à Universidade Federal de Uberlândia para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

- Professor Edgard Lamounier Jr, PhD – UFU, Orientador.
- Professor Luciano Vieira Lima – DSc – UFU
- Professor Haroldo Rodrigues Azevedo – PhD - UFU

Uberlândia, 15 de outubro 2004.

*PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O
ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES
FECHADOS DE PEQUENO PORTE.*

MAURÍCIO CAPELAS

Tese apresentada por Maurício Capelas, à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Professor Edgard Lamounier Jr.
Orientador


Professor João Batista Vieira Junior
Coordenador do Curso de pós-graduação

AGRADECIMENTOS

A Deus, que na Sua infinita bondade, torna tudo possível.

Agradeço principalmente à dedicação, paciência e competência do professor Dr. Edgard Lamounier Jr, que teve participação decisiva e fundamental para que este trabalho de pesquisa fosse efetivado.

Ao professor Dr. Jose Manuel Fernandes, que muito me incentivou.

À Universidade Santa Cecília, em Santos, que proporcionou o caminho para que as disciplinas pudessem ser cursadas.

Especiais agradecimentos ao Sr. Gil, da UltraSom, que possibilitou as medidas efetuadas com o RTA, à Sonex-Ilbruck, pelos materiais acústicos, ao Sr. Luiz Cysne, da Digital Áudio, pelas tardes de estudos e ensaios, ao Sr. Eduardo Mascarenhas, que gentilmente cedeu sua sala de música para esta pesquisa, ao Sr. Eglon, da UNICID pela ajuda no desenvolvimento do software.

Aos professores doutores, componentes da banca, por terem aceitado o convite para participação deste trabalho, com valiosas contribuições dadas, que, com certeza me enriqueceram.

A tantas outras pessoas que foram contatadas durante a minha pesquisa, e que me ajudaram sobremaneira na elaboração deste trabalho, que por falta de espaço não será possível citá-las.

E principalmente ao meu amor eterno, minha esposa Cida, que Deus colocou no meu caminho, para dizer que viver vale a pena.

Muito obrigado.

RESUMO

CAPELAS, M. PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES FECHADOS DE PEQUENO PORTE. Uberlândia, Departamento de Engenharia Elétrica – UFU, 2004,94p.

Esta dissertação mostra a importância do tratamento acústico em pequenos ambientes fechados, para melhorar não só o conforto acústico, como também a inteligibilidade do som que se está ouvindo. Para isto foram estudadas as formulas matemáticas utilizadas nos cálculos da reverberação do som em ambientes fechados, comparado-as graficamente umas com as outras, e com isto mostrando a sua aplicabilidade. No estudo de caso realizado, mostrou-se a efetiva queda do tempo de reverberação, conforme as medições feitas das pressões sonoras, através de um analisador de tempo real. A partir destas informações, foi desenvolvido um programa, usando o Delphi como ferramenta. Esta ferramenta tem uma boa interação gráfica com o usuário, o que permite a geração de gráficos de comparação da reverberação de forma bastante amigável, mostrando os tempos de reverberação antes e depois do tratamento acústico. Esta ferramenta também foi utilizada, visto permitir uma rápida atualização de suas tabelas e cálculos, podendo ser incrementada continuamente. Como trabalho futuro, considerações da disposição e localização das fontes sonoras, bem como do mobiliário e pessoas dentro do ambiente serão implementadas, permitido assim, maiores opções para o tratamento acústico.

ABSTRACT

CAPELAS, M. COMPUTER SYSTEM PROPOSAL FOR FREQUENCY RESPONSE AND REVERBERATION TIME ANALYSIS FOR SMALL AND CLOSED ROOMS - Uberlândia, Electric Engineering Dept. – UFU, 2004,81p.

This work shows the importance for acoustic treatment in small and closed rooms, to improve, not only the acoustic comfort, but also the system intelligibility. Formulas to calculate the reverberation time for small and closed rooms have been used, comparing each one in a graphic, showing their applicability. In the real case study, the reverberation time decreases has been compared with the sound pressure level decreases, using a real time analyzer. With this information, a software has been developed, using Delphi skills. Delphi has a good user's graphic interaction, is friendly user software, allowing a fast actualization and continuously increment. And in a future works, the sound sources positioning, furniture and peoples inside the room, will be implemented to improve the options for acoustic treatment.

PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES FECHADOS DE PEQUENO PORTE.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

- 1.1 – Motivação
- 1.2 – Objetivo
- 1.3 – Metas
- 1.4 – Breve introdução à acústica e à engenharia do som
- 1.5 – Contribuições
- 1.6 – Organização da dissertação

CAPÍTULO 2 – SOM – PRINCÍPIOS BÁSICOS E TRABALHOS RELACIONADOS.

- 2.1 – Introdução
- 2.2 – O som
- 2.3 – Índice de absorção
- 2.4 – Tempo de reverberação RT_{60}
- 2.5 – Índice de absorção x tempo de reverberação
- 2.6 – Das medidas do som
- 2.7 – Trabalhos relacionados
 - 2.7.1 – Áudio List
 - 2.7.2 – illbruck-Sonex
- 2.8 – Sumário e conclusões

CAPÍTULO 3 – ARQUITETURA DO SISTEMA

- 3.1 – Arquitetura do sistema
- 3.2 – Descrição das etapas
 - 3.2.1. – Etapa 1 – escolha do ambiente
 - 3.2.2. – Etapa 2 – dimensionamento do ambiente

- 3.2.3. – Etapa 3 – dimensionamento do chão e teto
- 3.2.4. – Etapa 4 – escolha dos materiais originais do ambiente
- 3.2.5. – Etapa 5 – cálculo da RT_{60} atual
- 3.2.6. – Etapa 6 – escolha dos materiais acústicos para tratamento.
- 3.2.7. – Etapa 7 – cálculo da RT_{60} corrigida
- 3.2.8. – Etapa 8 – escolha do ambiente para RT_{60} desejado
- 3.2.9. – Etapa 9 – pressão sonora escolhida para cálculo da potência recomendada.

CAPÍTULO 4 – DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO

- 4.1 – Implementação das etapas 2,3,4 e 5.
 - 4.1.1 – conversão de variáveis
 - 4.1.2 – cálculo do volume
 - 4.1.3 – cálculo da RT_{60} atual
 - 4.1.4. – geração do gráfico da RT_{60} atual
 - 4.1.5. – escolha dos materiais acústicos para tratamento
 - 4.1.6. – cálculo da RT_{60} corrigida
 - 4.1.7. – geração do gráfico da RT_{60} corrigida
 - 4.1.8. – escolha do ambiente para cálculo da potencia recomendada

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO E SEUS RESULTADOS

- 5.1. – Detalhes da sala escolhida
- 5.2. – Resultados teóricos
 - 5.2.1. – usando software da illbruck-Sonex
 - 5.2.2. – usando software da Áudio List
 - 5.2.3. – usando software desenvolvido nesta dissertação
- 5.3. – Resultados práticos
 - 5.3.1. – parede de frente sem e com revestimento acústico

5.3.2. – parede do lado esquerdo sem e com revestimento acústico

5.3.3. – parede dos fundos sem e com revestimento acústico

5.3.4. – parede do lado direito sem e com revestimento acústico

5.3.5. – gráfico que correlaciona os RT_{60} calculados e a média da pressão sonora medida, com e sem revestimento acústico.

5.4 – Cálculo da potência máxima recomendada

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 – Conclusões

6.2 – Trabalhos futuros

APÊNDICE A – Som, definições, características e propriedades.

APÊNDICE B – Tabela dos índices de absorção dos materiais.

APÊNDICE C – Tempos de reverberação ótimos de ambientes.

APÊNDICE D – Pressões recomendadas para ambientes fechados.

APÊNDICE E – Gráficos com as medições de SPL feitas na sala.

APÊNDICE F – Figura do software da Áudio List.

APÊNDICE G – Figura do software da illbruck-Sonex.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM FREQUÊNCIA E O ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA AMBIENTES FECHADOS DE PEQUENO PORTE.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – SOM PRINCÍPIOS BÁSICOS E TRABALHOS RELACIONADOS

Figura 2.3.A – Decaimento da energia de uma onda sonora	22
Figura 2.3.B – Decaimento da energia de uma onda sonora, com relação logarítmica.	22
Figura 2.3.C – Detalhe do decaimento e da RT_{60} de uma onda sonora	22
Figura 2.4.1 – Comparação Sabine x Eyring x Fitzroy – sem tratamento acústico.	25
Figura 2.4.2 – Comparação Sabine x Eyring x Fitzroy – com tratamento acústico.	26
Figura 2.4.3 – Gráfico das RT_{60} sugeridas – ABNT 12179.	27
Figura 2.4.4 – Gráfico da proporcionalidade das RT_{60} .	27

CAPÍTULO 3 – ARQUITETURA DO SISTEMA

Figura 3.1 – Escolha do tipo de sala pelo usuário.	34
Figura 3.2 – Entrada de dados da largura e altura das paredes.	34
Figura 3.3 – Entrada de dados do chão e teto, profundidade e cálculo do volume.	35
Figura 3.4 – Escolha dos materiais originais no acabamento da sala.	35
Figura 3.5 – Gráfico do RT_{60} atual.	36
Figura 3.6 – Escolha dos materiais acústicos a serem usados no ambiente.	36
Figura 3.7 – Gráfico da RT_{60} corrigido, formado junto com o da RT_{60} inicial.	37
Figura 3.8 – Escolha do ambiente define-se o RT_{60} desejado, compara atual e o corrigido.	37
Figura 3.9 – Escolha do ambiente e cálculo da potência máxima recomendada.	38

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO E SEUS RESULTADOS

Figura 5.1.1 - Parede esquerda e parte da parede frontal, sem acabamento.	
---	--

Figura 5.1.2 - Parede do fundo e parte da parede direita, sem tratamento	44
Figura 5.1.3 - Parede frontal e parte da parede direita, sem tratamento.	45
Figura 5.1.4 - Parede esquerda e parede do fundo, sem tratamento.	45
Figura 5.1.5 - Parede esquerda e parede de frente, sem tratamento.	46
Figura 5.1.6 - Parede de fundo e parte da parede esquerda, sem tratamento.	46
Figura 5.1.7 - Parede de fundo e parte da parede esquerda, já com tratamento acústico.	47
Figura 5.1.8 - Parede de frente, e parte das paredes esquerda e direita, já com tratamento acústico e detalhes dos equipamentos utilizados para a medição.	47
Figura 5.1.9 - Parede frontal e parede direita, com tratamento acústico e detalhe dos equipamentos utilizados para medição.	48
Figura 5.2.1 - Tempos de reverberação (RT_{60}) calculados a partir do software da ilbruck-Sonex®.	49
Figura 5.2.2 - Tempos de reverberação calculados a partir do gráfico da Áudio List.	50
Figura 5.2.3 - Tempos de reverberação calculados a partir do software desenvolvido nesta dissertação.	51
Figura 5.3.1 - Medição feita na parede de frente da resposta em frequência com o RTA.	52
Figura 5.3.2 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede da frente sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	53
Figura 5.3.3 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede de frente com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	53
Figura 5.3.4 - Medição feita na parede esquerda da resposta em frequência com o RTA.	54
Figura 5.3.5 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede esquerda, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	55

Figura 5.3.6 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede esquerda, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	55
Figura 5.3.7 - Medição feita na parede do fundo da resposta em frequência com o RTA.	56
Figura 5.3.8 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do fundo, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	57
Figura 5.3.9 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do fundo, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	57
Figura 5.3.10 - Medição feita na parede lado direito da resposta em frequência com o RTA.	58
Figura 5.3.11 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do lado direito, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	59
Figura 5.3.12 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do lado direito, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.	59
Figura 5.3.13 - Correlação entre os RT_{60} calculados sem e com revestimento, e a média das pressões sonoras (SPL) medidas, usando-se o software da illbruck-Sonex®.	60
Figura 5.3.14 - Correlação entre os RT_{60} calculados sem e com revestimento, e a média das pressões sonoras (SPL) medidas, usando-se o software desenvolvido nesta dissertação.	61
Figura 5.3.15 - Compara os cálculos do RT_{60} usando o software da illbruck-Sonex® e o desenvolvido nesta dissertação, sem revestimento acústico na sala, com a média da pressão sonora (SPL) medida.	62
Figura 5.3.16 - Compara os cálculos do RT_{60} usando o software da illbruck-Sonex® e o desenvolvido nesta dissertação, com revestimento acústico na sala, com a média da pressão sonora (SPL) medida.	63

**PROPOSTA DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL
PARA ANÁLISE ENTRE A RESPOSTA EM
FREQUÊNCIA E O ÍNDICE DE REVERBERAÇÃO PARA
AMBIENTES FECHADOS DE PEQUENO PORTE.**

CAPÍTULO 1:

INTRODUÇÃO

1.1 – MOTIVAÇÃO

O tratamento acústico de pequenas salas de áudio vem se profissionalizando ao longo do tempo, principalmente com o advento de novas tecnologias como, Home Theaters, Compact Discs[®], Home Karaoke, e sem dúvida nenhuma, a transmissão digital de sinais, via satélite, para TV por assinatura. Neste tipo de aplicação, o som e imagem devem ser tratados com um alto padrão de qualidade.

Sistemas, como o Digital Prologic[®] [Marca Registrada do Dolby Laboratories.] e o THX[®] [Marca Registrada de George Lucas Films], vêm contribuindo, e muito, para que salas de TV sejam preparadas convenientemente, tanto para imagem, como para o som, imitando, de uma certa maneira, salas de cinemas.

O tratamento acústico adequado destes ambientes possibilita uma melhor audibilidade dos sons produzidos por um sistema qualquer, como também aumenta significativamente a inteligibilidade, principalmente na faixa da voz humana, cuja faixa de frequência (330 Hz a 3800Hz) [Audiology – The Fundamentals, Bess,Humes,1998] é a que melhor responde ao ouvido humano, sem o exagero verificado de potências sonoras.

Assim, um sistema de som, não se restringe somente aos aparelhos utilizados, mas também, ao tratamento acústico adequado para a minimização do tempo de reverberação, dado em segundos, para que o som seja totalmente absorvido pelo ambiente.

Este tratamento é complexo e cheio de nuances, e um software amigável proporciona uma interface interessante, mesmo para profissionais na área do som, com pouca experiência.

Existem poucos programas disponíveis para tratar este problema [Ease[®]], [Illbruck-Sonex[®]] [Áudio List], e tais programas apresentam as seguintes limitações:

- Programas importados, p. ex. Ease® [Marca Registrada da Pride Music Inc.1995], de custo elevado, que não é disponibilizado para acesso ao um usuário comum, e projetados para grandes ambientes, tais como estádios, teatros e cinemas.
- Programas com limitações de especificação [Áudio List,1997], que não suportam uma análise fiel do ambiente acústico, pois todos os dados são inclusos por tabelas externas, que não estão disponíveis no próprio programa, sendo necessária a sua obtenção.
- Programas desenvolvidos dedicadamente a fabricantes de material acústico [Jillbruck-Sonex® 2001], onde o programa se dedica à aplicação específica do material do fabricante.

Nota-se, portanto, a necessidade de sistemas computacionais que atendam estas necessidades com mais qualidade, facilidade no acesso, baixo custo, plataforma de uso amigável e com maior opção de materiais acústicos, para ambientes fechados e de pequeno porte.

1.2 – OBJETIVO:

O objetivo maior deste trabalho é o de investigar e implementar técnicas computacionais para o cálculo do tempo de reverberação do ambiente, que permitam maior flexibilidade de uso nestes projetos, principalmente a custo baixo e de fácil acessibilidade pelo usuário, através de um software dedicado, correlacionado-o com a medição do nível de pressão sonora do ambiente, que não é feito pelos softwares aqui comparados.

1.3 - METAS:

Para se alcançar o objetivo acima proposto, as seguintes metas são estabelecidas:

1.3.1 - Analisar os sistemas atuais que tratam deste problema, identificando as vantagens e desvantagens de cada um.

1.3.2. – investigar algoritmos e técnicas computacionais que apresentem a solução dos problemas de forma mais eficiente.

1.3.3. - desenvolver um novo sistema computacional que atenua as desvantagens dos sistemas estudados.

1.3.4. – Implementar um sistema protótipo baseado nas técnicas propostas.

1.3.5. – Aplicar o sistema a um estudo de caso, com a finalidade de observar as vantagens e desvantagens do sistema proposto.

1.4 – BREVE INTRODUÇÃO À ACÚSTICA E À ENGENHARIA DO SOM:

A acústica vem se transformando de arte em ciência, desde os antigos gregos, com seus teatros ao ar livre, onde, até hoje se pode aprender a projetar ambientes acusticamente quase perfeitos, até a aplicação da acústica na medicina moderna [Ressonância por efeito Doppler], área militar [sonar], e principalmente na indústria do entretenimento [TV estéreo, som digital em cinemas, alta fidelidade].

Na área do entretenimento doméstico, com o advento das novas tecnologias em áudio, como o CD, a TV digital, e outros, a acústica dos ambientes tem se tornado importante, para a fiel reprodução dos sons gravados e transmitidos.

Academicamente falando, o estudo da acústica geralmente ocorre nas faculdades de Arquitetura e Engenharia Civil, limitando-se quase sempre à acústica da isolamento do ambiente, problemas com vibrações de máquinas, propagação do barulho externo para interno e vice-versa, ou seja, uso de materiais isolantes e reflexivos acústicos.

Engenharia do som é uma ciência, a ciência de fazer a propagação do som em ambientes abertos ou fechados, de maneira que se entenda, principalmente, o que está sendo falado, ou seja, a inteligibilidade do sistema, e a acústica é a arte de fazer esta propagação sem obstáculos e com a menor reverberação possível.(1) [Vassalo F. 1982].

(1) Ver Capítulo 2.

1.5 - Contribuições desta Dissertação:

Como contribuição principal, esta dissertação focou a relação entre o tempo de reverberação em segundos com a medição da potência sonora, dada em decibéis, medida através de um RTA (Real Time Analyser) e também com a potência sonora máxima.

Como na sua maioria, os cálculos são teóricos, e apesar de já existirem medidores do tempo de reverberação disponíveis no mercado, com custo muito alto de investimento, existe a necessidade de se comprovar que o tempo de reverberação decai segundo as fórmulas, e é acompanhado pela pressão sonora do ambiente.

Foi feito um estudo de caso, trazendo à realidade uma sala sem tratamento, e depois de tratada, na medição da Potência Sonora, dada em SPL (Sound Pressure Level), onde foram comparadas as pressões antes e depois do tratamento, relacionado estas medidas com o tempo de reverberação calculado, também antes e depois do tratamento, que poderá ser visto no Capítulo 5.

O RTA (Real Time Analyzer) é muito usado na medição da curva de resposta em frequência na sonorização de veículos. Mede a resposta em frequência do sistema, usando o ruído rosa, de 20 Hz a 20000 Hz, e a pressão sonora em decibéis. Devido ao volume do veículo ser muito reduzido, havendo materiais absorventes em demasia, a reverberação é importante e necessária, exigindo-se daí potências elevadas.

No caso de ambientes fechados de pequeno porte, como por exemplo, uma sala residencial, ou mesmo uma sala destinada à Home Theater, a reverberação se torna um problema, devido a todas reflexões que serão provocadas pelas superfícies do ambiente, fazendo o som chegar em tempos diferentes várias vezes ao ouvido, provocando um desconforto na inteligibilidade do som.

Esta dissertação teve como contribuição, relacionar o tempo de reverberação calculado, com a pressão sonora medida, dada a experiência na sonorização de veículos e na facilidade de se obter um RTA (Real Time Analyzer), levando-se a investir neste tipo de comparação, para

confirmar que se diminuindo o tempo de reverberação calculado, a pressão sonora medida no ambiente também diminuía.

Confirmou-se, com o estudo de caso, que as equações utilizadas nesta dissertação, para o modelamento do tratamento acústico são aceitáveis na prática, melhorando sobremaneira, não só a audibilidade, o conforto sonoro, como também a inteligibilidade da voz, fato este confirmado pelo proprietário da sala, que a usa como sala de música, escutando suas óperas preferidas.

1.6 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO:

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira:

- A primeira parte, composta pelos Capítulos 1 e 2, se refere ao problema detectado nos softwares de cálculo do tempo de reverberação, a proposição do desenvolvimento de um novo sistema computacional para a solução deste problema, a contribuição que esta dissertação está proporcionando e uma introdução à engenharia do som.

Nesta primeira parte também está explicado o tempo de reverberação e as fórmulas usadas para o seu cálculo, definindo também o índice de absorção dos materiais e uma breve análise nos softwares existentes.

- Na segunda parte, composta pelos Capítulos 3 e 4, desenvolve-se a Arquitetura e Implementação do Sistema. Como foram elaborados as interfaces com o usuário, e como foi implementada esta interface no software.

- Na terceira parte, composta pelo Capítulo 5, é mostrado o estudo de caso de uma sala real, com as medidas feitas com o RTA (Real Time Analyzer), em pressão sonora (SPL – sound pressure level), comparando estas medidas com os cálculos do tempo de reverberação, feitos com os softwares analisados, e o cálculo da potencia máxima recomendada.

- A quarta parte, composta pelo Capítulo 6, é mostrada a conclusão desta dissertação e os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir deste estudo.

- A quinta e última parte, formada pelos Apêndices, se refere a uma descrição de como o som é gerado e propagado, suas propriedades e características, bem como as tabelas utilizadas.

CAPÍTULO 2:

SOM – PRINCÍPIOS BÁSICOS E TRABALHOS RELACIONADOS:

2.1 – INTRODUÇÃO:

Este capítulo se destina a expor os princípios básicos do som, sua natureza, meio de propagação, sua velocidade de propagação, absorção do meio e o seu tempo de reverberação.

2.2 – O SOM:

Todo som tem por sua origem, um movimento vibratório contínuo em um determinado período de tempo. Isto implica em se ter um meio de propagação adequado para que esta vibração possa ser continuada e difundida [Péricles, 2002].

O meio de propagação, ao qual nos deteremos, é o ar, ou seja, um meio elástico onde as vibrações provocadas pela fonte sonora são transmitidas às moléculas adjacentes, que fica interposto entre a fonte de vibração e o ouvido humano.

O tímpano do ouvido humano, funcionando como um diafragma, é sensível às variações de pressão, provocadas pela compressão (diminuição do volume quando exercida uma pressão), e conseqüentemente a sua expansão de volta, por ser um meio elástico. Este processo (compressão e expansão), quando aplicado de forma contínua e ritmada transmite as vibrações às moléculas adjacentes, provocando a sua propagação até a sua extinção. [Bess, Humes, 1998].

A propagação leva automaticamente a uma relação de velocidade com a qual o som se propaga, sendo possível o seu cálculo, conhecendo-se o meio ao qual o som vai se propagar.

Quando o meio de propagação, além de elástico, é homogêneo, no caso o ar, composto basicamente por gases, a velocidade será uniforme, sendo que as ondas sonoras se propagarão segundo esferas centradas na fonte sonora. É suposto que as compressões e rarefações do ar são suficientemente rápidas para não haver tempo de existir a troca de calor entre as partes do meio, condições estas que são encontradas nas ondas sonoras [Rosemberg, Gevertz, 1969].

É interessante lembrar que a propagação das ondas sonoras seja contínua ou de impacto de curta duração, não depende da sua natureza, nem de sua frequência, logo a audição de uma série de sons diferentes e muito próximos uns dos outros não se altera com a distância, não sendo percebida pelo ouvido humano [Bess, Humes, 1998].

A velocidade do som foi convencionada em 340 m/s [Toledo, Nicolau, Ivan, 1984] no ar, porém medidas físicas podem ser feitas e a velocidade do som a 0° C e 1 atm de pressão é de 330 m/s e a 20°C e 1 atm de pressão é de 343 m/s [Toledo, Nicolau, Ivan, 1984]

Um estudo mais detalhado das características do som pode ser visto no Apêndice A.

2.3 – ÍNDICE DE ABSORÇÃO:

O índice de absorção, definido como $\bar{\alpha}$, é a relação entre o quanto de potência sonora, que é incidida em um determinado material foi absorvida e comparado com quanto desta potência foi refletida ao ambiente ($\bar{\alpha} = \text{Fluxo de Energia Acústica Incidente} / \text{Fluxo de Energia Acústica Refletida}$). [Cysne, 1989].

Este coeficiente varia de 0 a 1, sendo que 0 indica que a superfície não absorveu absolutamente nada, refletindo toda a onda sonora e o coeficiente 1, indica que toda onda sonora foi absorvida.

Este coeficiente varia com o material da superfície e a frequência da onda sonora, por isto, são indicadas as bandas de frequência de uma oitava, com frequências centrais em 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz [Cysne, 1989].

Alguns estudiosos preferem apenas três faixas de frequências, desconsiderando as outras, por acharem suficientes para estudo. Estas frequências são 128Hz, 512Hz e 2014Hz. [Péricles, 2002].

No caso das tabelas apresentadas no Apêndice B, se levou em consideração todos os possíveis ângulos de incidência, com um uso prático bastante útil, uma vez que em ambientes fechados, onde existe a reflexão das ondas inúmeras vezes, elas acabam chegando de todos os lados.

2.4 - TEMPO DE REVERBERAÇÃO – RT_{60}

Reflexões das ondas sonoras acontecem em ambientes fechados, devido às superfícies do próprio ambiente (paredes, chão, teto, portas, etc) [ver Apêndice B], que refletem a onda sonora. Estas reflexões vêm de todos os lados, e fazem com que reflexões do sinal original cheguem em tempos diferentes ao ouvinte, daí a necessidade de se minimizar estas reflexões, para que se melhore substancialmente a inteligibilidade do sistema, e o conforto sonoro.

Estas reflexões são chamadas de **REVERBERAÇÃO**, e calcula-se como sendo o tempo médio para que estas sejam absorvidas pelo ambiente.

A definição de RT_{60} é dada pelo tempo necessário para que a energia acústica de um ambiente qualquer caia 60 dB, ou -60dB ($20\log 1/1000000$, daí RT_{60}) do seu valor máximo original, contando desde o momento em que a fonte geradora de energia é desligada[Cysne, 1989].

É o tempo médio para que todas as reflexões do ambiente sejam absorvidas.

Para exemplificar, pode-se imaginar um recinto onde a fonte sonora é ligada, e esta começa a crescer gradualmente, até atingir o máximo, por definição, este máximo é de no mínimo 80dB de pressão sonora, equivalendo a 10^{-6} watt / cm^2 [Péricles,2002].

Quando atingido o máximo, a fonte sonora é desligada, e esta vai decrescendo gradualmente, tendendo ao zero, sendo absorvida pelas superfícies internas do ambiente.

O tempo gasto para a energia ser absorvida em 60 dB é chamado **TEMPO DE REVERBERAÇÃO** ou RT_{60} .

Este tempo, quando colocado em um gráfico, apresenta o decaimento do som no período, e não é linear, uma vez que os índices de absorção dos materiais não são lineares na faixa de frequências estudadas, conforme pode ser visto no Apêndice B.

Assim, podemos observar com detalhes nas figuras 2.3.A, B e C os gráficos da RT_{60} . Na figura 2.3.A, é mostrado o decaimento da energia de uma onda sonora. Na figura 2.3. B. é mostrado o mesmo decaimento, só que na relação logarítmica de E/E_0 . Na figura 2.3.C, é mostrado o detalhe do tempo de reverberação em relação ao decaimento da energia da onda sonora.

Figura 2.3.A - Gráfico do decaimento da energia de uma onda sonora em função do tempo.
Cortesia Digital Tecnologia

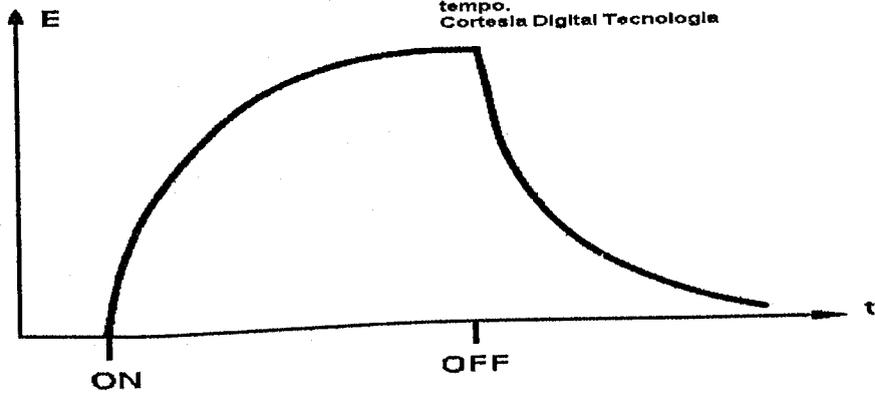


Figura 2.3.B - Gráfico do decaimento de uma onda sonora em função do tempo, calculado pelo Logarítmico da relação E/E_0 .
Cortesia Digital Tecnologia.

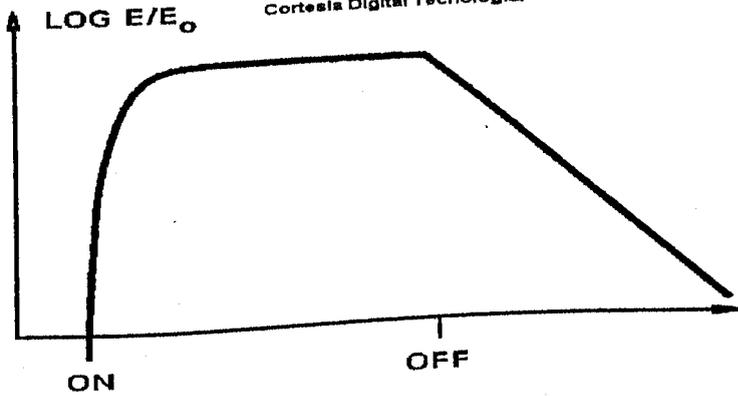
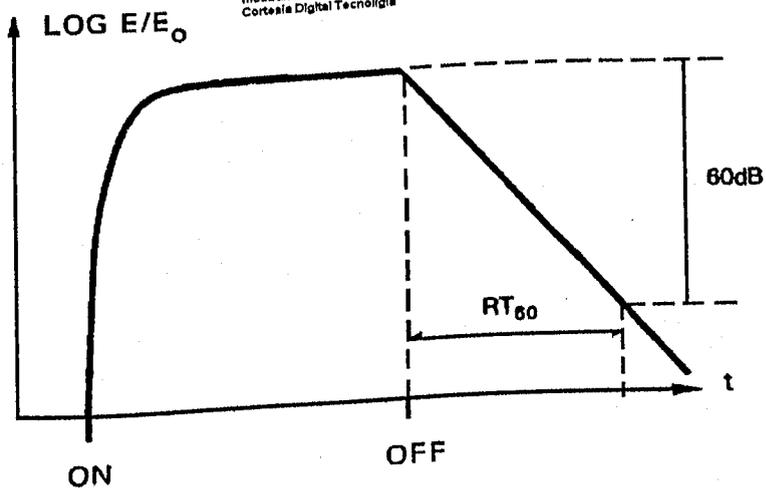


Figura 2.3.C - Detalhe sobre o decaimento da energia de uma onda sonora, mostrando o tempo de reverberação RT_{60} , e a queda em dB.
Cortesia Digital Tecnologia



Em ambientes onde os índices de reflexão são bastante acentuados como, por exemplo, ambientes revestidos com azulejos, este efeito pode ser observado com bastante relevância. Pode-se então agora introduzir o conceito de Caminho Livre Médio (CLM), que nada mais é do que o caminho por onde o som se propaga livremente até encontrar uma superfície de reflexão.

$$CLM = 4V / S$$

Onde: V = volume em m³ do recinto

S = superfície total interna em m².

Para se estabelecer a quantidade de reflexões (R / s = reflexões por segundo), basta calcular o coeficiente entre a velocidade do som (v) no ambiente e o caminho livre médio:

$$R/s = v / CLM$$

Como a RT₆₀ é a queda do nível de energia de 1000000 de vezes, a Quantidade Total de Reflexões (QTR) pode ser escrita como:

$$QTR = 6 \ln 10 (1 / \bar{a})$$

Logo,

$$RT_{60} = QTR / R/s, \text{ ou seja,}$$

$$\frac{6 \ln 10 (1 / \bar{a})}{v / CLM}$$

ou

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{S \bar{a}} \quad (2.1)$$

Esta equação foi definida por Sabine [W.C.Sabine, 1934], e é utilizada para cálculos da RT₆₀, onde V é o volume em m³ do recinto, S é a área da superfície interna total em m², \bar{a} é o coeficiente médio de absorção do recinto.

Como na prática, sem se fazer nenhum tipo de medição, é difícil se determinar \bar{a} , decompõe-se então o termo S \bar{a} em:

S \bar{a} = S₁ \bar{a} ₁ + S₂ \bar{a} ₂ + S₃ \bar{a} ₃ + ... S_n \bar{a} _n (onde S₁ = área da superfície 1, \bar{a} ₁ coeficiente de absorção da área 1, e assim sucessivamente).

Mesmo assim, como os materiais não absorvem igualmente os sons em diferentes frequências, é necessário calcular o RT_{60} para várias faixas de frequência.

Normalmente, utilizam-se as oitavas, sendo que as frequências centrais de interesse são: 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz [Cysne,1989].

Alguns autores preferem frequências na faixa do 128Hz, 512Hz e 2014Hz [Péricles, 2002].

Nos idos da década de 30, vários pesquisadores tentaram adaptar a equação de Sabine aos ambientes onde o RT_{60} fosse menor que 2s, resultando daí a equação de Eyring [C.F.Eyring,1944] :

$$RT_{60} = 0,161 V / - S \ln (1 - \bar{a}) \quad (2.2)$$

Esta fórmula foi muito usada, até que na década de 70, Fitsroy [Daniel Fitsroy, 1975], após muita pesquisa, concluiu e demonstrou que em ambientes onde as absorções não são uniformes, os tempos de reverberação calculados são menores que o real.

Fitsroy ofereceu então a sua equação:

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{S} \left[\frac{2(XY)}{\bar{a}_{xy}} + \frac{2(XZ)}{\bar{a}_{xz}} + \frac{2(YZ)}{\bar{a}_{yz}} \right] \quad (2.3)$$

Onde x, y e z são as dimensões do recinto em m^3 (altura, largura e profundidade), e \bar{a}_{xy} , \bar{a}_{xz} e \bar{a}_{yz} são os coeficientes de absorção de cada par de paredes paralelas.

Esta fórmula tem grande aplicação prática, principalmente, em ambiente onde o chão e o teto são absorventes, e as demais superfícies reflexivas.

Atualmente, existem medidores de RT_{60} no mercado, facilitando esta medição, porém é de grande auxílio o cálculo e a comparação feita praticamente.

Uma vez conhecidas às medidas de RT_{60} , é possível o cálculo dos coeficientes de absorção acústica total do ambiente, valendo-se de uma das três fórmulas apresentadas:

Sabine: $\bar{a} = \frac{0.161V}{S Rt_{60}}$

Eyring: $\bar{a}_E = 1 - e^{-(0.161V / S Rt_{60})}$

Fitzroy: $\bar{a}_F = \frac{0.161V}{S Rt_{60}}$

A fórmula de Sabine tornou-se um padrão de fato no cálculo de RT_{60} , sendo que esta foi adotada como princípio de cálculo nesta dissertação. A fórmula de Eyring é muito usada para grandes ambientes, porém sem a precisão da de Sabine para ambientes mais absorventes. A fórmula de Fitzroy é muito usada quando teto e chão são bastante absorventes, e as paredes são reflexivas, como por exemplo, teatros e cinemas.

O gráfico da figura abaixo, mostra a comparação dos tempos de reverberação, usando as três fórmulas. Note que os tempos calculados com Sabine e Eyring se aproximam, sendo que a de Fitzroy apresenta valores diferentes, pois tanto chão e teto do estudo de caso são reflexivos.

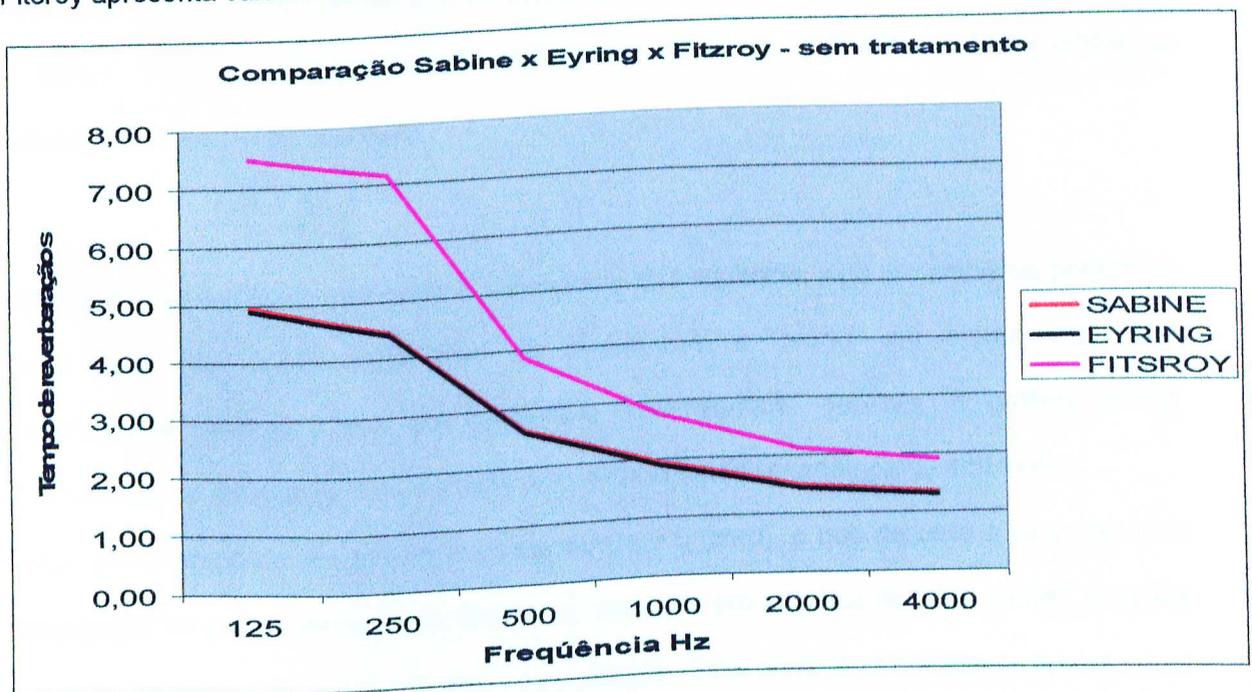


Figura 2.4.1. – Comparação dos cálculos de RT_{60} , usando-se as fórmulas de Sabine, Eyring e Fitzroy, ambiente sem tratamento acústico. (Capelas, 2003).

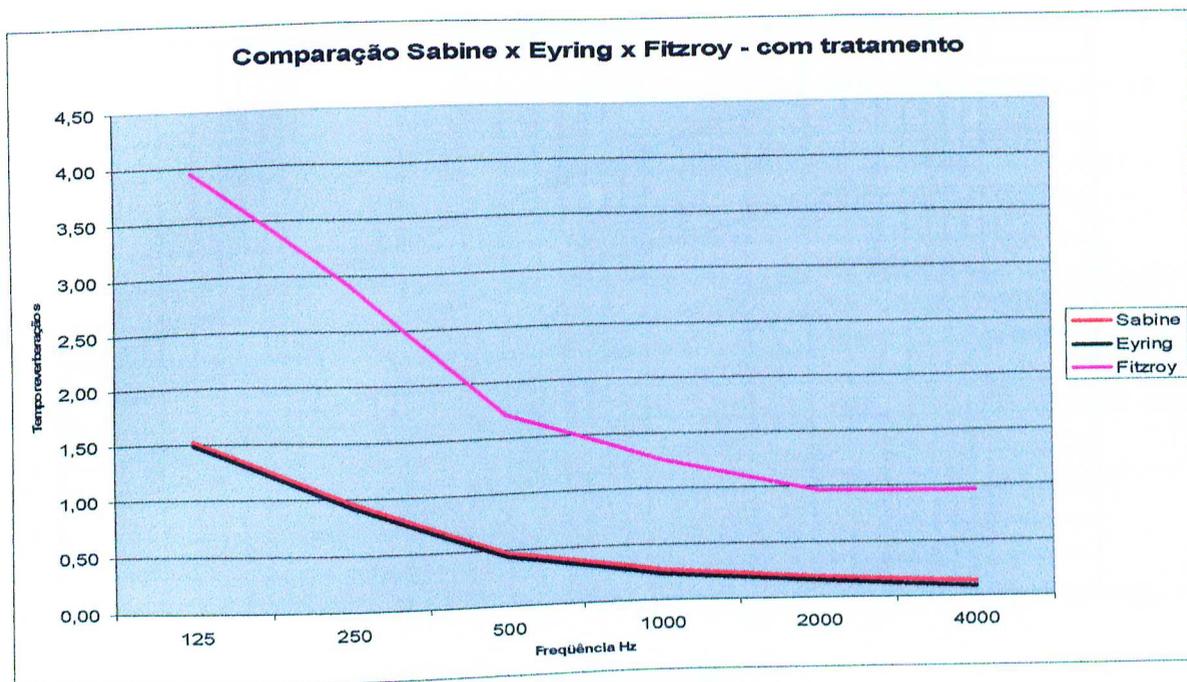


Figura 2.4.2. - Comparação dos cálculos de RT_{60} , usando-se as fórmulas de Sabine, Eyring e Fitzroy, ambiente com tratamento acústico. (Capelas, 2003).

Com o uso de qualquer uma destas fórmulas, agora é possível se calcular a Constante do Ambiente, definida pela letra R, que vai indicar a “qualidade” do ambiente, ou seja, valores de R baixos, indicam ambientes “vivos”, com muitas reflexões, e R altos, indicam ambientes “mortos”, ou seja, muita absorção.

$$R = \frac{S \cdot \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

Notar que o tempo de reverberação é dependente da frequência, logo um ambiente poderá ser “vivo” para uma determinada faixa de frequências, e “morto” em outras. Para isto, experimentos práticos feitos em ambientes determinados, geraram o gráfico abaixo, relacionando os tempos de reverberação com a capacidade volumétrica do ambiente.

Notar que o tempo de reverberação, quase nunca é 0 (zero), o que deixaria a sala com uma propagação do som extremamente direcional, chamada em acústica de “sala morta”, uma vez que o som só se propagaria em uma única direção. Este efeito é muito usado em câmaras anecóicas, na medição de alto falantes, buzinas, sirenes, e outras fontes sonoras.

RT₆₀ EM SEGUNDOS

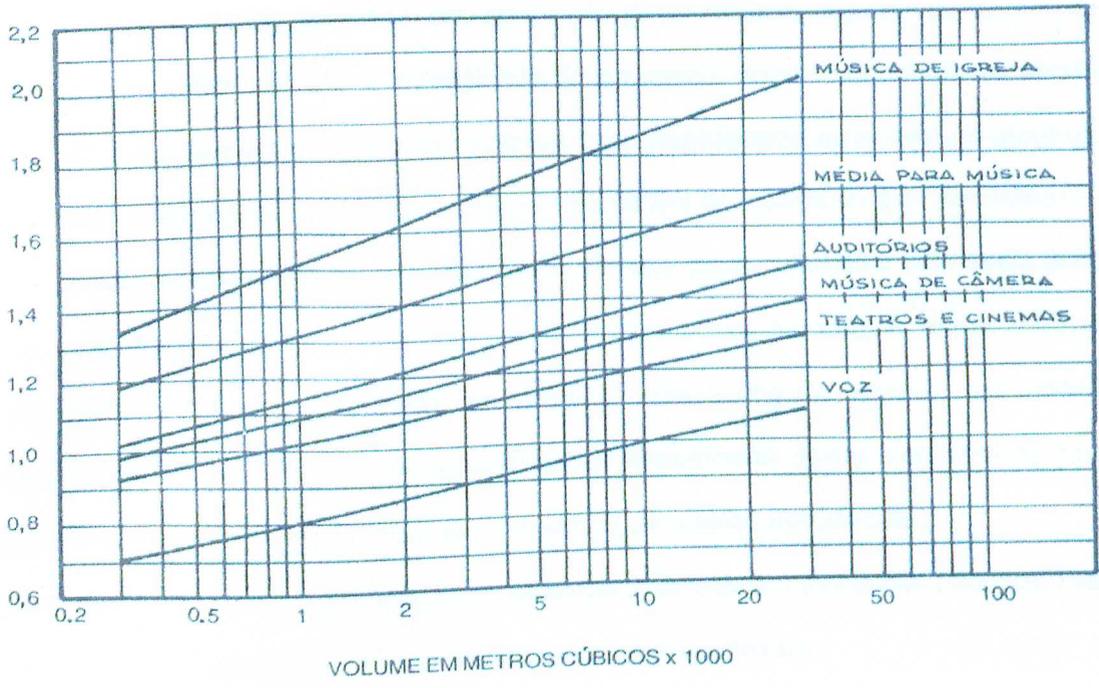


Figura 2.4.3. – Gráfico dos tempos de reverberação sugeridos, ABNT NBR 12179.

Existem, entre vários estudiosos e especialistas em áudio, diferentes interpretações sobre o valor da RT₆₀, nas frequências abaixo de 512 Hz, alguns preferem um valor fixo para toda a faixa de frequência [Péricles, 2002], já outros, preferem um valor proporcional maior da RT₆₀ na faixa de 100Hz até 512Hz [Cysne, 1989]. Esta proporção indica que nesta faixa, a RT₆₀ seja de 1,0 a 1,5 vezes maior nas frequências abaixo de 512Hz. Não há um consenso.

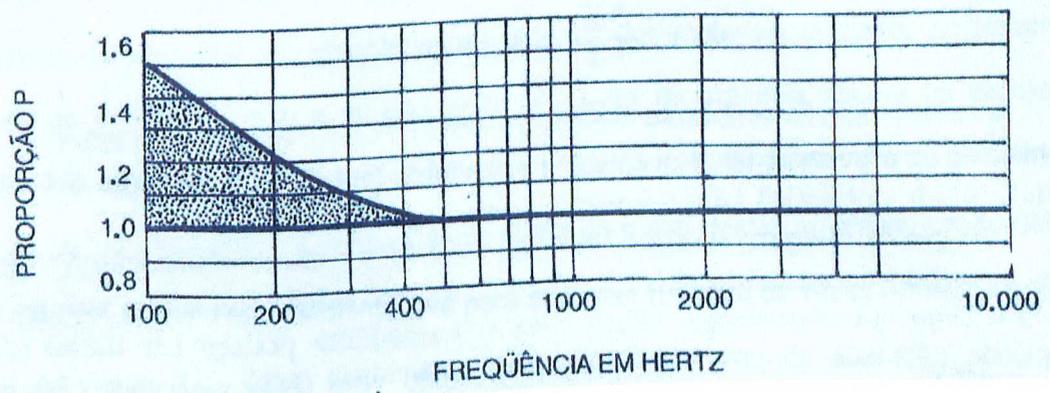


Figura 2.4.4 – Proporção do RT₆₀ para frequências abaixo de 512 Hz. (Cortesia da Acoustical Society of América).

Em qualquer uma das hipóteses, em ambientes já construídos, alguns irão apresentar RT_{60} coerentes, e outros não. Daí a necessidade do tratamento acústico do ambiente, sendo que a solução é a inclusão ou retirada de materiais com propriedades acústicas, de maneira que o RT_{60} resulte em valores apropriados, que se aproximem do valor ideal. (ver Apêndice C).

O processo de tratamento acústico parece ser simples, porém, de fato é uma tarefa árdua, que demanda longos períodos de tempo, onde muitas vezes formam-se ondas estacionárias indesejáveis (ondas que refletidas, se cancelam com a original emitida), que poderão ser filtradas, quer por filtros eletrônicos (com a não transmissão destas frequências), como por painéis sintonizados, que resultem em armadilhas para estas frequências.

Note que o simples fato da utilização de materiais acústicos em ambientes ruidosos, realmente reduz o ruído, podendo-se calcular esta redução pela expressão:

$$10 \log \frac{\bar{a} \text{ antes}}{\bar{a} \text{ depois}} \quad (2.4)$$

Porém, elevando-se o coeficiente de absorção de 0,2 para 0,6, o ruído cai só 4,8dB.

Através desta explicação, é possível ver a importância do cálculo e manuseio da RT_{60} , que junto com a localização dos projetores de som, distribuição da potência sonora e o silêncio interior, constituem um dos principais fatores da inteligibilidade do sistema sonoro.

2.5 – ÍNDICE DE ABSORÇÃO x TEMPO DE REVERBERAÇÃO:

Os índices de absorção são características próprias dos materiais utilizados no tratamento acústico de ambientes, e é a relação entre o quanto de potência sonora foi incidida no material, o quanto desta potencia foi absorvida e o quanto foi refletida de volta ao ambiente.

O tempo de reverberação é a consequência direta do uso destes materiais, sendo definido como o tempo médio que o ambiente leva para absorver 1000000 de vezes (-60dB) a potência sonora (ver item 2.4), logo, diretamente proporcional ao grau de absorção sonora dos materiais usados no tratamento acústico.

2.6 - DAS MEDIDAS DO SOM

A amplitude de uma onda sonora é normalmente expressa em volts pico a pico, que expressa a amplitude máxima e mínima da tensão senoidal. Na verdade, o que se quer calcular é a potência real, expressa em RMS (root mean square), que pode ser calculada para uma forma de onda senoidal periódica por:

$P_{RMS} = V_{RMS} \times I_{RMS}$, onde

$$V_{RMS} = \sqrt{1/T \int_0^T [v(t)]^2 dt} \quad \text{e} \quad I_{RMS} = \sqrt{1/T \int_0^T [i(t)]^2 dt} \quad (2.5)$$

Onde T é o período da onda senoidal, v é a tensão pico a pico da onda senoidal, e i é a corrente da onda senoidal.

Daí resultando:

$$P_{RMS} = 1/T \int_0^T p(t) dt \quad (2.7)$$

onde T é o período da onda senoidal, e p é a potência da onda senoidal.

Contudo, o ouvido humano é sensível à variação de pressão, sendo que a melhor maneira de se medir o som é usando a pressão produzida pela onda sonora. Esta medida é dada em

Pascal – Pa.

É usado então o Nível de Pressão Sonora – NPS, ou em inglês SPL – Sound Pressure Level.

A mínima pressão sonora percebida pelo ouvido é de $20 \mu\text{Pa}$ e a máxima tolerada é de $200.000.000 \mu\text{Pa}$ [Bess, Humes, 1998]. Usando a fórmula do Decibel, ou seja, a relação entre duas potências $20 \log p_2 / p_1$, temos:

$$200.000.000 \mu \text{ Pa} / 20 \mu \text{ Pa} = 10.000.000/1, 20 \log \text{ de } 10.000.000 \text{ resulta em } 140 \text{ dB.}$$

Este nível indica em SPL o som máximo tolerável pelo ouvido humano, também conhecido como o limiar da dor, sendo que o mínimo, tomando-se como base $20 \mu \text{ Pa}$, é chamado de 0 dB.

Neste caso, estamos medindo pressões relativas umas as outras, ou seja, apenas se determinou a relação entre a maior pressão e a menor pressão.

Nas medições de pressão, definida como absoluta, o zero é tomado como referência em 20 μ Pa ficando assim:

$$\text{SPL (dB)} = 20 \log (\text{pressão sonora qualquer}) / 20 \mu \text{ Pa. (2.8)}$$

Observa-se que a medida em SPL será sempre tomada em relação à menor pressão percebida. Esta medida é feita com a ajuda de um instrumento chamado RTA (Real Time Analyzer), que justamente mede a pressão sonora do ambiente em dB., com a ajuda de um microfone (calibrated condenser microphone) e um gerador de ruído rosa (20Hz a 20000Hz) [Bess,Humes,1998] ajustando-se a pressão sonora transmitida ao ambiente em análise.

2.7 – TRABALHOS RELACIONADOS:

2.7.1 – AUDIO LIST:

Software simples de se implementar, uma vez que é uma planilha de cálculo em Excel, onde as fórmulas matemáticas foram tabeladas, e o usuário só precisa entrar com os tamanhos da sala (altura, largura e profundidade), e manualmente colocar os materiais e seus índices de absorção, para isto é necessário que o usuário tenha estas tabelas disponíveis. Não compara o cálculo de RT_{60} antes e RT_{60} depois, não gera nenhum gráfico, ou seja, para a comparação ser feita, é necessário a elaboração e impressão dos gráficos. Trabalha somente com três classes de frequência (125Hz, 1000Hz e 4000Hz), o que limita a análise.

Como vantagem, calcula também o RT_{60} usando a fórmula de Eyring, comparando-o com a fórmula de Sabine. (Ver Apêndice F).

2.7.2. - illbruck Sonex®:

Software melhor elaborado, onde se é possível escolher o ambiente a ser analisado, o cálculo do RT_{60} pode ser feito manualmente ou automaticamente, mostrando o tempo de reverberação ideal para cada ambiente, comparado-o com o calculado. Prevê também três modelos de

ambientes (quadrado, retangular e em "L"), com a vantagem de se poder escolher um teto tipo abóbada (para igrejas).

Apresenta dois tipos de comparação entre o RT_{60} calculado antes do tratamento, e o RT_{60} calculado depois do tratamento.

Como desvantagens, impõe que todas as paredes tenham o mesmo acabamento, não permitindo variações do mesmo, visto calcular a área total das paredes como um todo, e, nem tão pouco que as paredes já tenham materiais acústicos, por não apresentar na sua lista de opções materiais diferentes. Nesta lista de opções de materiais para a correção do RT_{60} , só constam produtos fabricados pela illbruck-Sonex®, não dando margem ao uso de outro material, ou mesmo que algumas superfícies fiquem sem tratamento.

Como opção de superfícies para o calculo do RT_{60} antes do tratamento acústico, apresenta 45 tipos de acabamento e seus respectivos índices de absorção sem opção de material acústico, e para tratamento acústico somente a opção de 18 tipos de sua fabricação. (Ver Apêndice G).

2.8 – SUMÁRIO E CONCLUSÕES:

Estes dois softwares analisados apresentam problemas de performance, conforme visto no item 2.7. Um exige que os parâmetros sejam colocados pelo usuário manualmente, o outro, limita o usuário a um rol de superfícies fixas. Logo, fica clara a necessidade de uma nova maneira para se tratar o problema, que será apresentada nos Capítulos 3 e 4, com a demonstração do estudo de caso no Capítulo 5, onde graficamente se evidencia o ganho na performance dos resultados.

CAPÍTULO 3: ARQUITETURA DO SISTEMA.

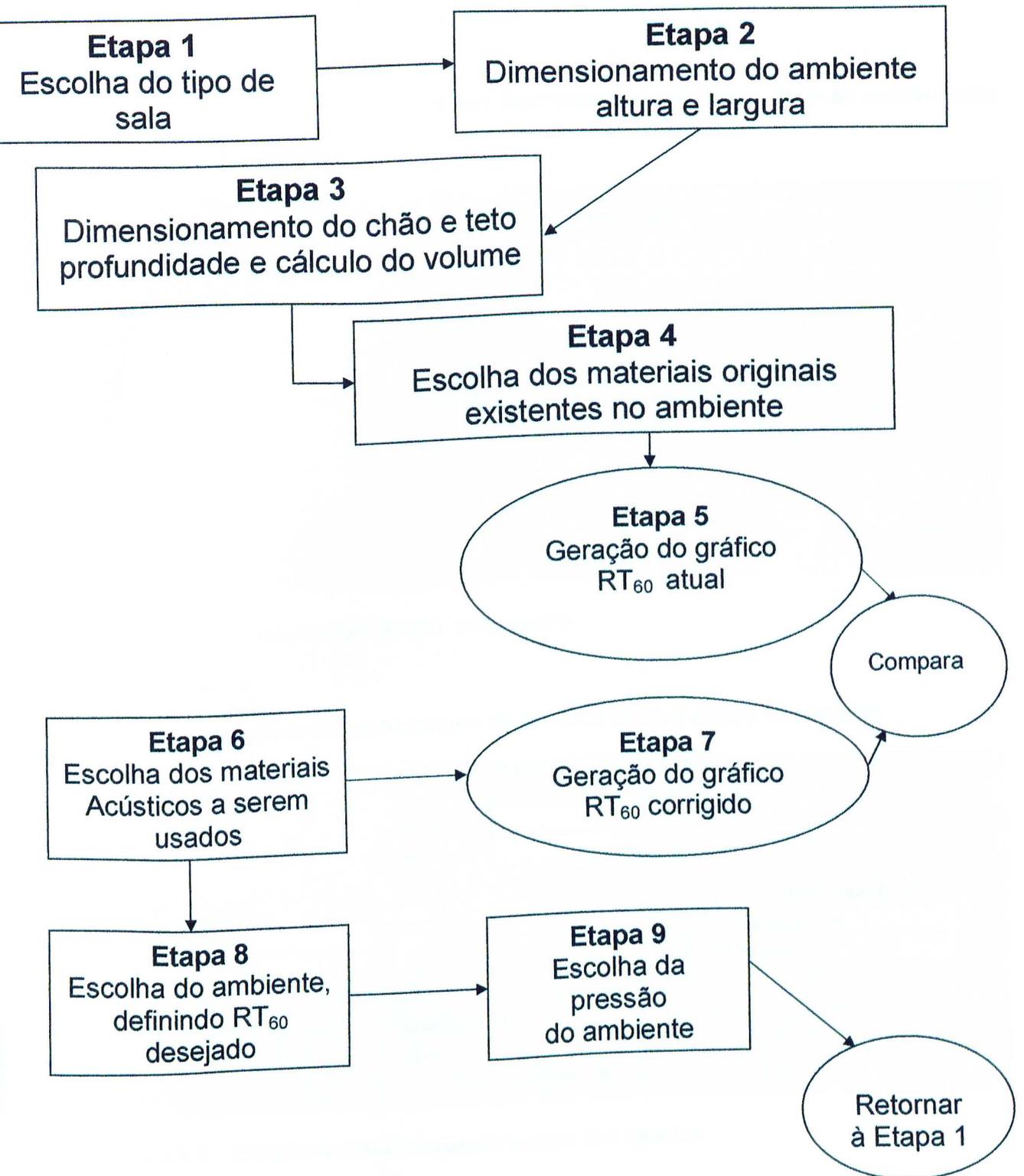
3.1 – Arquitetura do sistema:

A partir do estudo realizado, foi possível propor a arquitetura de um sistema que permitisse maior interação com o usuário, na análise do tempo de reverberação antes e depois do uso de materiais absorventes, em três diferentes modelagens de salas (quadrada, retangular e em “L”), usando-se o Delphi como ferramenta de desenvolvimento do software.

Esta arquitetura foi usada para aproveitar os recursos oferecidos pelo tratamento acústico, e mais especificamente a linguagem Delphi, com uma boa interação gráfica, onde é possível visualizar e comparar os tempos de reverberação antes e depois do tratamento acústico podendo-se fazer alterações e comparações para cada tipo de material, comparando-se os resultados com o tempo de reverberação melhor indicado para o ambiente.

A arquitetura proposta é formada pelos seguintes etapas:

- Etapa 1: Tela principal.
- Etapa 2: Dimensionamento do ambiente (Altura e Largura).
- Etapa 3: Dimensionamento do teto e chão, com a profundidade do ambiente.
- Etapa 4: Escolha dos materiais originais do ambiente.
- Etapa 5: Cálculo do RT_{60} atual e seu gráfico.
- Etapa 6: Escolha dos materiais acústicos a serem utilizados.
- Etapa 7: Cálculo do RT_{60} corrigido e seu gráfico.
- Etapa 8: Escolha do ambiente, para a visualização do RT_{60} desejado.
- Etapa 9: Escolha da pressão sonora do ambiente, e cálculo da potencia máxima recomendada e o botão retornar.



3.2 – Descrição das Etapas:

3.2.1 - Etapa 1:

Tela principal, o usuário escolhe qual tipo de ambiente vai ser tratado. Pode-se escolher salas quadradas, retangulares e em "L".

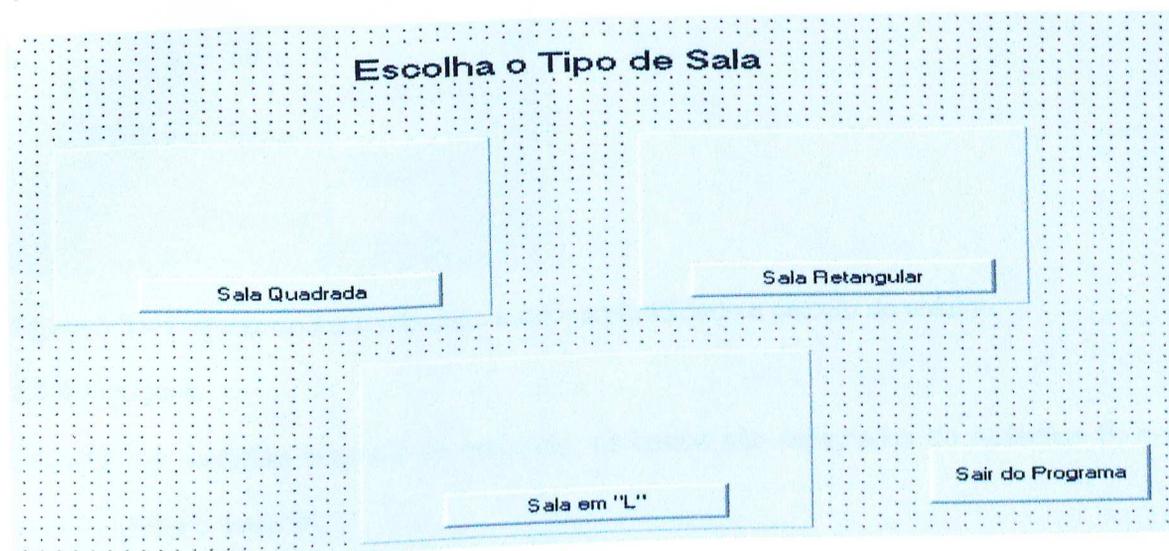


Figura 3.1 – Escolha do tipo de sala pelo usuário.

3.2.2 - Etapa 2:

Dimensionamento do ambiente, entrada de dados da altura e largura do ambiente.



Figura 3.2 – Entrada de dados da largura e altura das paredes.

3.2.3 - Etapa 3:

Dimensionamento do chão e teto além da largura, o dado da profundidade também é colocado para o cálculo do volume.

A screenshot of a software interface with a dotted background. It contains four input fields arranged vertically. The first field is labeled 'Teto / Chão', the second 'Largura', the third 'Profundidade', and the fourth 'Volume'. Each label is to the left of a rectangular input box.

Figura 3.3 – Entrada de dados do chão e teto, profundidade e cálculo do volume.

3.2.4 - Etapa 4:

Escolha dos materiais originais do ambiente, os dados são capturados do Apêndice B, e o usuário define o material.

A screenshot of a software interface with a dotted background. It features a title 'Tipos de revestimentos Originais' at the top. Below the title are six rows, each with a label on the left and a dropdown menu on the right. The labels are 'PAREDE 1', 'PAREDE 2', 'PAREDE 3', 'PAREDE 4', 'TETO', and 'CHÃO'. Each dropdown menu has a small downward-pointing arrow on its right side.

Figura 3.4 – Escolha dos materiais originais no acabamento da sala.

3.2.5 - Etapa 5:

Cálculo do RT_{60} atual e seu gráfico, mostra-se o tempo de reverberação atual, para cada frequência (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000Hz).

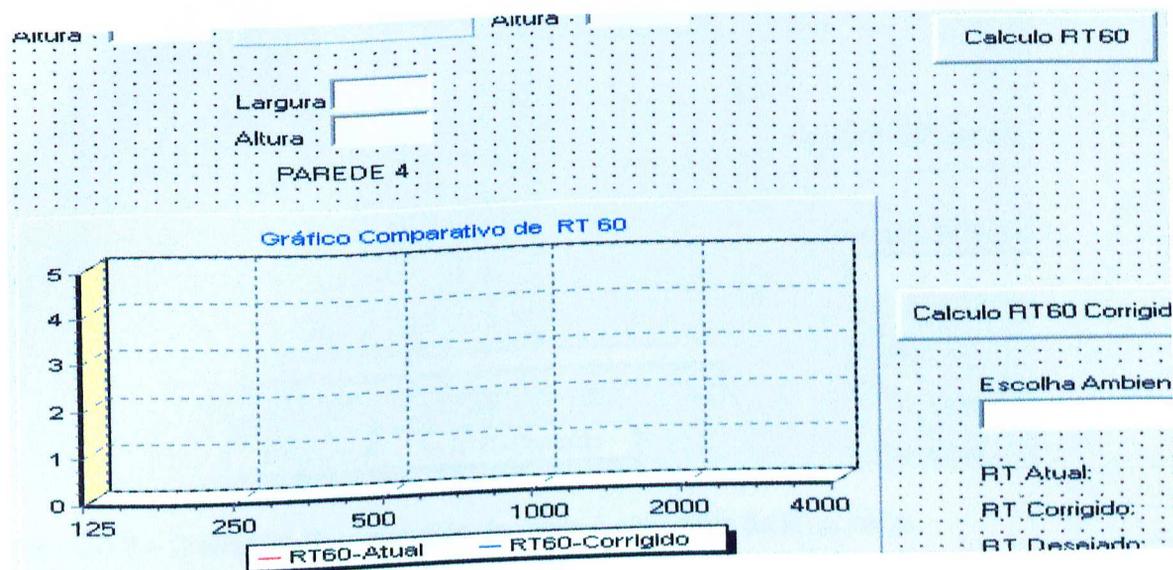


Figura 3.5 – Gráfico do RT_{60} atual.

3.2.6 - Etapa 6:

Escolha dos materiais acústicos a serem usados, os dados são capturados do Apêndice B, sendo que o usuário escolhe qual tipo vai utilizar em cada superfície.

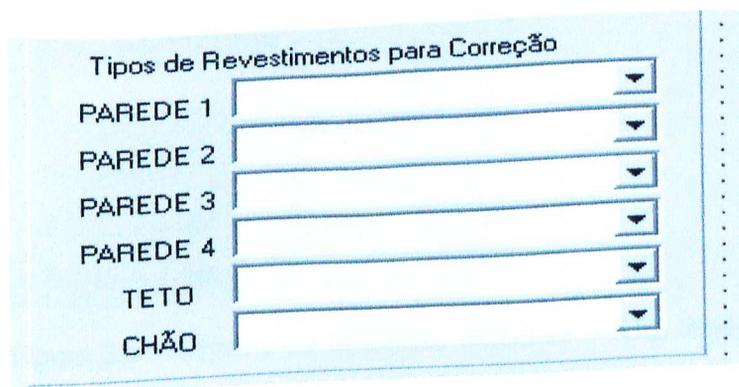


Figura 3.6 – Escolha dos materiais acústicos a serem usados no ambiente.

3.2.7. - Etapa 7:

Cálculo da RT_{60} corrigida e seu gráfico, junto com o gráfico da RT_{60} anterior para comparação.

Também está dividido por frequências (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz).

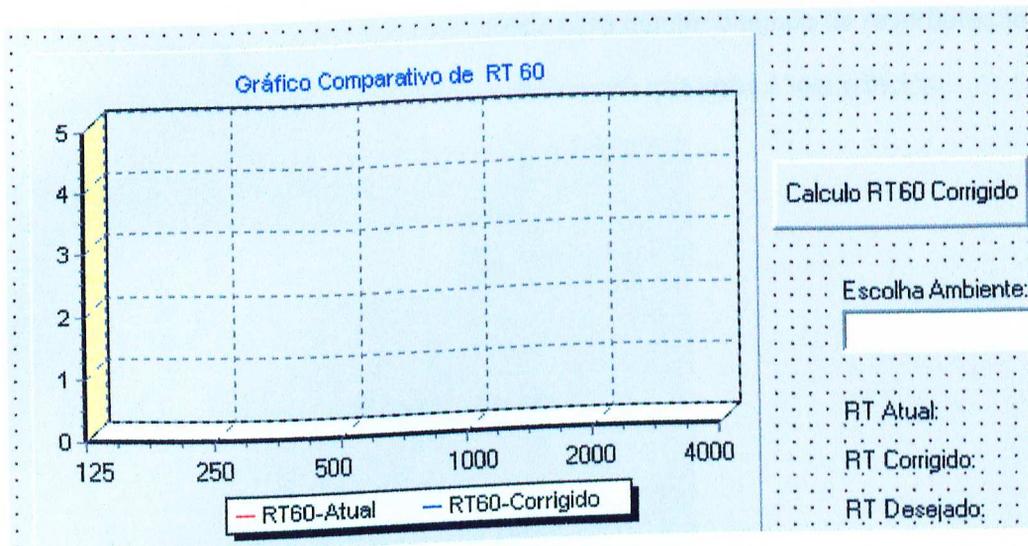


Figura 3.7 – Gráfico da RT_{60} corrigida, formado junto com o da RT_{60} inicial.

3.2.8. - Etapa 8:

Escolha do ambiente, os dados são capturados do Apêndice C, onde o usuário define qual tipo de ambiente vai ser tratado, com isto define-se o RT_{60} desejado, comparado-se os RT_{60} atual e corrigido. Com esta informação, o usuário pode ir alterando o material acústico de tratamento, e comparando o tempo de reverberação corrigido com o desejado.

Escolha Ambiente:

RT Atual:

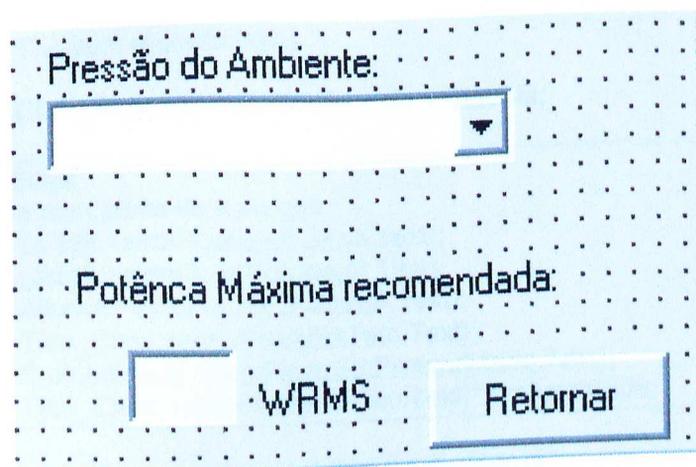
RT Corrigido:

RT Desejado:

Figura 3.8 – Escolha do ambiente, define-se o RT_{60} desejado, comparando com o atual e o corrigido.

3.2.9. - Etapa 9:

Escolha da pressão sonora do ambiente, os dados são capturados do Apêndice D, onde o usuário escolhe qual ambiente será tratado, sendo calculada a potência máxima recomendada. Esta potência é recomendada para manter o tempo de reverberação dentro dos limites calculados. Junto está o botão de "Retornar", que volta à tela principal.



The image shows a software interface with a light blue background and a grid of small dots. At the top, the text "Pressão do Ambiente:" is displayed. Below it is a white rectangular dropdown menu with a small downward-pointing arrow on the right side. Further down, the text "Potência Máxima recomendada:" is shown. Below this text is a white rectangular box containing the text "WRMS". To the right of this box is a white rectangular button with the text "Retornar" inside it.

Figura 3.9 – Escolha do ambiente e cálculo da potência máxima recomendada.

CAPÍTULO 4 – DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO:

Na implementação deste software, foram utilizadas as equações apresentadas nesta dissertação.

4.1 – Implementação das etapas 2 (entrada de dados largura, altura), 3 (entrada de dados do chão, teto e profundidade), 4 (escolha dos revestimentos originais) e 5 (cálculo e gráfico da RT_{60} sem revestimento).

4.1.1 - Fazendo a conversão de variáveis:

```
Begin
// conversão de variaveis
LadoA:=strtoFloat(EdtLadoA.Text);
LadoB:=strtoFloat(EdtLadoB.Text);
AlturaA:=strtoFloat(EdtAlturaA.Text);
Teto_Chao:=strtoFloat(EdtTeto.Text);
Profundidade:=strtoFloat(EdtProfundidade.Text);
Teto_Chao:=strtoFloat(EdtTeto.Text)* profundidade;
```

4.1.2 - Calculando o volume do ambiente:

```
// Calculo do volume
Volume:= Profundidade*LadoA*LadoB;
EdtVolume.Text:=FloatToStr(Volume);
```

4.1.3 - Calculo da RT_{60} atual.

```
// Calculo Geral do RT60 Atual
AreaP1:=StrToFloat(EdtLadoA.text)* StrToFloat(EdtAlturaA.Text);
AreaP2:=StrToFloat(EdtLadoB.text)* StrToFloat(EdtAlturaB.Text);
SomaA125:=(AreaP1*parede1A125)+(AreaP2*parede2A125)+(AreaP1*parede3A125)+(areaP
2*parede4A125)+(Teto_Chao*TetoA125)+(Teto_Chao*ChaoA125);
SomaA250:=(AreaP1*parede1A250)+(AreaP2*parede2A250)+(AreaP1*parede3A250)+(areaP
2*parede4A250)+(Teto_Chao*TetoA250)+(Teto_Chao*ChaoA250);
SomaA500:=(AreaP1*parede1A500)+(AreaP2*parede2A500)+(AreaP1*parede3A500)+(areaP
2*parede4A500)+(Teto_Chao*TetoA500)+(Teto_Chao*ChaoA500);
SomaA1000:=(AreaP1*parede1A1000)+(AreaP2*parede2A1000)+(AreaP1*parede3A1000)+(ar
eaP2*parede4A1000)+(Teto_Chao*TetoA1000)+(Teto_Chao*ChaoA1000);
SomaA2000:=(AreaP1*parede1A2000)+(AreaP2*parede2A2000)+(AreaP1*parede3A2000)+(ar
eaP2*parede4A2000)+(Teto_Chao*TetoA2000)+(Teto_Chao*ChaoA2000);
SomaA4000:=(AreaP1*parede1A4000)+(AreaP2*parede2A4000)+(AreaP1*parede3A4000)+
(areaP2*parede4A4000)+(Teto_Chao*TetoA4000)+(Teto_Chao*ChaoA4000);

RT60125A:=(0.161*Volume)/SomaA125;
RT60250A:=(0.161*Volume)/SomaA250;
RT60500A:=(0.161*Volume)/SomaA500;
RT601000A:=(0.161*Volume)/SomaA1000;
RT602000A:=(0.161*Volume)/SomaA2000;
```

```
RT604000A:=(0.161*Volume)/SomaA4000;  
RT60TotalAtual:=(RT60125A+RT60250A+RT60500A+RT601000A+RT602000A+RT604000A)/  
6;  
EdtRTAtual.Text:=FloatToStr(RT60TotalAtual);end;
```

4.1.4 – Coletando os dados para formar o gráfico da RT_{60} atual:

```
/ Series do Grafico
```

```
with Series1 do begin  
Add(RT60125A);  
Add(RT60250A);  
Add(RT60500A);  
Add(RT601000A);  
Add(RT602000A);  
Add(RT604000A);  
end;
```

4.1.5 – Implementação da etapa 6 (escolha dos materiais acústicos para tratamento), e cálculo do volume.

```
// conversão de variáveis  
LadoA:=strtoFloat(EdtLadoA.Text);  
AlturaA:=strtoFloat(EdtAlturaA.Text);  
Teto:=strtoFloat(EdtTeto.Text);  
Profundidade:=strtoFloat(EdtProfundidade.Text);  
// Calculo do volume  
Volume:= Profundidade*LadoA*AlturaA;;  
EdtVolume.Text:=FloatToStr(Volume);
```

4.1.6 – Implementação da etapa 7 (cálculo da RT_{60} corrigida):

```
// Calculo Geral do RT60 Corrigido  
Area:=StrToFloat(EdtLadoA.text)* StrToFloat(EdtAlturaA.Text);
```

SomaC125:=(Area*parede1C125)+(Area*parede2C125)+(Area*parede3C125)+(area*parede4C125)+ (Area*TetoC125)+(Area*ChaoC125);

SomaC250:=(Area*parede1C250)+(Area*parede2C250)+(Area*parede3C250)+(area*parede4C250)+ (Area*TetoC250)+(Area*ChaoC250);

SomaC500:=(Area*parede1C500)+(Area*parede2C500)+(Area*parede3C500)+(area*parede4C500)+ (Area*TetoC500)+(Area*ChaoC500);

SomaC1000:=(Area*parede1C1000)+(Area*parede2C1000)+(Area*parede3C1000)+(area*parede4C1000)+ (Area*TetoC1000)+(Area*ChaoC1000);

SomaC2000:=(Area*parede1C2000)+(Area*parede2C2000)+(Area*parede3C2000)+(area*parede4C2000)+ (Area*TetoC2000)+(Area*ChaoC2000);

SomaC4000:=(Area*parede1C4000)+(Area*parede2C4000)+(Area*parede3C4000)+(area*parede4C4000)+ (Area*TetoC4000)+(Area*ChaoC4000);

RT60125C:=(0.161*Volume)/SomaC125;

RT60250C:=(0.161*Volume)/SomaC250;

RT60500C:=(0.161*Volume)/SomaC500;

RT601000C:=(0.161*Volume)/SomaC1000;

RT602000C:=(0.161*Volume)/SomaC2000;

RT604000C:=(0.161*Volume)/SomaC4000;

RT60TotalCor:=(RT60125C+RT60250C+RT60500C+RT601000C+RT602000C+RT604000C)/6;

EdtRTCorrigido.Text:=FloatToStr(RT60TotalCor);

4.1.7 – Implementação da etapa 7 (captura dos dados para a geração do gráfico da RT₆₀ corrigida):

```
with Series2 do
begin
Series2.Clear;
Add(RT60125C);
Add(RT60250C);
Add(RT60500C);
Add(RT601000C);
Add(RT602000C);
Add(RT604000C);
end;
```

4.1.8 – Implementação da etapa 9 (escolha do ambiente com a pressão sonora, para cálculo da potencia máxima recomendada):

```
// Calculo do WRMS
if CmBxPressao.ItemIndex = 0 then
  EdtWrms.Text:=FloatToStr((volume*16)/(300*RT60TotalCor));
if CmBxPressao.ItemIndex = 1 then
  EdtWrms.Text:=FloatToStr((volume*64)/(300*RT60TotalCor));
if CmBxPressao.ItemIndex = 2 then
  EdtWrms.Text:=FloatToStr((volume*144)/(300*RT60TotalCor));
```

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO E SEUS RESULTADOS:

5.1 – DETALHES DA SALA ESCOLHIDA:

Para a condução deste estudo de caso, que relaciona e analisa os cálculos teóricos do RT_{60} , com a medição prática da pressão sonora (SPL), foi escolhida uma sala, usada originalmente para música, com as seguintes características:

2,80m de comprimento.

2,65m de largura.

2,80m de altura.

O volume total da sala é de $20,776\text{m}^3$, sendo os equipamentos disponíveis para a medição:

1 CD Player, 1 amplificador de 25W RMS por canal (resposta em frequência de 15 a 22000Hz (+ ou - 3 dB), 2 caixas acústicas, tipo bass reflex (resposta em frequência de 28 a 25000Hz (+ ou - 1dB), 1 caixa acústica para sub woofer com resposta em frequência de 16 a 350Hz (+ ou - 1dB), 1 medidor de RTA33 Coustic, calibrado com o seu gerador interno de ruído rosa, para toda a faixa em 0dB, um calibrated condenser microphone, que acompanha o produto, calibrado para a faixa de 35 a 125dB (+ ou - 2dB) de SPL, 1 CD com ruído rosa, ajustando-se a máxima pressão sonora em torno de 106 dB.

As medições foram feitas na sala sem tratamento acústico nenhum, e depois de tratada (uso da placa Sonex 27/35), com o microfone a 1m de altura e a 1m da fonte sonora e paredes, eqüitativamente. (ABNT NBR 10152).

Nas figuras abaixo, temos a seguinte seqüência:

Figura 5.1.1 – Parede esquerda e parte da parede frontal, sem tratamento acústico.

Figura 5.1.2 – Parede do fundo e parte da parede direita, sem tratamento acústico.

Figura 5.1.3 – Parede frontal e parte da parede direita, sem tratamento acústico.

Figura 5.1.4 – Parede esquerda e parede do fundo, sem tratamento acústico.

Figura 5.1.5 – Parede frontal e parte da parede esquerda, sem acabamento acústico.

Figura 5.1.6 – Parede do fundo e parte da parede esquerda, sem tratamento acústico.

Figura 5.1.7 – Parede do fundo e parte da parede esquerda, já com tratamento acústico.

Figura 5.1.8 – Parede e parte das paredes esquerda e direita, já com tratamento e detalhe dos equipamentos utilizados.

Figura 5.1.9 – Parede frontal e parede direita, com tratamento e detalhe dos equipamentos utilizados.



Figura 5.1.1 - Parede esquerda e parte da parede frontal, sem acabamento.

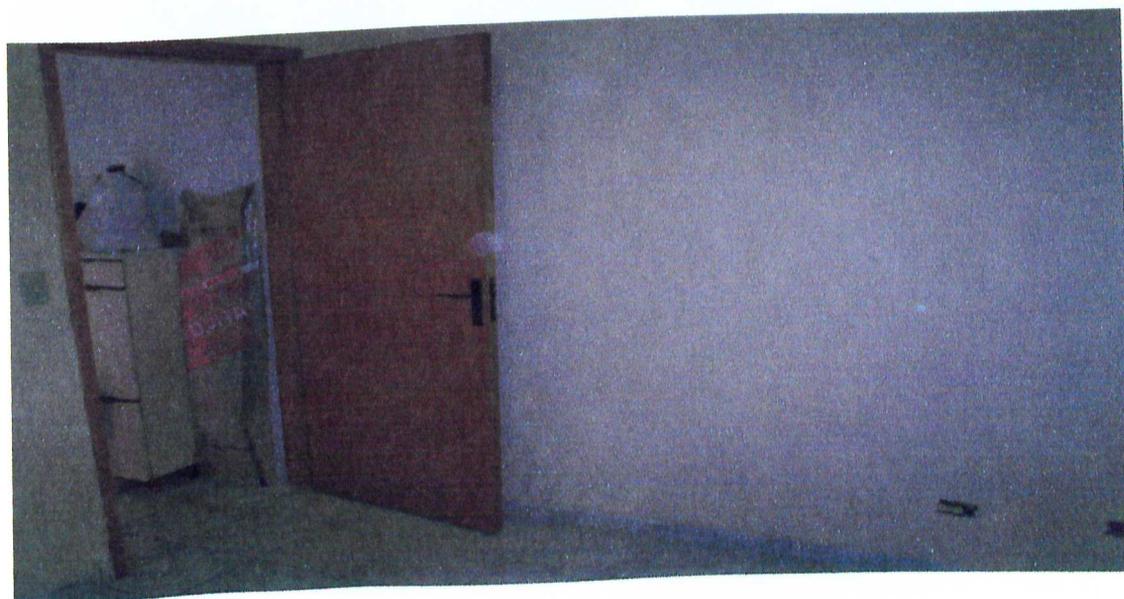


Figura 5.1.2 - Parede do fundo e parte da parede direita, sem tratamento.

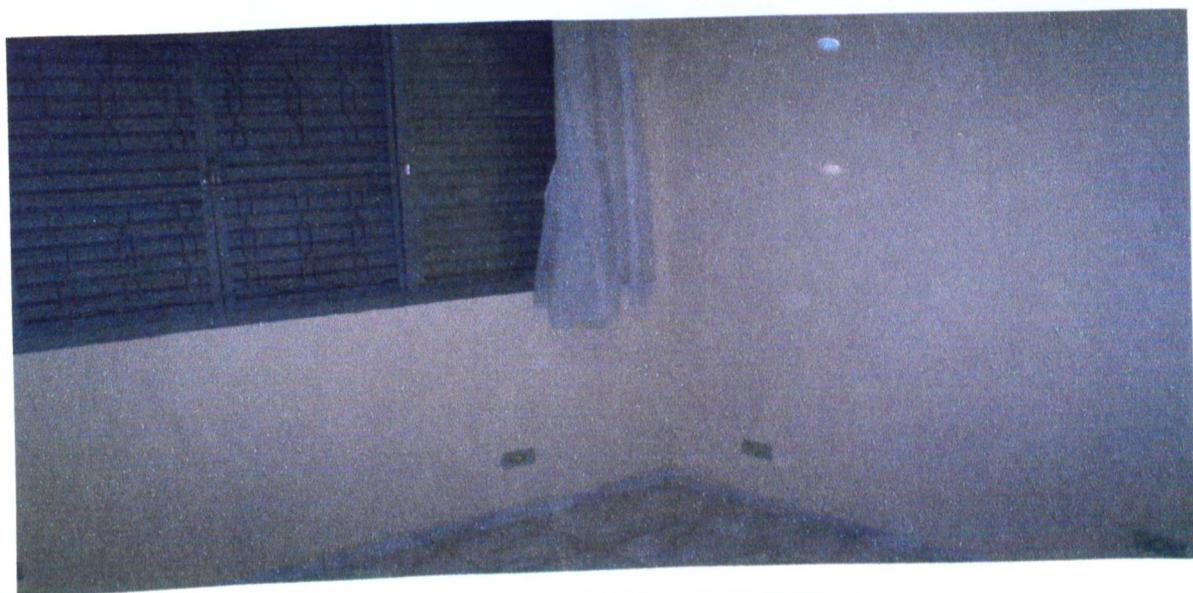


Figura 5.1.3 - Parede frontal e parte da parede direita, sem tratamento.

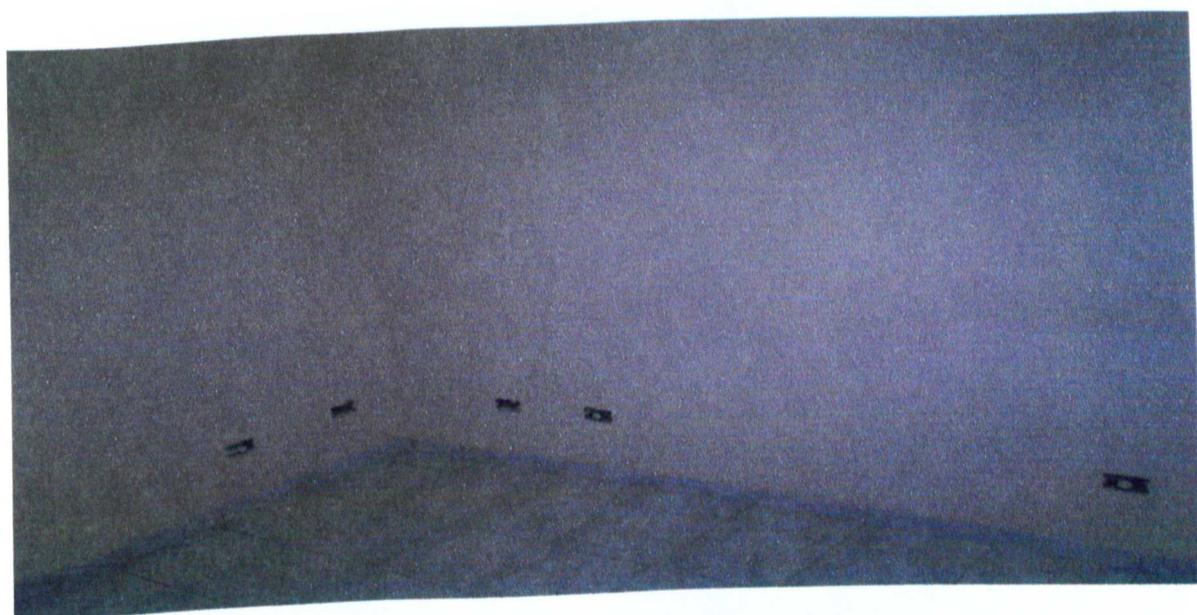


Figura 5.1.4 - Parede esquerda e parede do fundo, sem tratamento.

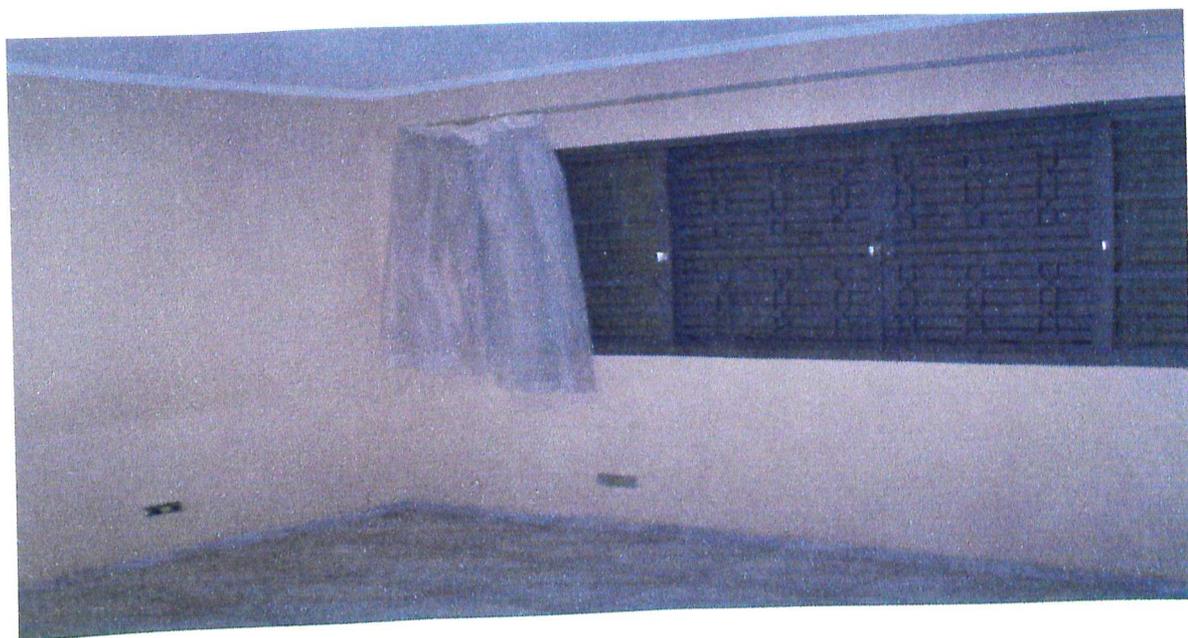


Figura 5.1.5 - Parede esquerda e parede de frente, sem tratamento.

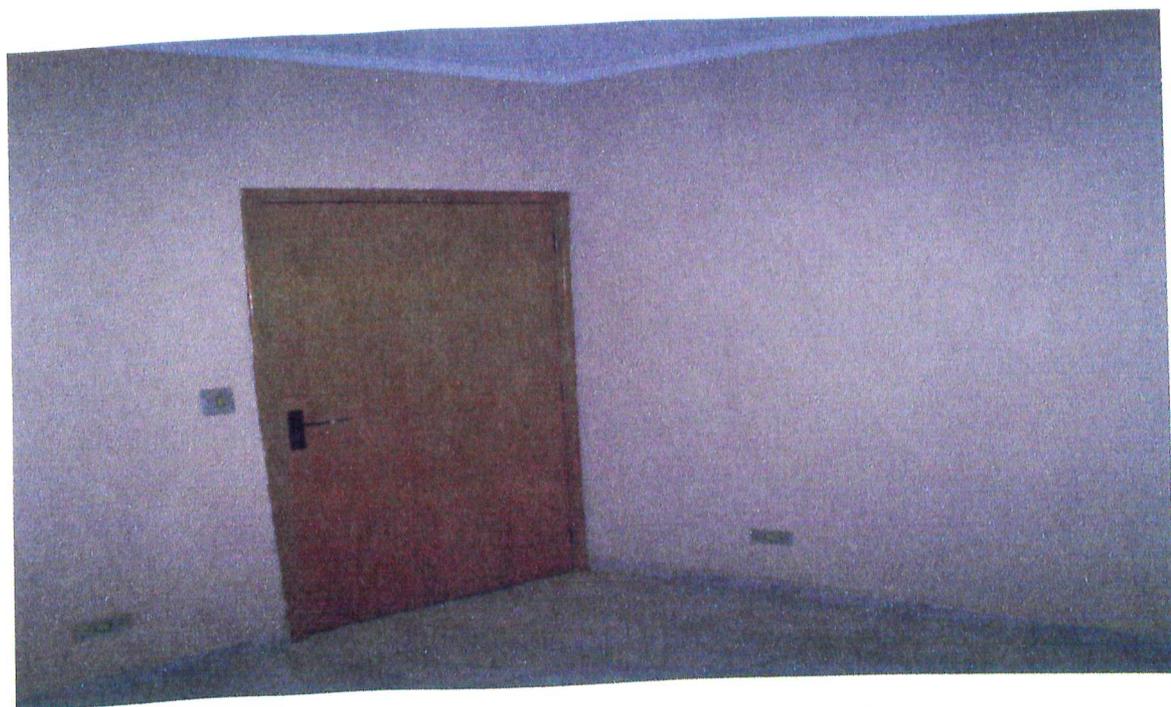


Figura 5.1.6 - Parede de fundo e parte da parede esquerda, sem tratamento.

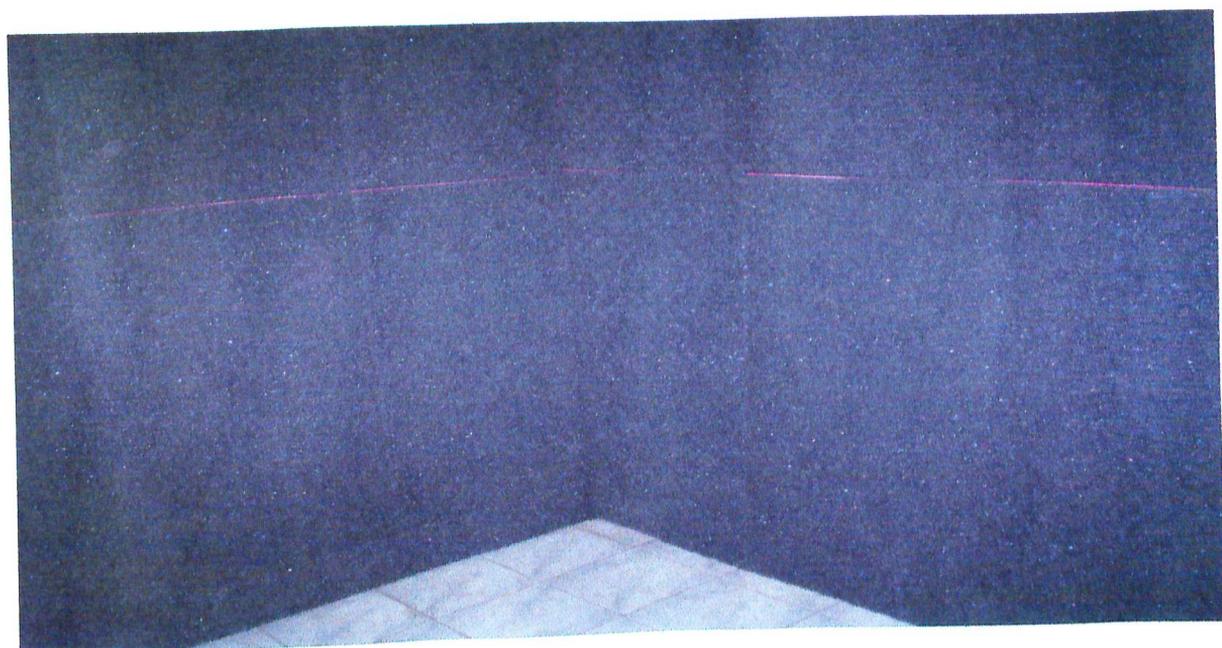


Figura 5.1.7 - Parede de fundo e parte da parede esquerda, já com tratamento acústico.



Figura 5.1.8 - Parede de frente, e parte das paredes esquerda e direita, já com tratamento acústico e detalhes dos equipamentos utilizados para a medição.



Figura 5.1.9 - Parede frontal e parede direita, com tratamento acústico e detalhe dos equipamentos utilizados para medição.

5.2 – RESULTADOS TEÓRICOS:

Calcular o RT_{60} , usando os três programas disponíveis, que são os seguintes:

- Illbruck-Sonex® – programa desenvolvido dedicadamente a este fabricante.
- Áudio List – portal da Internet sobre dúvidas de áudio.
- Desenvolvido para esta dissertação.

Foram os seguintes resultados:

5.2.1 – illbruck-Sonex®:

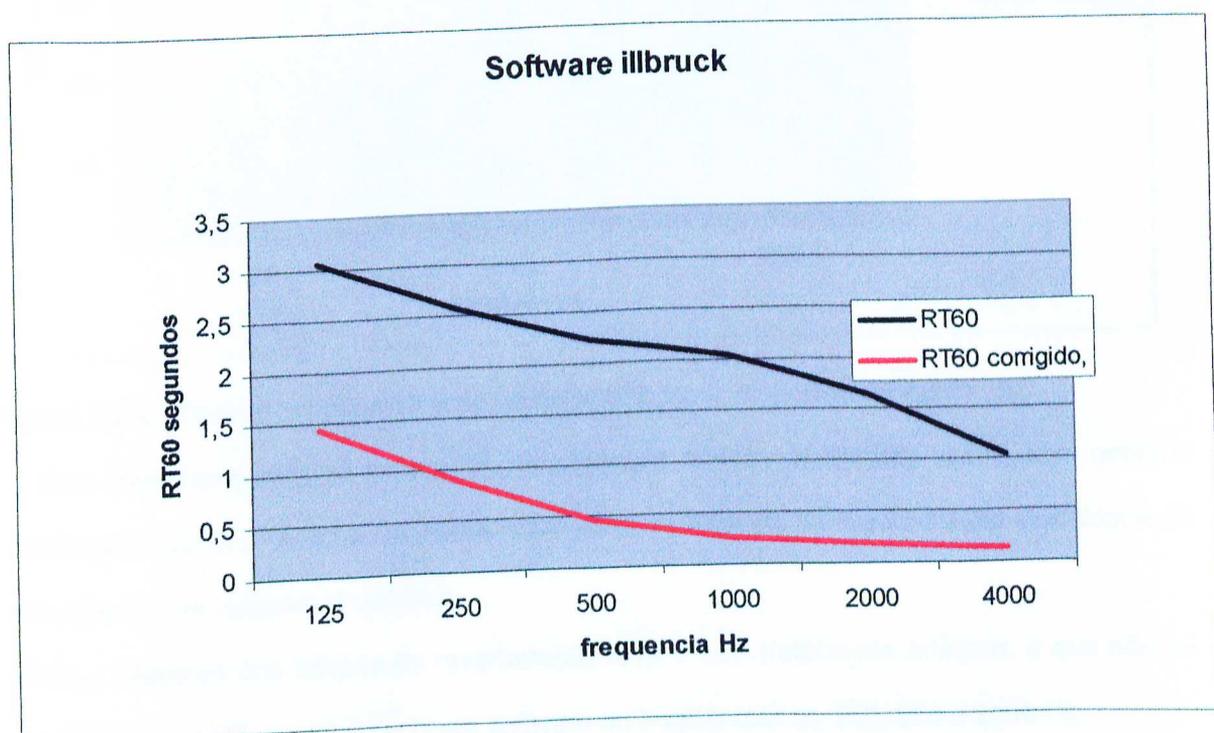


Figura 5.2.1 - Tempos de reverberação (RT_{60}) calculados a partir do software da illbruck-Sonex®.

A linha preta representa os tempos de reverberação da sala usada, sem tratamento acústico nenhum. A linha vermelha representa os tempos de reverberação da sala usada com tratamento acústico.

Notar a diferença nos tempos de reverberação com e sem tratamento acústico.

No cálculo do RT_{60} total do ambiente, este caiu de 2,20 segundos em média sem o tratamento acústico das superfícies, para 0,46 segundos, com o tratamento acústico das superfícies.

5.2.2 – Áudio List:

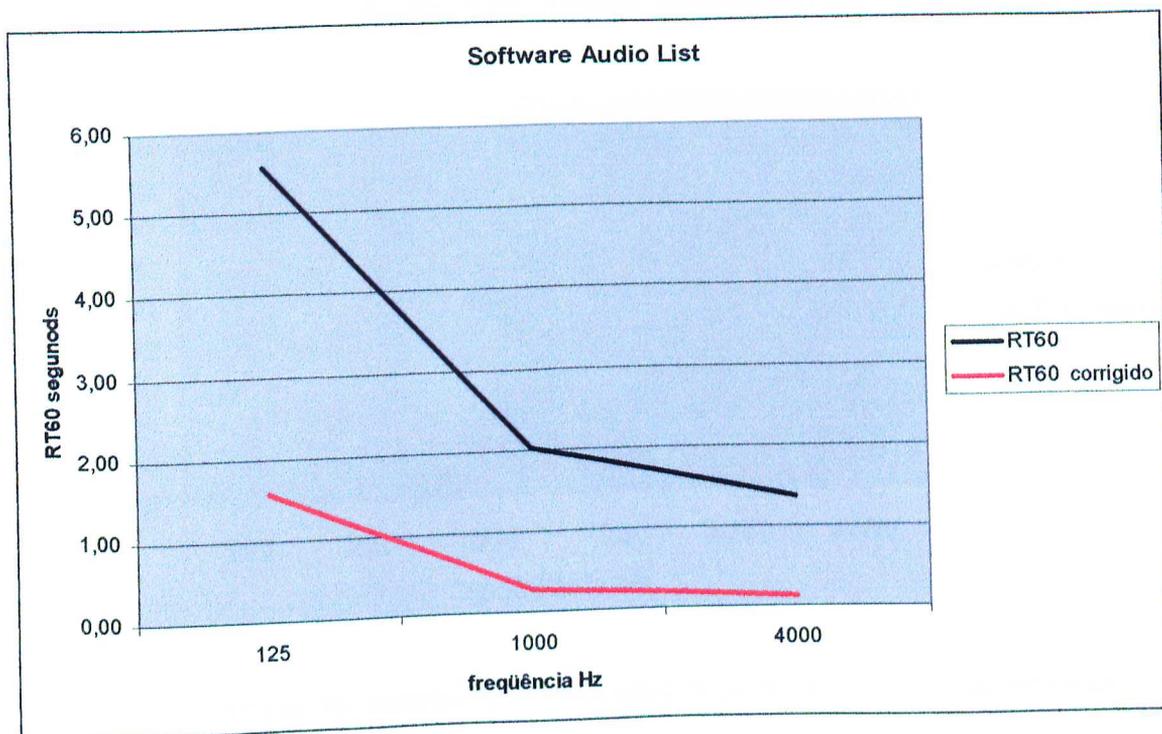


Figura 5.2.2 - Tempos de reverberação calculados a partir do gráfico da Áudio List.

A linha preta representa os tempos de reverberação calculados da sala usada, sem nenhum tratamento acústico. A linha vermelha representa os tempos de reverberação calculados da sala usada com tratamento acústico.

Notar a diferença dos tempos de reverberação com e sem tratamento acústico, e que não há previsão para o cálculo do RT_{60} neste software de frequências de 250, 500 e 2000 Hz.

O cálculo do RT_{60} total do ambiente, este caiu de 2,98 segundos em média, para ambiente sem tratamento acústico, para 0,66 segundos em média, no ambiente tratado.

5.2.3 – SOFTWARE DESENVOLVIDO NESTA DISSERTAÇÃO:

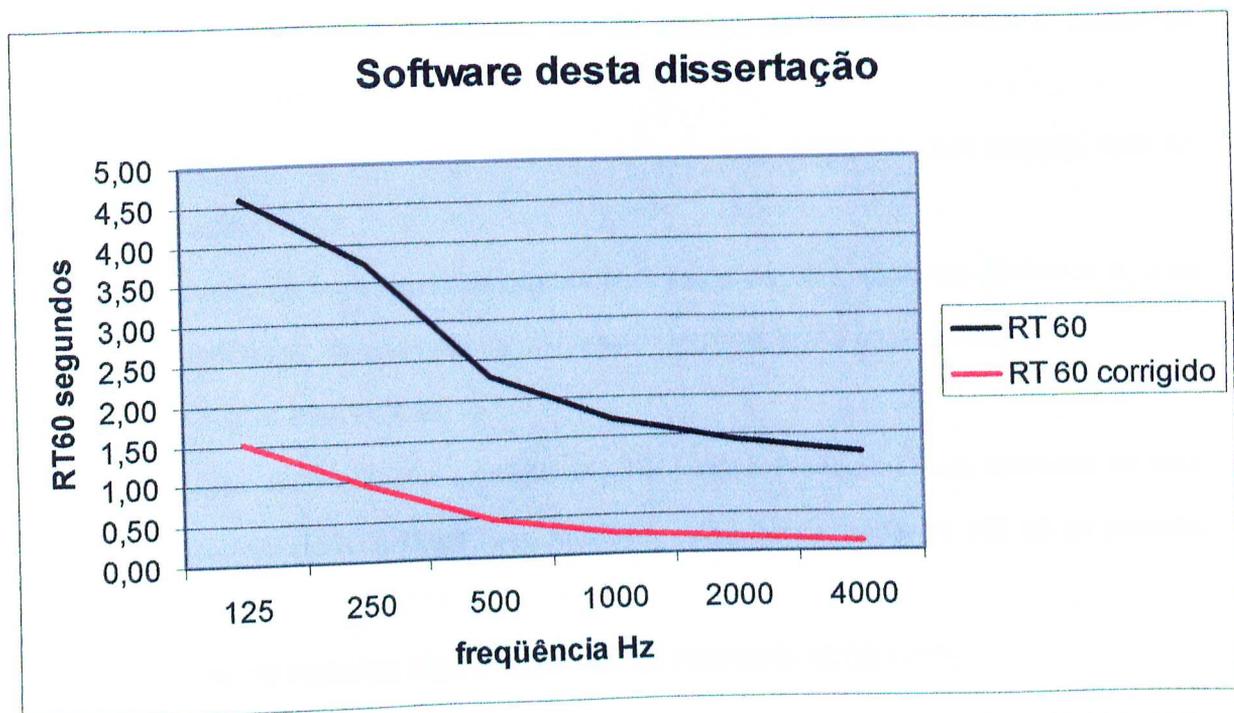


Figura 5.2.3 - Tempos de reverberação calculados a partir do software desenvolvido nesta dissertação.

A linha preta representa os tempos de reverberação calculados da sala usada, sem nenhum tratamento acústico. A linha vermelha representa os tempos de reverberação calculados da sala usada com tratamento acústico.

Notar a diferença dos tempos de reverberação com e sem tratamento acústico.

O cálculo do RT_{60} total do ambiente, este caiu de 2,50 segundos em média, para ambiente sem tratamento acústico, para 0,59 segundos em média, no ambiente tratado.

5.2.4 – OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

a) No caso do software da illbruck-Sonex®, não está previsto um outro acabamento de paredes, a não ser tipo "alvenaria". Por este motivo, existe uma diferença grande dos índices de absorção em relação ao software da Áudio List e o desenvolvido nesta dissertação, cuja opção usada é "massa fina sobre tijolo de vazado".

b) No caso do software da Áudio List, não há previsão para os índices de absorção para as frequências de 250Hz, 500Hz e 2000Hz, ficando assim o gráfico sem mostrar o cálculo do RT_{60} nestas frequências.

c) No software da Áudio List, os índices de absorção são colocados pelo usuário. Não há previsão de tabelas.

Os índices de absorção dos materiais usados para estes cálculos, estão no Apêndice B, e os tempos de reverberação ótimos para os ambientes fechados estão no Apêndice C.

5.3 – RESULTADOS PRÁTICOS:

Os gráficos abaixo apresentam a medição da SPL (Sound Pressure Level) realizada na sala em questão, usando em RTA (Real Time Analyzer), ruído rosa e média de 106 dB de pressão sonora transmitida.

5.3.1 – PAREDE DE FRENTE SEM E COM REVESTIMENTO ACÚSTICO:

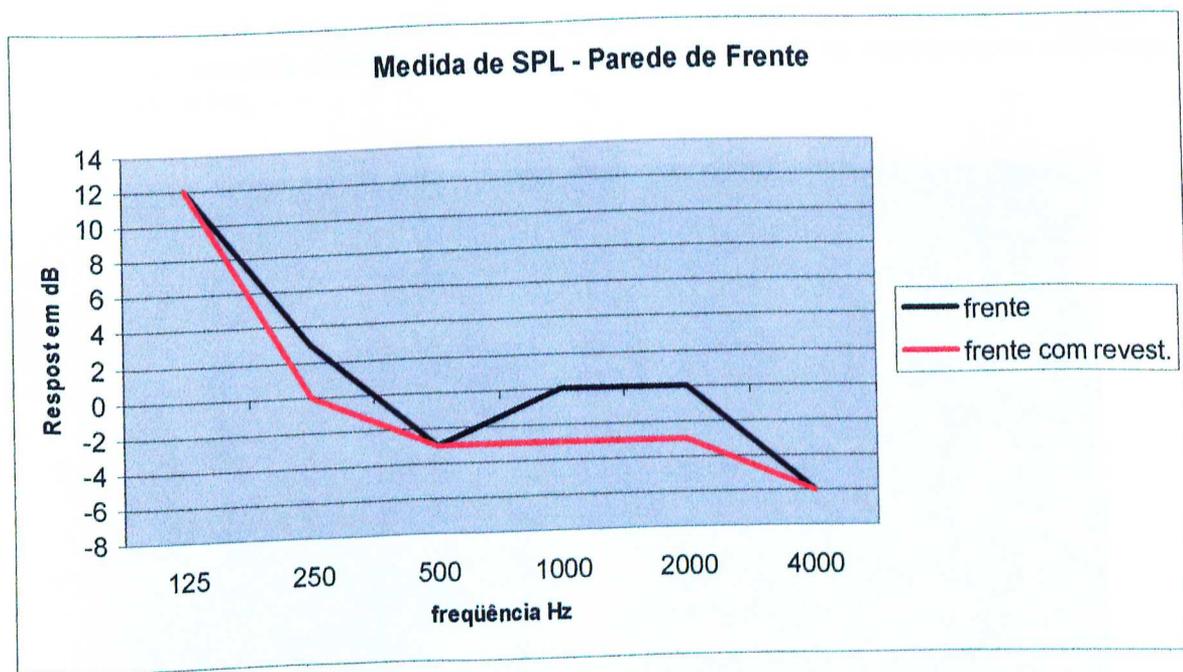


Figura 5.3.1 - Medição feita na parede de frente da resposta em frequência com o RTA.

A linha preta mostra a resposta em frequência da parede de frente sem revestimento acústico nenhum na sala. A linha vermelha mostra a mesma resposta de frequência com a sala já com o revestimento acústico.

As figuras abaixo, 5.3.2 e 5.3.3, apresentam a leitura feita pelo RTA na parede de frente, sem e com revestimento acústico, mostrando toda a faixa de áudio, de 20 Hz a 20000 Hz.

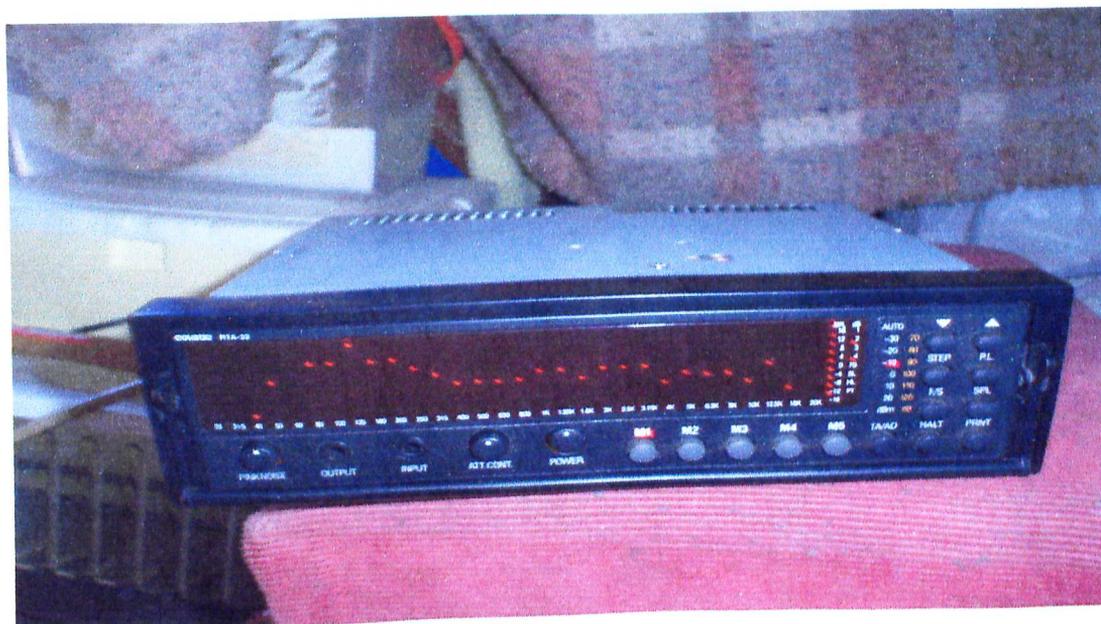


Figura 5.3.2 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede da frente sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.



Figura 5.3.3 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede de frente com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.

5.3.2 – PAREDE DO LADO ESQUERDO SEM E COM REVESTIMENTO ACÚSTICO:

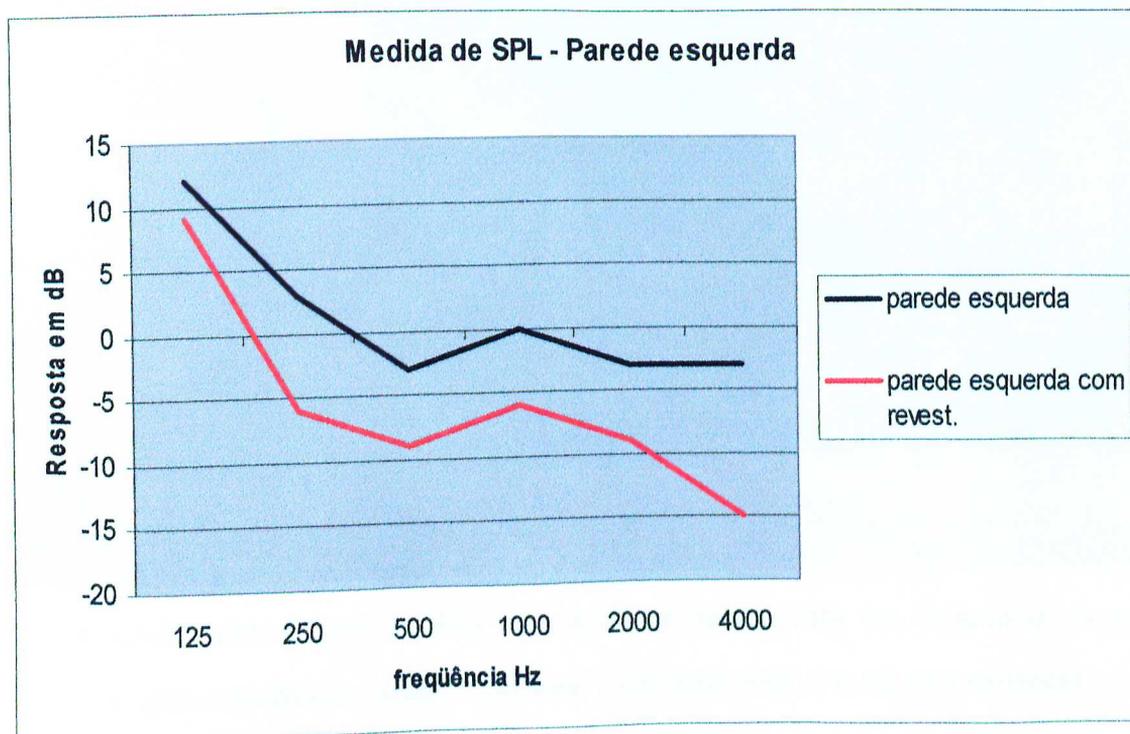


Figura 5.3.4 - Medição feita na parede esquerda da resposta em frequência com o RTA.

A linha preta mostra a resposta em frequência da parede esquerda sem revestimento acústico nenhum na sala. A linha vermelha mostra a mesma resposta de frequência com a sala já com o revestimento acústico.

As figuras abaixo, 5.3.5 e 5.3.6, apresentam a leitura feita pelo RTA na parede esquerda, sem e com revestimento acústico, mostrando toda a faixa de áudio, de 20 Hz a 20000 Hz.



Figura 5.3.5 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede esquerda, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.



Figura 5.3.6 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede esquerda, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.

5.3.3 – PAREDE DOS FUNDOS SEM E COM REVESTIMENTO ACÚSTICO:

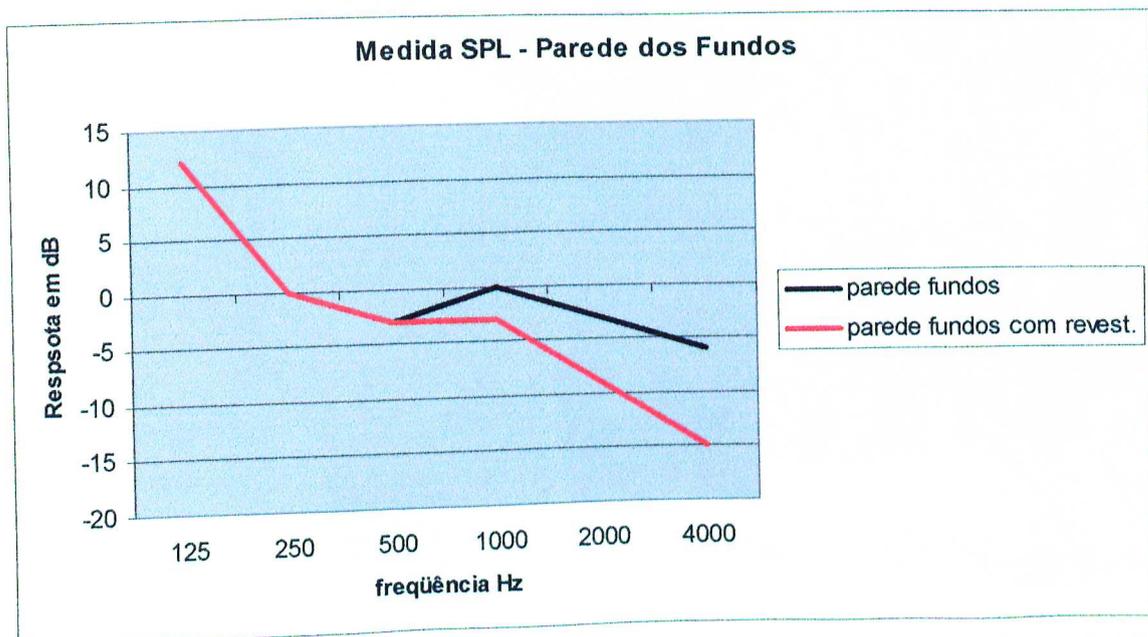


Figura 5.3.7 - Medição feita na parede do fundo da resposta em frequência com o RTA.

A linha preta mostra a resposta em frequência da parede do fundo sem nenhum revestimento acústico na sala. A linha vermelha mostra a mesma resposta em frequência com a sala já com revestimento acústico.

As figuras abaixo, 5.3.8 e 5.3.9, apresentam a leitura feita pelo RTA na parede do fundo, sem e com revestimento acústico, mostrando toda a faixa de áudio, de 20 Hz a 20000 Hz.



Figura 5.3.8 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do fundo, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.



Figura 5.3.9 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do fundo, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.

5.3.4. PAREDE DO LADO DIREITO SEM E COM REVESTIMENTO ACUSTICO:

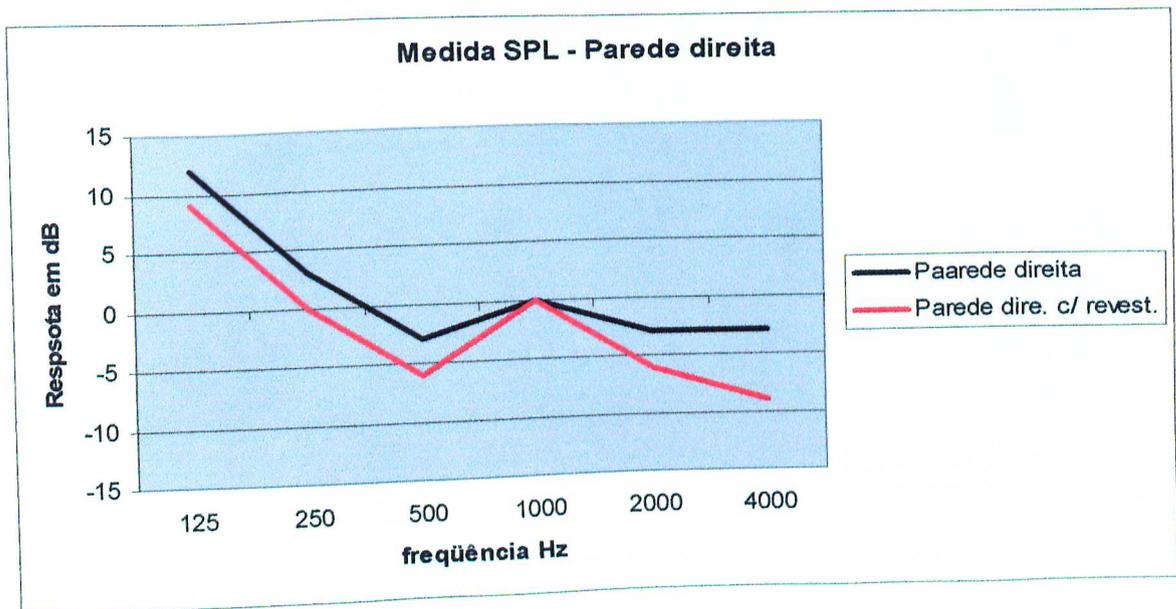


Figura 5.3.10 -Medição feita na parede do lado direito da resposta em freqüência com o RTA.

A linha preta mostra a resposta em freqüência da parede do lado direito sem nenhum revestimento acústico na sala. A linha vermelha mostra a mesma resposta em freqüência com a sala já com revestimento acústico.

As figuras abaixo, 5.3.11 e 5.3.12, apresentam a leitura feita pelo RTA na parede do lado direito, sem e com revestimento acústico, mostrando toda a faixa de áudio, de 20 Hz a 20000 Hz.



Figura 5.3.11 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do lado direito, sem revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.



Figura 5.3.12 - Vista frontal do RTA com a leitura da resposta em frequência da parede do lado direito, com revestimento acústico na sala, mostrando toda a faixa de frequência do ruído rosa – de 20Hz a 20000Hz.

Os gráficos com todas as medidas feitas antes e depois do tratamento acústico na sala, em toda a faixa de frequência estão no Apêndice E.

5.3.5 – GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE AS RT60 CALCULADAS E A MÉDIA DA PRESSÃO SONORA MEDIDA (SPL), COM E SEM REVESTIMENTO:

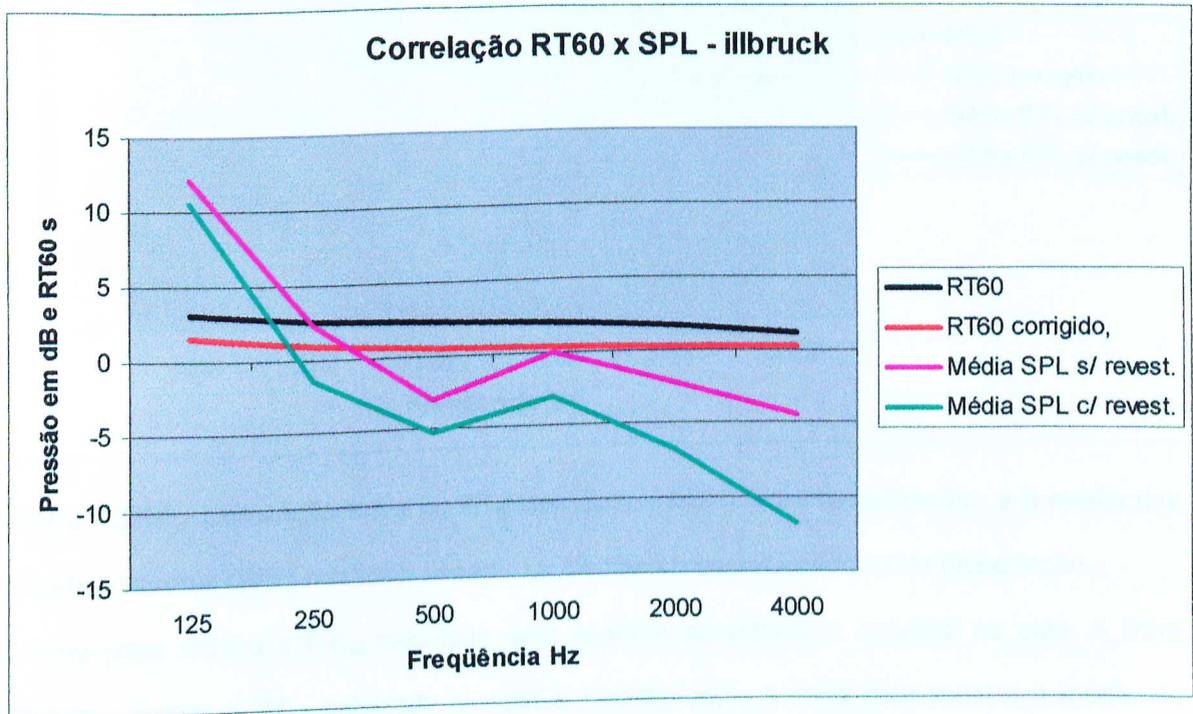


Figura 5.3.13 -: Correlação entre os RT_{60} calculados sem e com revestimento, e a média das pressões sonoras (SPL) medidas, usando-se o software da illbruck-Sonex®.

A linha preta mostra o RT_{60} calculado sem nenhum revestimento acústico na sala. A linha vermelha mostra o RT_{60} calculado já com o revestimento. A linha rosa mostra a média da pressão sonora medida (SPL) na sala sem revestimento acústico, e a linha verde mostra a média da pressão sonora (SPL) já com o revestimento. Nota-se que as linhas de RT_{60} , tanto sem revestimento acústico como com, são quase paralelas, e que na medida da pressão sonora (SPL) existe uma atenuação bastante acentuada, tanto em baixas frequências, como nas altas frequências.

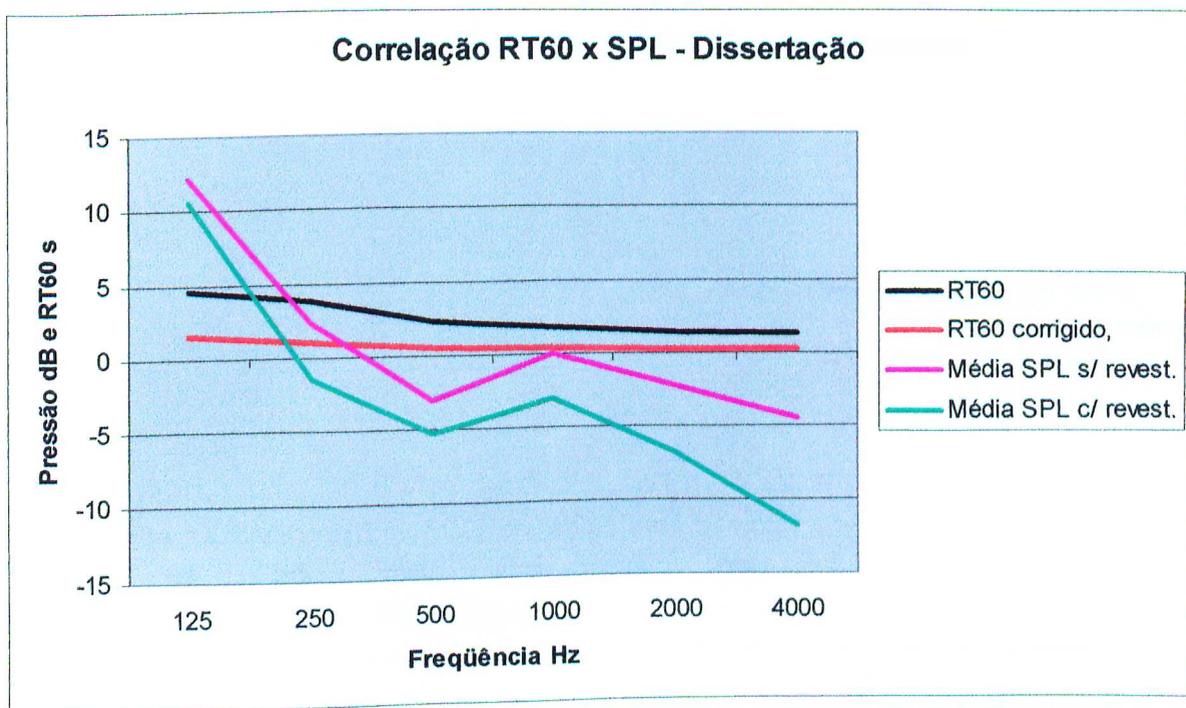


Figura 5.3.14 - Correlação entre os RT_{60} calculados sem e com revestimento, e a média das pressões sonoras (SPL) medidas, usando-se o software desenvolvido nesta dissertação.

A linha preta mostra o RT_{60} calculado sem nenhum revestimento acústico na sala. A linha vermelha mostra o RT_{60} calculado já com o revestimento. A linha rosa mostra a média da pressão sonora medida (SPL) na sala sem revestimento acústico, e a linha verde mostra a média da pressão sonora (SPL) já com o revestimento. Nota-se uma diferença nos cálculos do RT_{60} , evidenciando uma melhor performance do software desenvolvido nesta dissertação.

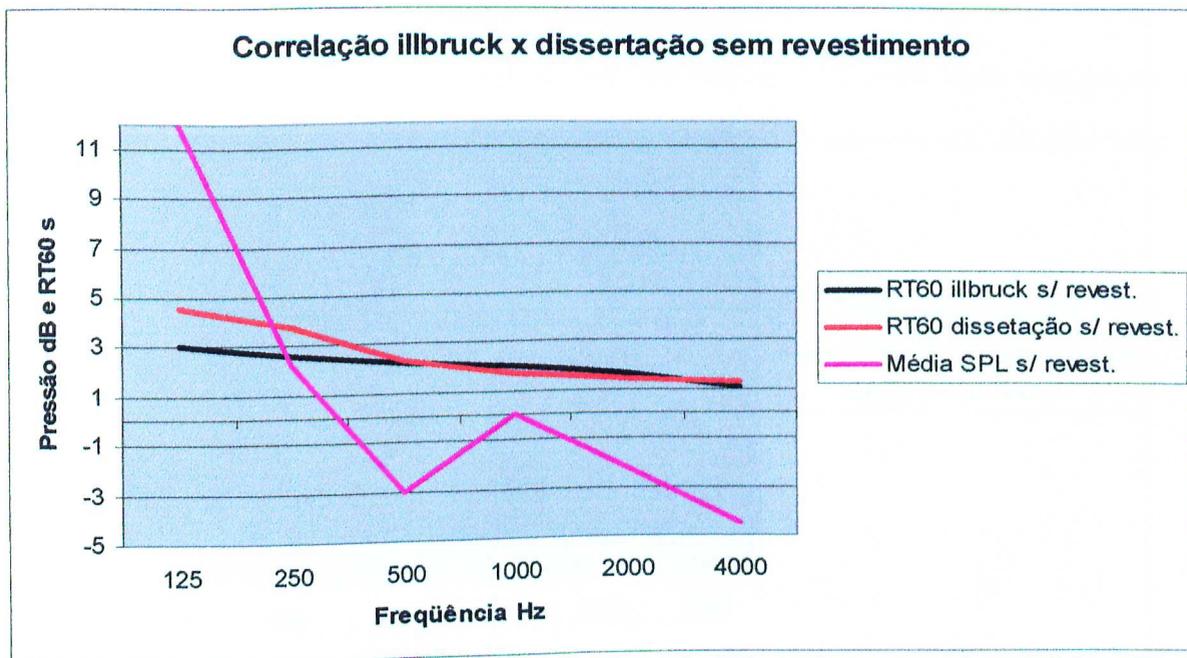


Figura 5.3.15 - Compara os cálculos do RT₆₀ usando o software da illbruck-Sonex® e o desenvolvido nesta dissertação, sem revestimento acústico na sala, com a média da pressão sonora (SPL) medida. A linha preta representa o RT₆₀ calculado com o software da illbruck-Sonex®, a linha vermelha o RT₆₀ calculado com o software desenvolvido nesta dissertação, e a linha lilás representa a média da pressão sonora (SPL), medida na sala.

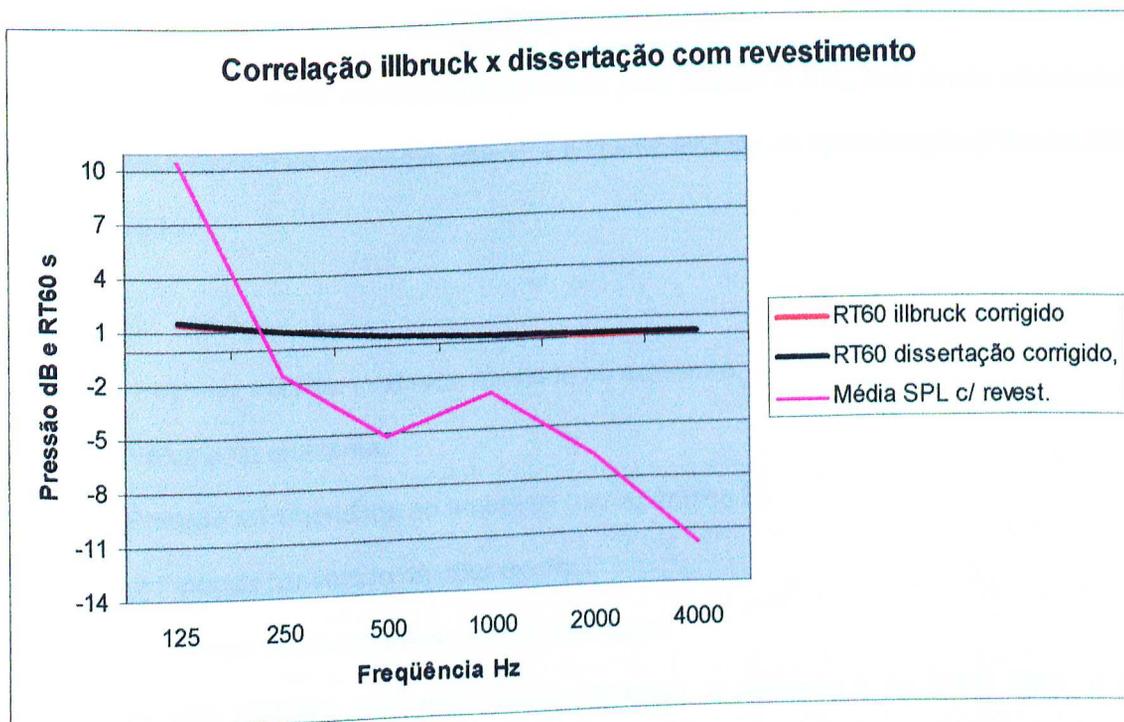


Figura 5.3.16 - Compara os cálculos do RT_{60} usando o software da ilbruck-Sonex® e o desenvolvido nesta dissertação, com revestimento acústico na sala, com a média da pressão sonora (SPL) medida. A linha preta representa o RT_{60} calculado com o software da ilbruck-Sonex®, a linha vermelha o RT_{60} calculado com o software desenvolvido nesta dissertação, e a linha lilás representa a média da pressão sonora (SPL), medida na sala.

Os gráficos das medições feitas na sala estão no Apêndice E. Notar que as medidas estão na escala do ruído rosa – 20Hz a 20kHz.

5.4 – CÁLCULO DA POTÊNCIA MÁXIMA RECOMENDADA:

Para o cálculo da potência máxima recomendada para manter o RT_{60} nos níveis calculados, e que deve ser instalada no ambiente, usa-se a seguinte fórmula de aproximação [Péricles,2002], tendo-se então:

$$P = \frac{V \cdot p^2}{300RT_{60}} \quad (5.3.1)$$

Onde: P = Potência máxima total recomendada ao ambiente.

V = Volume do ambiente.

p = Pressão recomendada ao ambiente (ver Apêndice D)

300 = Fator de conversão de μbar em Pa.

RT_{60} = Tempo de reverberação médio calculado.

No caso da sala utilizada, sem revestimento acústico, a potência é de 1,8W RMS, e com revestimento acústico, a potência é de 7,50W RMS. Sabendo-se que a sala tem um volume de 20,776 m^3 , a média do RT_{60} sem revestimento acústico foi de 2,50s, e com revestimento foi de 0,59s, e a pressão (Apêndice 4), é de 8 μbar .

Usando-se os dados calculados pelo software da illbruck-Sonex®, tem-se, para as mesmas condições, o RT_{60} médio sem revestimento foi de 2,09s, o com revestimento de 0,56s, as potências são 2,12W RMS e 7,91W RMS.

Notar que quanto maior for o tempo de reverberação, menor deverá ser a potencia fornecida ao ambiente, isto implica que para minimizar o efeito da reverberação em um ambiente, dentro da faixa de frequências estudadas (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000Hz), a potência máxima recomendada deve ser calculada conforme equação 5.3.1, fazendo com isto que a inteligibilidade do sistema não seja comprometida.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.

6.1 – CONCLUSÕES:

Devido à possibilidade de uso de materiais diferentes em cada tipo de superfície, previsto no software desenvolvido nesta dissertação, facilitou sobremaneira, não só a escolha dos mesmos, como o cálculo do tempo de reverberação mais próximo do real. Os softwares estudados até aqui foram destinados a estúdios, onde todas as paredes, incluindo teto e chão são revestidos igualmente.

Como na maioria dos casos, os ambientes a serem tratados já estão prontos, e muitas vezes apresentam superfícies que não podem ser tratadas (janelas que ocupam uma parede inteira, paredes com pedras ornamentais, portas de madeira que ocupam a parede inteira, ou mesmo a recusa do proprietário de se tratar uma das paredes da sala), o software desenvolvido nesta dissertação, levou em conta que cada superfície pudesse ser tratada independentemente, ao invés de considerar a área como um todo.

Esta opção de tratamento leva a um cálculo mais real do tempo de reverberação, contando-se também com as superfícies que não poderão ser tratadas, aumentando-se as opções do usuário, tanto nos materiais acústicos a serem escolhidos, como nas áreas serem tratadas.

6.2 – TRABALHOS FUTUROS:

- Desenvolvimento do cálculo do volume para tetos com declives.
- Implantação do cálculo para RT_{60} , considerando-se a posição do mobiliário e das pessoas.
- Possibilitar a medição de SPL em diferentes posições da sala, e não fixa a um metro da fonte e do chão, para elaboração de uma tabela do ambiente, mantendo-se a calibração.
- Ampliar a faixa de frequências nas medições de SPL, não se limitando às 6 (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000Hz), possibilitando um maior estudo de ressonâncias e perdas de transmissão no ambiente.
- Possibilitar o cálculo da posição dos sonofletores no ambiente, para a combinação, junto com o cálculo do RT_{60} , da menor reverberação.

APÊNDICE A:
SOM: DEFINIÇÕES, CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES:
A.1. - DEFINIÇÕES:

Existe uma diferença, que causa ainda grandes confusões, entre ruído e som.

Na acústica, se estuda a propagação do som, e não a de ruído, uma vez que o som é uma sensação auditiva de forma contínua, durante um intervalo de tempo, como, por exemplo, um trecho de uma música, que provoca a sensação auditiva no ouvido. Já o ruído, como por exemplo, o bater de uma porta, a explosão de uma bomba, provoca a mesma sensação auditiva, porém de curta duração, e na sua maioria são sensações desagradáveis.

Todo som tem por sua origem, um movimento vibratório, e pela definição acima, contínuo em um determinado período de tempo. Isto implica em se ter um meio de propagação adequada para que a vibração possa ser continuada e difundida.

O meio de propagação, ao qual nos deteremos, é o ar, ou seja, um meio elástico, que fica interposto entre a fonte de vibração e o ouvido humano.

O tímpano do ouvido humano, funcionando como um diafragma, é sensível às variações de pressão, provocadas pela compressão (diminuição do volume quando exercida uma pressão), e conseqüentemente a sua expansão de volta, por ser um meio elástico. Este processo (compressão e expansão), quando aplicado de forma contínua e ritmada transmite as vibrações às moléculas adjacentes, provocando a sua propagação até a sua extinção,

conforme Figura A.1.1:

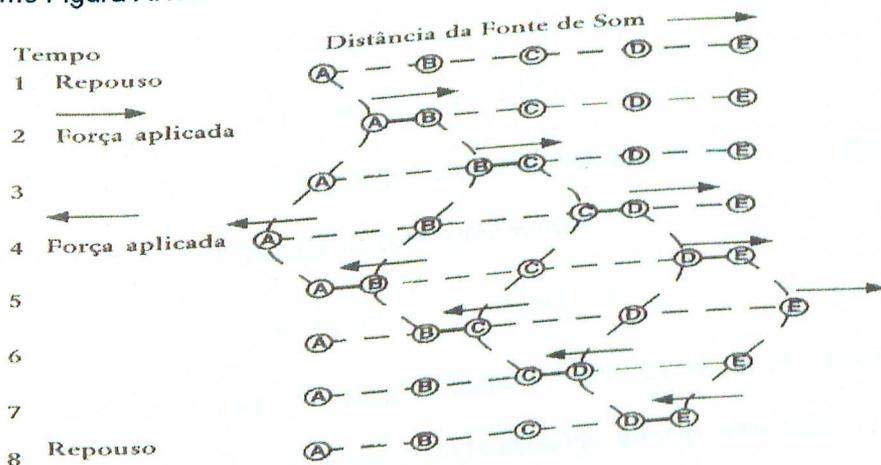


Figura A.1.1 - O movimento de partículas de ar (A até E) em resposta a uma força aplicada no tempo = 2 e tempo = 4. As setas indicam a direção da força aplicada e a direção do deslocamento da partícula. A onda se propaga pelo ar, de modo que a vibração para frente e para trás na partícula para trás da partícula A acaba resultando em uma vibração para frente e para trás na partícula E. (Cortesia Digital tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda).

Logo, a conclusão é de que a propagação do som é feita em meio elástico somente, ver Figura A1.2:

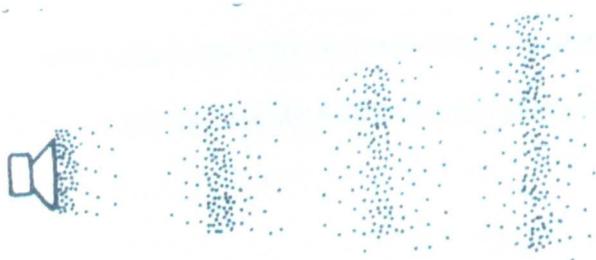


Figura A.1.2 - (cortesia Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda.)

A propagação leva automaticamente a uma relação de velocidade com a qual o som se propaga, sendo possível seu cálculo conhecendo-se o meio ao qual o som vai se propagar.

$$v = \sqrt{\tau / \mu} \quad (\text{A.1})$$

onde v é a velocidade do som (m/s), τ é a propriedade elástica do meio (mg) e μ é a propriedade inercial do meio (kg/m).

A propriedade que determina a extensão na qual um elemento do meio varia seu volume, quando a pressão sobre ele aumenta ou diminui, é o módulo de elasticidade volumar B que é definido como:

$$B = - \Delta p / \Delta v / v \quad (\text{A.2})$$

$\Delta v / v$ é a variação relativa do volume produzida por uma variação Δp de pressão. Logo é possível se calcular a velocidade do som como sendo:

$$v = \sqrt{B / \rho} \quad (\text{A.3})$$

Quando o meio de propagação, além de elástico é homogêneo, a velocidade será uniforme, sendo que as ondas sonoras se propagarão segundo esferas centradas na fonte sonora. É suposto que as compressões e rarefações do ar são suficientemente rápidas para não haver tempo de existir a troca de calor entre as partes do meio, condições estas que são encontradas nas ondas sonoras. O módulo da elasticidade volumar nestas condições é chamado de **módulo de elasticidade adiabático**, sendo seu valor a 20°C de $1,4 \times 10^5$ Pa.

A.2 – VELOCIDADE:

A velocidade do som foi convencionalizada em 340 m/s no ar [Toledo, Nicolau, Ivan, 1984], porém medidas físicas podem ser feitas e a velocidade do som a 0° C e 1 atm de pressão é de 330 m/s e a 20° C e 1 atm de pressão é de 343 m/s [Toledo, Nicolau, Ivan, 1984].

A tabela abaixo mostra as velocidades do som em diferentes meios: [Toledo, Nicolau, Ivan, 1984]

Meio	Velocidade do som ^a
Ar (0° C)	331 m/s
Ar (20° C)	343 m/s
Hélio	965 m/s
Hidrogênio	1284 m/s
Água (0° C)	1402 m/s
Água (20° C)	1482 m/s
Água do mar ^b	1522 m/s
Alumínio	6420 m/s
Aço	5941 m/s
Granito	6000 m/s

^a A 0° C e 1 atm de pressão

^b A 20° C e 3,5% de salinidade

Uma forma simplificada de se calcular a velocidade do som, é definida pela fórmula:

$$v = 20,06 \sqrt{273 + a^{\circ}C} \text{ m/s} \quad [\text{Toledo, Nicolau, Ivan, 1984}].$$

A.3 – CARACTERÍSTICAS:

A.3.1. – AMPLITUDE:

Fisicamente é o maior afastamento que uma partícula pode alcançar em relação ao seu ponto de repouso, quando submetida à vibração. Eletricamente é o valor de pico de tensão ou de corrente que o sinal pode alcançar.

Genericamente, a onda sonora pode ser representada por $A \sin \omega t$, onde A é a amplitude da onda, ω é a velocidade angular, e t o período da onda.

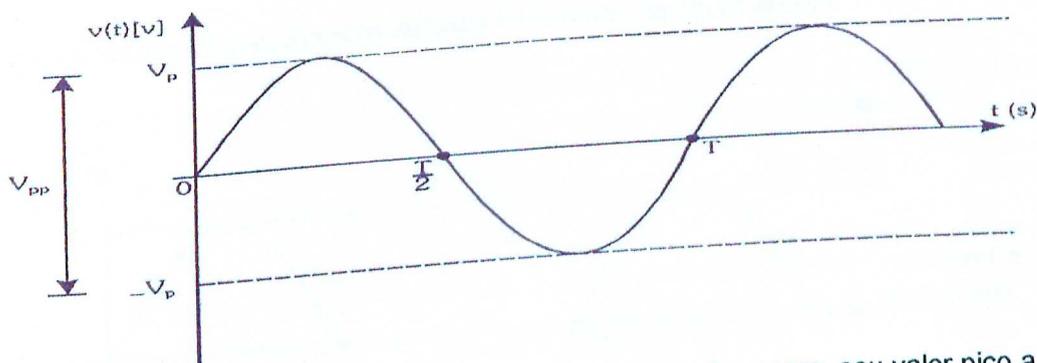


Figura A.3.1 – Representação de uma onda sonora, seu valor pico a pico e seu período.

A.3.2. – COMPRIMENTO DE ONDA:

Comprimento de onda é definido como sendo o espaço físico que a onda percorre até completar o seu ciclo. É calculado como sendo o quociente da velocidade do som no meio em que se propaga, pela frequência da onda sonora.

$$\lambda = v / f \quad (\text{A.3.1})$$

Este comprimento de onda determina distância que o ouvinte precisa estar da fonte sonora, para que este possa ouvir em intensidade máxima a frequência gerada.

Para melhor entendermos podemos descrever o deslocamento Y de um elemento qualquer da onda na posição x e no tempo t , onde Y_m é a amplitude da onda, como sendo:

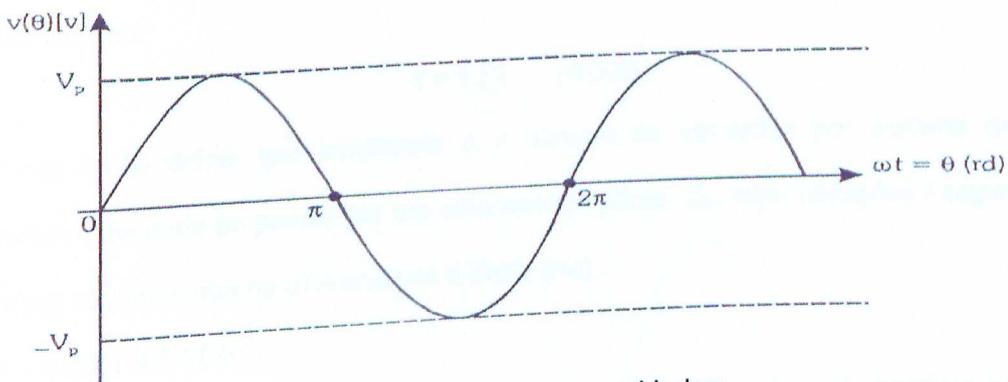
$$Y(x,t) = Y_m \sin (kx - \omega t) \quad (\text{A.3.2})$$

Pode-se observar que a onda se repete de tempos em tempos em uma função seno, esta repetição determina a frequência da onda. Tanto a constante k como a ω serão definidas abaixo.

Comprimento de onda (λ) é definido como sendo o espaço físico que a onda percorre até completar o seu ciclo, ou seja, é a menor distância na qual a configuração da onda (mantendo-se t constante) repete-se completamente, podemos escolher o $t = 0$, e colher um "instantâneo" da onda neste tempo, fazendo com que a equação A.3.2 fique reduzida a:

$$Y(x,0) = Y_m \text{ sen } kx \quad (t = 0) \quad (\text{A.3.3})$$

Um típico intervalo de comprimento de onda é mostrado na figura abaixo:



Aplicando-se a equação A.3.3 em cada uma das extremidades:

$$Y = Y_m \text{ sen } kx + Y_m \text{ sen } k(x + \lambda) \quad (\text{A.3.4})$$

Nota-se que o seno se repete primeiramente quando o ângulo é acrescido de 2π , tornando a equação A.3.4 verdadeira em $k\lambda = 2\pi$, tendo-se daí que

$$k = 2\pi / \lambda \quad (\text{A.3.5})$$

k é denominado o *número de onda angular*, e sua unidade na SI é radiano por metro.

Podemos daqui definir *número de ondas por unidade de comprimento*, com unidade no SI de m^{-1} , como sendo:

$$K = k / 2\pi \quad (\text{A.3.6})$$

1.3.4. – FREQUÊNCIA:

Na figura A.3.2, podemos observar o deslocamento de Y no tempo em uma posição fixa, que no caso tomamos como $x = 0$. Se observarmos somente um único ponto deste movimento, a duração de Y seria dada por:

$$Y(0,t) = Y_m \sin(-\omega t) = -Y_m \sin(\omega t) \text{ (para } x=0\text{)}.$$

Daí definimos o período T de uma onda, como sendo o menor intervalo de tempo durante o qual o movimento de um elemento oscilante se repete completamente, ou seja:

$$Y = -Y_m \sin(\omega t) = -Y_m \sin(\omega t + T).$$

Isto é verdade se $\omega T = 2\pi$, ou seja,

$$\omega = 2\pi / T \quad (\text{A.3.7})$$

Esta equação é a definição da velocidade angular de uma onda sonora, relacionando-se com a frequência por:

$$f = 1 / T \quad (\text{A.3.8})$$

Podemos então definir que frequência é o número de vibrações por unidade de tempo executado pela onda ao passar por um determinado ponto. Ou seja: vibrações / segundos, ou ciclos por segundo, que no SI a unidade é Hertz (Hz).

1.3.5. - DIRETIVIDADE:

Altas frequências, por terem o seu comprimento de onda menor, são mais diretas do que as frequências mais baixas, que em projetos de acústica são um sério problema, uma vez que mal direcionadas, as ondas sonoras se perderão em espaços sem utilização.

No caso de ondas de frequências mais baixas, usa-se o solo como elemento de referência, sendo que as mesmas se propagarão por todo ambiente sem uma necessidade muito grande de direcionamento.

1.3.6. - TONALIDADE:

A tonalidade é diretamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior a frequência, maior será o tom, e vice versa. O ouvido humano tende a responder melhor em tonalidade médias (300Hz até 3600Hz) [Bess, Humes, 1998] do que as agudas ou graves.

b1.3.7. - TIMBRE:

É a característica que permite distinguir o som de vários instrumentos diferentes, mesmo que estes estejam na mesma nota musical (mesma frequência fundamental).

O que determina o Timbre é a frequência fundamental e quantidade de **harmônicos inteiros** de perfazem o som.

As figuras 1.3.7,A,B e C abaixo mostram três formas de ondas diferentes, todas com frequências e pressões sonoras aproximadamente iguais.

DIAPASÃO ACÚSTICO

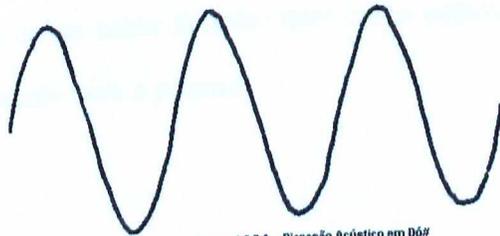
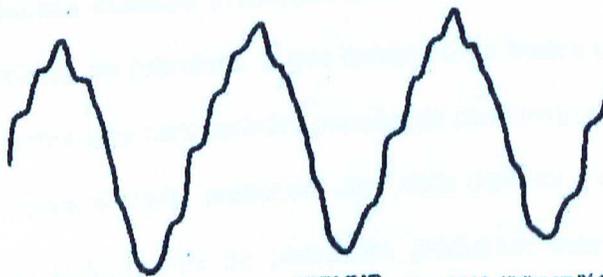
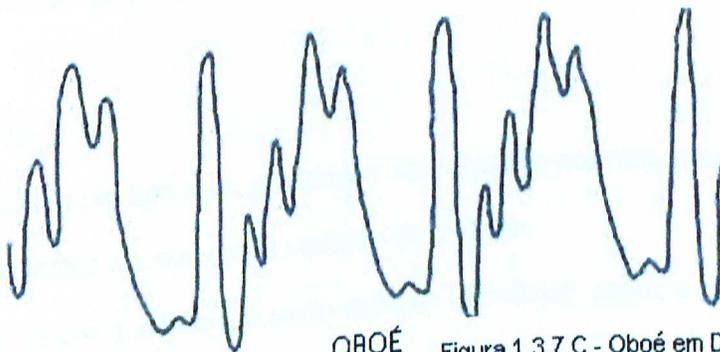


Figura 1.3.7.A. - Diapasão Acústico em Dó#
Cortesia Digital Tecnologia



VIOLINO

Figura 1.3.7.B - Violino em Dó #
Cortesia Digital Tecnologia



OBOÉ

Figura 1.3.7.C - Oboé em Dó#
(cortesia Digital Tecnologia)

A figura 1.3.7. A foi produzida por um diapasão acústico, a figura 1.3.7.B por um violino e a figura 1.3.7.C por um oboé.

Relacionar uma certa forma de onda, que pode ser facilmente vista em um osciloscópio, por exemplo, com timbre, altura e audibilidade, é bastante difícil, visto a complexidade do sistema auditivo humano, audibilidade é a como o ouvido humano percebe a intensidade do som, porém não é possível se relacionar linearmente uma coisa com outra, altura é o modo como percebemos a mesma frequência de modo diferente, o que é proporcional à intensidade do som, sendo o timbre o responsável pela capacidade do ser humano distinguir o som de diferentes instrumentos, e de se saber também com quem estamos falando, sem estarmos, necessariamente frente a frente com a pessoa.

1.3.8. - HARMÔNICOS:

Definem-se harmônicos como sendo os sobretons múltiplos exatos da frequência fundamental. As maiorias dos instrumentos musicais produzem uma série complexa de ondas sonoras, porém com uma série definida de sobretons, o que caracteriza o timbre de cada instrumento, tornando desta forma, o timbre uma característica peculiar de cada instrumento musical. Instrumentos de corda, metais e sopro, produzem uma série definida de sobretons, já a voz humana e a maioria dos instrumentos de percussão produzem sobretons que não são múltiplos exatos da fundamental, fugindo bastante desta regra, porém com timbres próprios e peculiares, que facilitam a sua identificação pelo ouvido humano.

1.3.9. - TOM PURO:

A figura 1.3.9.A mostra um tom puro, gerado por um diapasão acústico, mostrando a variação da onda sonora no tempo e a respectiva variação de pressão. Chama-se puro, uma vez que não apresenta nenhum harmônico, sendo o tipo mais elementar de vibração.

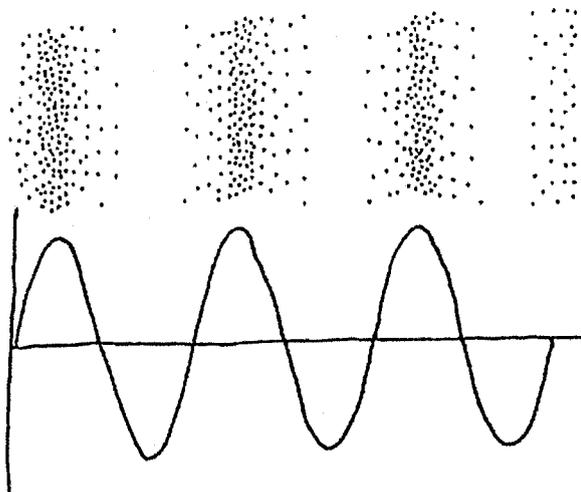


Figura 1.3.9.A - Tom Puro 1
Cortesia Digital Tecnologia

1.3.10. - REFLEXÃO:

Quando ondas acústicas encontram superfícies muito grandes, comparadas ao seu comprimento de onda, elas se refletem. A lei de reflexão da acústica estabelece que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

No caso de superfícies côncavas, existe uma tendência natural das ondas sonoras se concentrarem. Isto, em muitos casos, é o motivo de ambientes terem sua acústica completamente comprometida, ou seja, um grande número de superfícies côncavas.

No caso de superfícies convexas, existe um "espalhamento" das ondas sonoras refletidas, formando um campo acústico difuso, sendo que em muitos casos usa-se esta técnica, ou seja, grandes áreas convexas, onde a acústica é importante, como, por exemplo, em estúdios de gravação, gerando-se este efeito.

Estes efeitos podem ser vistos nas figuras 1.3.10.A, B e C abaixo:

Figura 1.3.10.A Reflexão da onda sonora em superfície plana
Cortesia Digital tecnologia

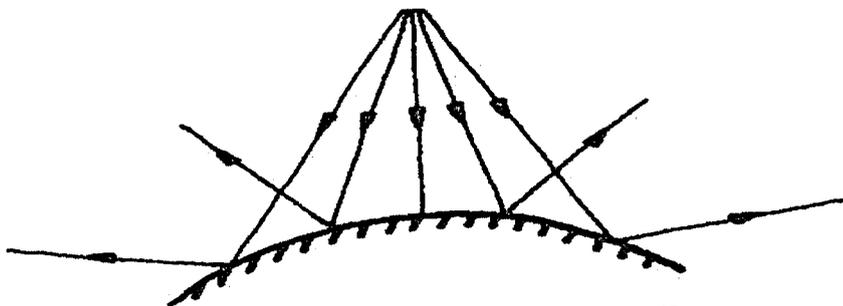
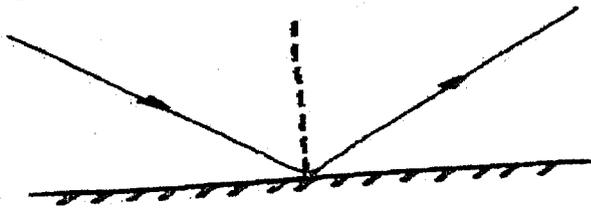
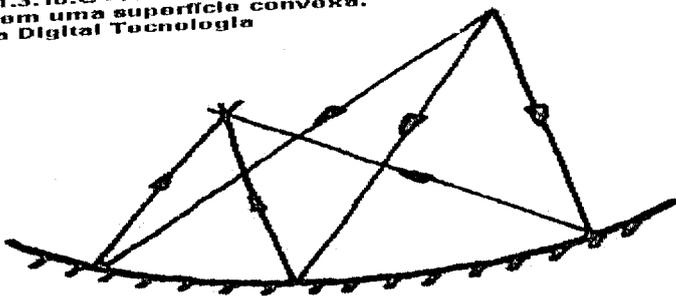


Figura 1.3.10.B - Reflexão de uma onda sonora em uma superfície côncava.
Cortesia Digital Tecnologia

Figura 1.3.10.C - Reflexão de uma onda sonora em uma superfície convexa.
Cortesia Digital Tecnologia



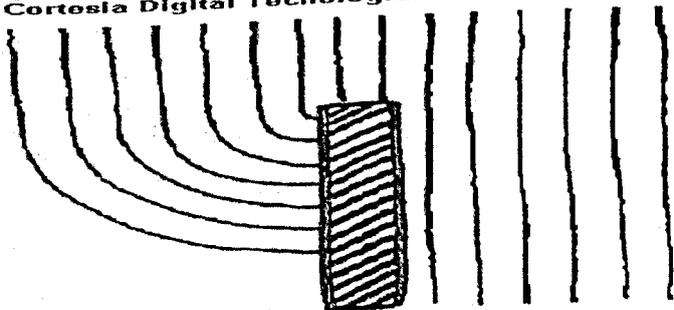
1.3.11. - DIFRAÇÃO:

A difração é um fenômeno que altera e muito a direção e a intensidade do som refletido, ou seja, o encontro das ondas sonoras com obstáculos, é chamado difração.

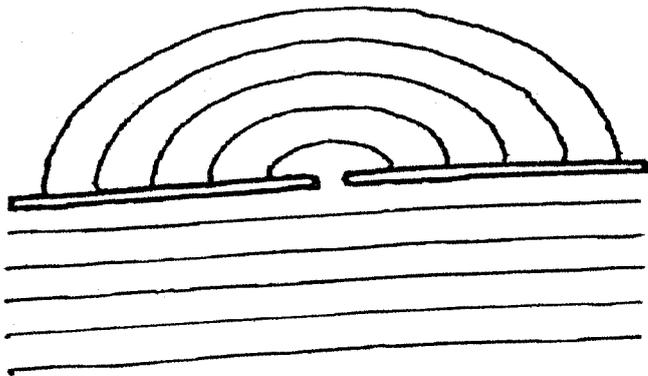
Este fenômeno tem uma relação direta entre o comprimento da onda com a forma e o tamanho do obstáculo, sendo que pode ser observado somente com experimentos práticos.

Existe uma tendência natural da onda sonora contornar cantos e se espalhar uniformemente quando encontra um "buraco" em uma superfície. Estes fenômenos podem ser observados nas figuras 1.3.11.A e B.

**Figura 1.3.11.B - Refração de uma onda sonora quando encontra um obstáculo .
Cortesia Digital Tecnologia.**



**Figura 1.3.11.A - Movimento da onda sonora quando encontra um obstáculo tipo "buraco".
Cortesia Digital tecnologia**



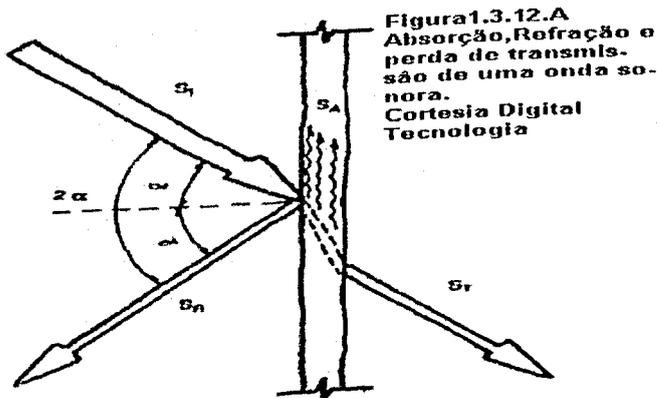
Segundo o teorema de Huygens, cada ponto de uma onda sonora é uma fonte secundária de som, sendo que o "buraco" na superfície se comporta como um destes pontos, fazendo a onda sonora se espalhar.

1.3.12. - ABSORÇÃO, REFRAÇÃO E PERDA DE TRANSMISSÃO.

A onda sonora ao se encontrar com uma superfície qualquer, forma um ângulo em relação à normal, chamado de ângulo de incidência.

Uma parcela é refletida, com o mesmo ângulo de incidência, e uma parte é absorvida pela superfície, transformando-se em calor, e uma outra parte é transmitida para o outro lado, porém sofrendo uma refração acústica, ou seja, há uma mudança de direção, devido à diferença do meio entre a onda incidente e a onda refratada, conforme pode ser visto na

figura. 3.12.A.



A perda de transmissão de um material é determinada experimentalmente, colocando-se o material a ser ensaiado entre duas salas contíguas, onde em uma delas é gerada uma certa e determinada pressão sonora, e medida esta mesma pressão na outra sala.

A diferença em dB é definida como a perda de transmissão, ou seja, a propriedade do material sob teste, em bloquear a onda sonora, impondo uma alta perda de transmissão.

1.3.13. – CONCEITO DE IMPEDÂNCIA, ADMITÂNCIA E RESSONÂNCIA:

Na discussão sobre vibração e deslocamento do ar, nota-se que a quantidade de massa de ar, a elasticidade do meio, e a sua resistência ao movimento foram considerados.

Resta então nomear estas variáveis, uma vez que fazem parte do sistema como um todo, assim, a oposição ao sistema de massa a ser deslocada, é chamada Reatância de Massa, aqui designado como X_m , enquanto a oposição devido à elasticidade do meio é chamada reatância elástica, aqui designada como X_e e a resistência ao movimento, ou seja, a força de atrito, é chamada de R .

A composição de todas estas oposições é chamada de Impedância Z .

Definimos então cada uma das suas fórmulas:

$X_m = 2\pi fM$ – o aumento da massa ou da frequência, faz aumentar a reatância de massa.

$X_e = 1 / 2\pi fE$ – o aumento da elasticidade do meio ou da frequência diminui a reatância elástica.

$Z = \sqrt{R^2 + (X_m - X_e)^2}$ - esta é a impedância resultante do sistema. Notar que existirá uma frequência à qual a impedância do sistema será dada apenas por R, ($X_m = X_e$), chamada **frequência de ressonância** (f_0) do sistema.

Podemos, então traçar os paralelos dos componentes da mecânica, elétrica e acústica para a impedância:

Mecânica	Elétrica	Acústica
Reatância de Massa (X_m)	Reatância Indutiva (X_L)	Inertância (X_m)
Reatância Elástica (X_e)	Reatância capacitiva (X_c)	Reatância Elástica (X_e)
Resistência (R)	Resistência (R)	Resistência (R)
Impedância (Z_m)	Impedância (ZE)	Impedância (Z_a)
$Z_m = [R^2 + (X_m - X_e)^2]^{0.5}$	$Z_e = [R^2 + ((X_L - X_c)^2)]^{0.5}$	$Z_a = [R^2 + (X_m - X_e)^2]^{0.5}$

1.3.14. – DOMÍNIO DO TEMPO x DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA:

Há que se ressaltar também o espectro do som no domínio da frequência, uma vez que com esta análise, é possível se avaliar a amplitude do espectro, e as suas dispersões.

As dispersões são de importante análise, visto que existirá um espalhamento de energia em torno da frequência fundamental, dificultando, em muitos casos a inteligibilidade de todo o sistema acústico. Nas figuras abaixo 1.3.14.A, B, C e D, temos uma onda de 1000 Hz em tom puro, com diferentes durações de tempo. Na figura 1.3.14.A, a duração é infinita, já na 1.3.14.B, sua duração é de 0,1s, na 1.3.14.C, sua duração é de 0,01s, e na 1.3.14.D, sua duração é de 0,001s.

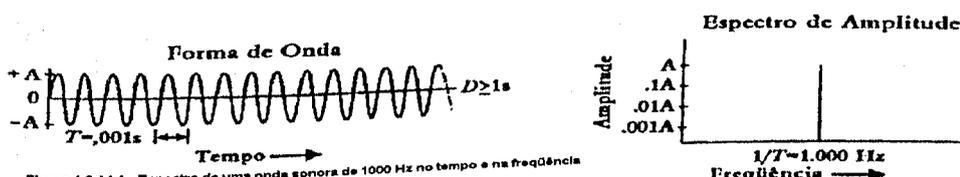


Figura 1.3.14.A - Espectro de uma onda sonora de 1000 Hz no tempo e na frequência com duração infinita.
Cortesia Louisiana State University School of Medicine.

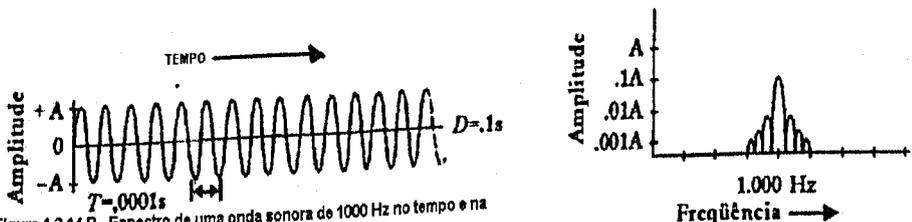


Figura 1.3.14.B - Espectro de uma onda sonora de 1000 Hz no tempo e na frequência com duração de 0,1s.
Cortesia Louisiana State University School of Medicine.

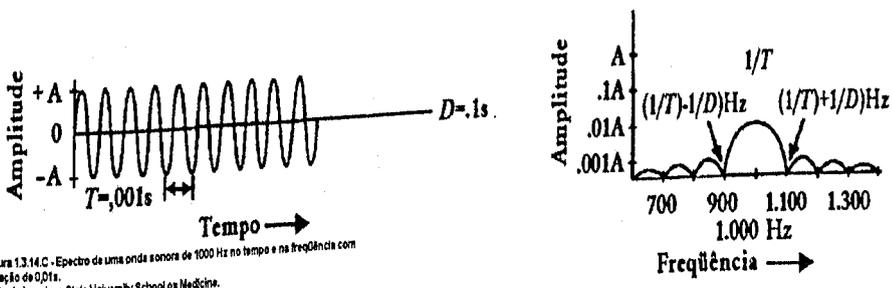


Figura 1.3.14.C - Espectro de uma onda sonora de 1000 Hz no tempo e na frequência com duração de 0,01s.
Cortesia Louisiana State University School of Medicine.

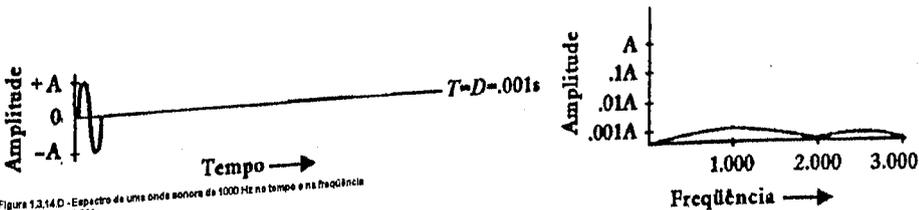


Figura 1.3.14.D - Espectro de uma onda sonora de 1000 Hz no tempo e na frequência com duração de 0,001s.
Cortesia Louisiana State University School of Medicine.

Em resumo, a amplitude do espectro de um tom puro, varia de acordo com a sua duração. Quanto mais curta a duração, mais amplo é o espectro, e vice-versa. Na maioria dos casos, a amplitude do espectro de tons puros com menos de 1s de duração, com período T de duração e uma amplitude A, ligado e desligado rapidamente em um instante D, terá sua amplitude máxima em $1/T$ Hz de A em função de D, contendo 90% da energia entre as frequências $[1/T - 1/D]$ Hz e $[1/T + 1/D]$ Hz.

APÊNCIDE B:

2.1. - TABELA DE ÍNDICES DE ABSORÇÃO DE MATERIAIS:

Item	SUPERFICIE	125	250	500	1000	2000	4000	Fon te
1	Abertura para ventilação	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7
2	Alvenaria	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,060	1
3	Ar	0,000	0,000	0,000	0,000	7,500	23,600	7
4	Bloco de concreto pintado	0,100	0,050	0,060	0,070	0,090	0,080	1
5	Bloco de concreto rústico	0,360	0,440	0,310	0,290	0,390	0,250	1
6	Borracha	0,040	0,040	0,080	0,120	0,030	0,100	3
7	Cadeira couro / plástico (desocupada)	0,120	0,170	0,190	0,210	0,240	0,260	2
8	Cadeira de madeira (desocupada)	0,110	0,160	0,190	0,200	0,180	0,150	2
9	Cadeira estofada (desocupada)	0,180	0,250	0,300	0,330	0,210	0,190	2
10	Cadeira estofada (desocupada)	0,060	0,070	0,080	0,150	0,140	0,110	2
11	Cadeira metal (desocupada)	0,010	0,040	0,080	0,180	0,280	0,380	6
12	Carpete 5 mm	0,010	0,040	0,080	0,180	0,280	0,380	6
13	Carpete 6 mm	0,010	0,040	0,120	0,260	0,320	0,420	6
14	Carpete 7 mm	0,030	0,060	0,130	0,200	0,310	0,400	6
15	Carpete 8 mm	0,090	0,080	0,210	0,260	0,270	0,370	6
16	Carpete 10 mm	0,120	0,100	0,280	0,420	0,210	0,230	6
17	Carpete 12 mm	0,080	0,120	0,150	0,200	0,250	0,230	6
18	Carpete não forrado de uso geral	0,180	0,120	0,100	0,090	0,080	0,070	7
19	Chapa metálica - espaço de 4 cm	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,030	1
20	Concreto despejado pintado/envemizado	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,030	1
21	Concreto despejado sem pintura	0,040	0,030	0,050	0,110	0,070	0,020	7
22	Cortiça 19 mm	0,070	0,310	0,490	0,750	0,700	0,600	7
23	Cortina de veludo	0,030	0,120	0,150	0,270	0,370	0,420	7
24	Cortina leve de algodão	0,170	0,210	0,260	0,300	0,330	0,350	7
25	Crianças	0,030	0,030	0,040	0,050	0,070	0,060	1
26	Estuque	0,270	0,130	0,080	0,090	0,090	0,100	5
27	Fibraroc - 30 cm de ar	0,270	0,130	0,080	0,090	0,090	0,100	5
28	Fibraroc - espaço de ar 40 cm	0,310	0,320	0,520	0,810	0,880	0,840	8
29	Gesso acústico 12mm	0,250	0,450	0,780	0,920	0,890	0,870	8
30	Gesso acústico 24mm	0,290	0,100	0,050	0,040	0,070	0,090	8
31	Gesso em chapas pregadas	0,020	0,030	0,030	0,040	0,050	0,050	8
32	Gesso Normal	0,250	0,350	0,400	0,550	0,650	0,700	7
33	Grelhas de ventilação	0,050	0,040	0,030	0,020	0,020	0,020	4
34	Janela de vidro	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,060	1
35	Laje	0,150	0,110	0,100	0,070	0,060	0,070	2
36	Madeira - Piso comum	0,040	0,040	0,070	0,060	0,060	0,070	2
37	Madeira - Piso de parquet sobre asfalto	0,100	0,070	0,050	0,050	0,040	0,040	2
38	Madeira / lambril	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	3
39	Mármore / granito	0,020	0,020	0,030	0,040	0,040	0,030	1
40	Massa fina rústica sobre sarrafo	0,020	0,030	0,040	0,050	0,040	0,030	1
41	Massa fina sobre sarrafo	0,010	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	1
42	Massa fina sobre tijolo vazado	0,010	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	1
43	Massa fina sobre tijolo/telhas	0,040	0,040	0,070	0,060	0,060	0,070	2
44	Mesas de madeira	0,020	0,030	0,030	0,030	0,040	0,040	8
45	Paviflex / vinil	0,200	0,250	0,310	0,350	0,330	0,310	8
45	Pessoas em assentos de madeira							

46	Pessoas em assentos estofados	0,190	0,325	0,380	0,455	0,390	0,390	6
47	Pessoas em pé	0,185	0,325	0,440	0,420	0,460	0,370	6
48	Piso de cerâmica vitrificada	0,020	0,030	0,050	0,060	0,070	0,070	3
49	Piso de concreto/cerâmica não vitrificada	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	3
50	Piso de madeira tipo oregon	0,090	0,090	0,080	0,090	0,100	0,110	2
51	Porta de madeira	0,040	0,040	0,070	0,060	0,060	0,070	2
52	Porta metálica	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	7
53	Reboco áspero	0,030	0,030	0,030	0,030	0,040	0,060	1
54	Taco	0,040	0,040	0,050	0,120	0,100	0,170	2
55	Tapete comum	0,110	0,140	0,200	0,330	0,520	0,820	6
56	Telha fibrocimento	0,010	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	7
57	Telha metálica	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	7
58	Tijolo comum	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,030	1
59	Tijolo comum pintado	0,030	0,030	0,030	0,040	0,050	0,070	1
60	Tijolo vitrificado	0,030	0,030	0,030	0,040	0,040	0,050	1
61	Vidro de peças grandes e pesado	0,180	0,060	0,040	0,030	0,020	0,020	4
62	Banco de madeira sem estofamento	0,030	0,050	0,070	0,070	0,060	0,060	2
63	Banco de madeira com almofadas	0,110	0,160	0,190	0,200	0,180	0,150	2
64	Placa Sonex 20/35	0,060	0,100	0,210	0,380	0,550	0,810	5
65	Placa Sonex 27/35	0,090	0,140	0,310	0,620	0,910	0,960	5
66	Placa Sonex 35/35	0,110	0,210	0,480	0,710	0,860	0,940	5
67	Placa Sonex 42/75	0,100	0,230	0,500	0,770	0,990	0,960	5
68	Placa Sonex 50/75	0,130	0,340	0,720	0,940	0,900	0,970	5
69	Placa Sonex 66/75	0,090	0,450	0,690	0,950	0,940	0,980	5
70	Placa Sonex 75/125	0,230	0,680	0,980	1,040	0,970	0,990	5
71	Placa Sonex 30/125	0,070	0,150	0,510	0,910	0,820	0,840	5
72	Placa Flexonic 20/35	0,030	0,140	0,260	0,420	0,520	0,660	5
73	Placa Flexonic 35/35	0,050	0,210	0,450	0,630	0,810	0,970	5
74	Placa Flexonic 50/75	0,090	0,310	0,580	0,710	0,840	0,960	5
75	Placa Flexonic 75/125	0,110	0,420	0,700	0,920	1,000	1,070	5
76	Forno Rox 20	0,030	0,140	0,260	0,420	0,520	0,660	5
77	Forno Rox 30	0,050	0,210	0,450	0,630	0,810	0,970	5
78	Forno Rox 45	0,150	0,700	1,000	0,850	0,910	0,900	5
79	Forno Rox 300mm/30	0,300	0,510	0,860	0,930	0,990	0,980	5
80	Forno Rox 600mm/30	0,460	0,520	1,030	0,960	1,090	1,000	5

- 1- MDL Média Diversos Laboratórios Associados
- 2- Eucatex S.A.
- 3- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 4- Saint Gobain - Santa Marina
- 5- Illbruck Sonex
- 6- IPT – Instituto de Pesquisas Técnicas
- 7- General Building Material and Furniture – USA
- 8- Digital Tecnologia em Áudio

APÊNDICE C:

3.1. – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO ÓTIMOS DE AMBIENTES:

Tempos de reverberação ótimos	
Local	RT ₆₀
Escritório	0,40
Consultório	0,29
Estúdio de Locução	0,54
Estúdio de Música	0,54
Home Theaters	0,40
Salas de aula	0,37
Salas de Reuniões	

ABNT – NBR 12179/ NBR 10152.

APÊNDICE D:

4.1. – PRESSÕES RECOMENDADAS PARA AMBIENTES FECHADOS:

AMBIENTES	PRESSÃO
SALA DE CONFERÊNCIAS	4 μ bar
SALA DE MÚSICA	8 μ bar
SALA DE MÚSICA PESADA	12 μ bar

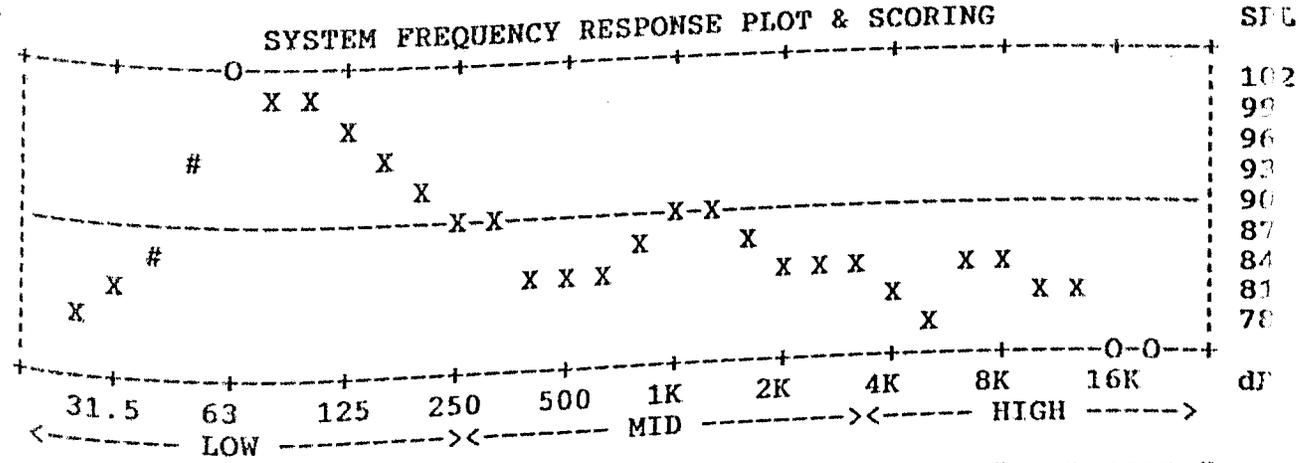
Péricles, 2002

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

NAME : _____ ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - ONE OR MORE BAND(S) "OVER SCALE" **

FREQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25		N/A			
31.5	81				
40	84	+3			
50	87	+3			
63	96	+9	MAJOR OVER SCALE	-9	PEAK SPL
80	108	+12			
100	102	-6			
125	102	0			
160	99	-3			
200	96	-3			
250	93	-3			
315	90	-3			
400	90	0	MINOR	-1	
500	84	-6			
630	84	0			
800	84	0			
1K	87	+3			
1.25K	90	+3			
1.6K	90	0			
2K	87	-3			
2.5K	84	-3			
3.15K	84	0			
4K	84	0			
5K	81	-3			
6.3K	78	-3	MINOR	-1	
8K	84	+6			
10K	84	0			
12.5K	81	-3			
16K	81	0	OFF SCALE	-1	
20K	72	-9	OFF SCALE	-1	
	69	-3			

FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 13 = 27

OVERALL SPL = 112 dB

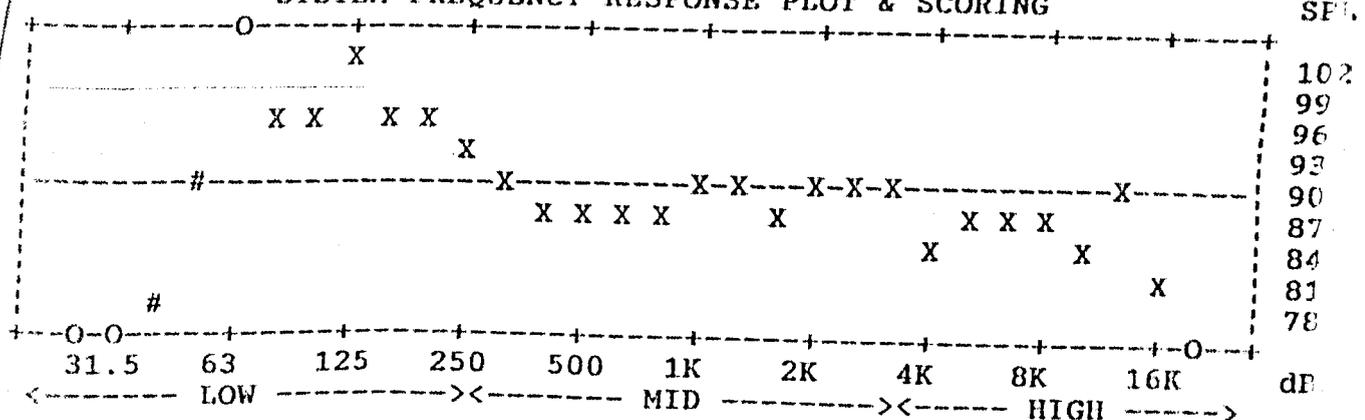
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE DO LADO ESQUERDO COM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA. APÊNDICE E

ASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - ONE OR MORE BAND(S) "OVER SCALE" **

REQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	72	N/A	OFF SCALE	-1	
31.5	75	+3	OFF SCALE	-1	
40	78	+3			
50	90	+12	MAJOR	-12	
63	105	+15	OVER SCALE		PEAK_SPL
80	96	-9			
100	96	0			
125	102	+6	MINOR	-1	
160	96	-6	MINOR	-1	
200	96	0			
250	93	-3			
315	90	-3			
400	87	-3			
500	87	0			
630	87	0			
800	87	0			
1K	90	+3			
1.25K	90	0			
1.6K	87	-3			
2K	90	+3			
2.5K	90	0			
3.15K	90	0			
4K	84	-6	MINOR	-1	
5K	87	+3			
6.3K	87	0			
8K	87	0			
10K	84	-3			
12.5K	90	+6	MINOR	-1	
16K	81	-9	MINOR	-1	
20K	72	-9	OFF SCALE	-1	

OVERALL SPL = 110 dB

FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 20 = 20

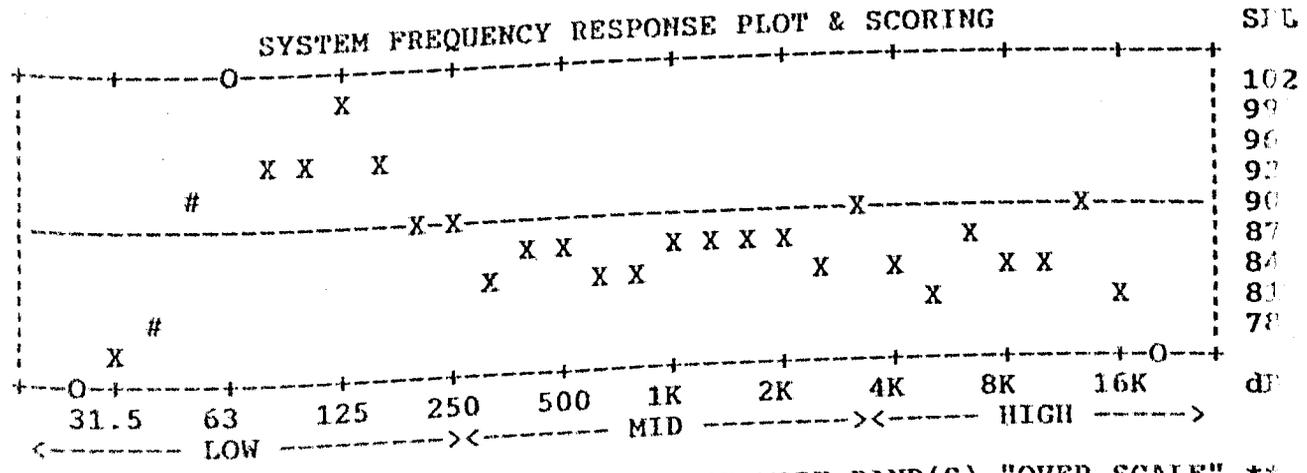
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA PAREDE DE FRENTE SEM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
APÊNDICE E

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

E : _____ ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - ONE OR MORE BAND(S) "OVER SCALE" **

REQ. Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	75	N/A	OFF SCALE	-1	
31.5	78	+3			
40	81	+3			
50	93	+12	MAJOR OVER SCALE	-12	PEAK SPL
63	105	+12			
80	96	-9			
100	96	0			
125	102	+6	MINOR	-1	
160	96	-6	MINOR	-1	
200	90	-6	MINOR	-1	
250	90	0			
315	84	-6	MINOR	-1	
400	87	+3			
500	87	0			
630	84	-3			
800	84	0			
1K	87	+3			
1.25K	87	0			
1.6K	87	0			
2K	87	0			
2.5K	84	-3	MINOR	-1	
3.15K	90	+6	MINOR	-1	
4K	84	-6			
5K	81	-3			
6.3K	87	+6	MINOR	-1	
8K	84	-3			
10K	84	0			
12.5K	90	+6	MINOR	-1	
16K	81	-9	MINOR	-1	
20K	72	-9	OFF SCALE	-1	

OVERALL SPL = 110 dB FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 23 = 17

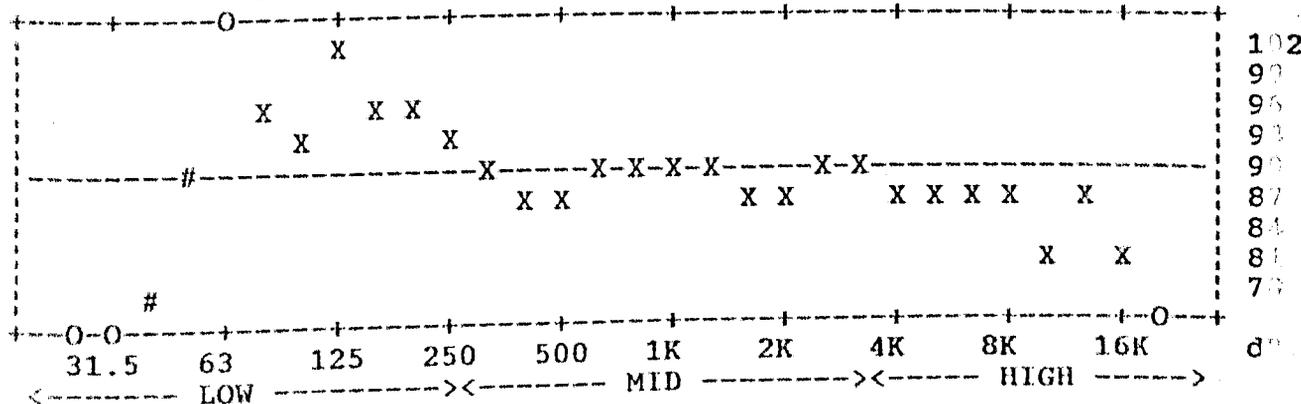
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA PAREDE DE FRENTE COM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
 APÊNDICE E

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

ME : _____ ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - ONE OR MORE BAND(S) "OVER SCALE" **

FREQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	72	N/A	OFF SCALE	-1	_____
31.5	75	+3	OFF SCALE	-1	_____
40	78	+3			_____
50	90	+12	MAJOR OVER SCALE	-12	_____
63	105	+15			PEAK SPL
80	96	-9			_____
100	93	-3			_____
125	102	+9	MINOR	-1	_____
160	96	-6	MINOR	-1	_____
200	96	0			_____
250	93	-3			_____
315	90	-3			_____
400	87	-3			_____
500	87	0			_____
630	90	+3			_____
800	90	0			_____
1K	90	0			_____
1.25K	90	0			_____
1.6K	87	-3			_____
2K	87	0			_____
2.5K	90	+3			_____
3.15K	90	0			_____
4K	87	-3			_____
5K	87	0			_____
6.3K	87	0			_____
8K	87	0			_____
10K	81	-6	MINOR	-1	_____
12.5K	87	+6	MINOR	-1	_____
16K	81	-6	MINOR	-1	_____
20K	69	-12	OFF SCALE	-1	_____

OVERALL SPL = 110 dB FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 20 = 20

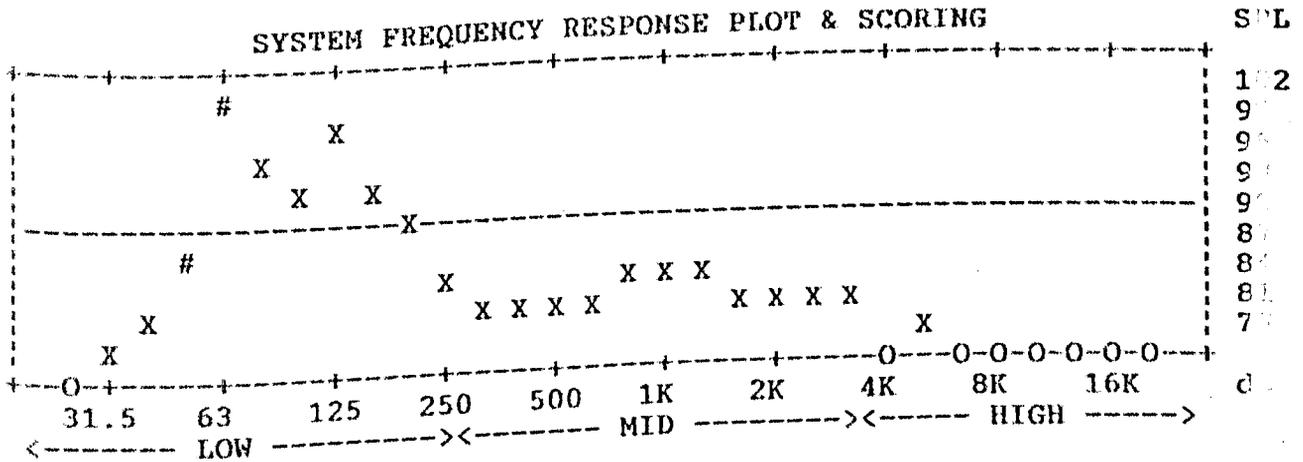
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE DO LADO DIREITO SEM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
 APÊNDICE E

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

E : _____ ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - OVER 3 BANDS(OCTAVE) "OFF SCALE" *

REQ. Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	75	N/A	OFF SCALE	-1	
31.5	78	+3			
40	81	+3			
50	87	+6	MINOR	-1	
63	102	+15	MAJOR	-15	PEAK SPL
80	96	-6	MINOR	-1	
100	93	-3			
125	99	+6	MINOR	-1	
160	93	-6			
200	90	-3			
250	84	-6	MINOR	-1	
315	81	-3			
400	81	0			
500	81	0			
630	81	0			
800	84	+3			
1K	84	0			
1.25K	84	0			
1.6K	81	-3			
2K	81	0			
2.5K	81	0			
3.15K	81	0			
4K	75	-6	OFF SCALE	-1	
5K	78	+3	OFF SCALE	-1	
6.3K	72	-6	OFF SCALE	-1	
8K	75	+3	OFF SCALE	-1	
10K	75	0	OFF SCALE	-1	
12.5K	72	-3	OFF SCALE	-1	
16K	69	-3	OFF SCALE	-1	
20K	69	0	OFF SCALE	-1	

OVERALL SPL = 108 dB FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 28 = 12

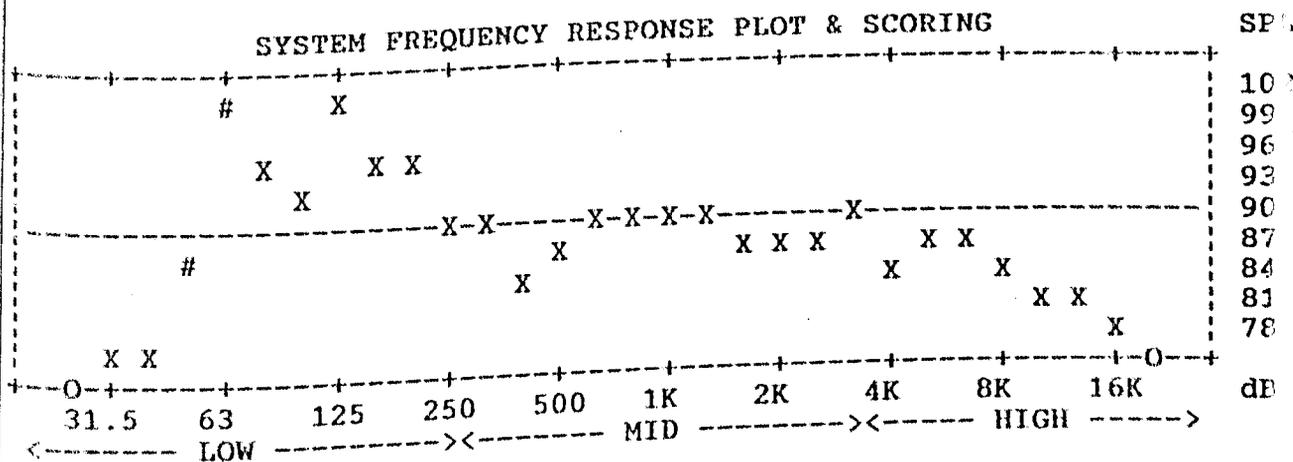
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE DO LADO DIREITO COM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
APÊNDICE E

ASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



FREQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	72	N/A	OFF SCALE	-1	
31.5	78	+6			
63	78	0		-1	
125	87	+9	MINOR	-15	PEAK_SPL
250	102	+15	MAJOR	-1	
500	96	-6	MINOR		
1000	93	-3		-1	
1250	102	+9	MINOR	-1	
1600	96	-6	MINOR		
2000	96	0		-1	
2500	90	-6	MINOR		
3150	90	0		-1	
4000	84	-6	MINOR		
5000	87	+3			
6300	90	+3			
8000	90	0			
10K	90	0			
1.25K	90	0			
1.6K	87	-3			
2K	87	0			
2.5K	87	0			
3.15K	90	+3		-1	
4K	84	-6	MINOR		
5K	87	+3			
6.3K	87	0			
8K	84	-3			
10K	81	-3			
12.5K	81	0			
16K	78	-3		-1	
20K	69	-9	OFF SCALE		

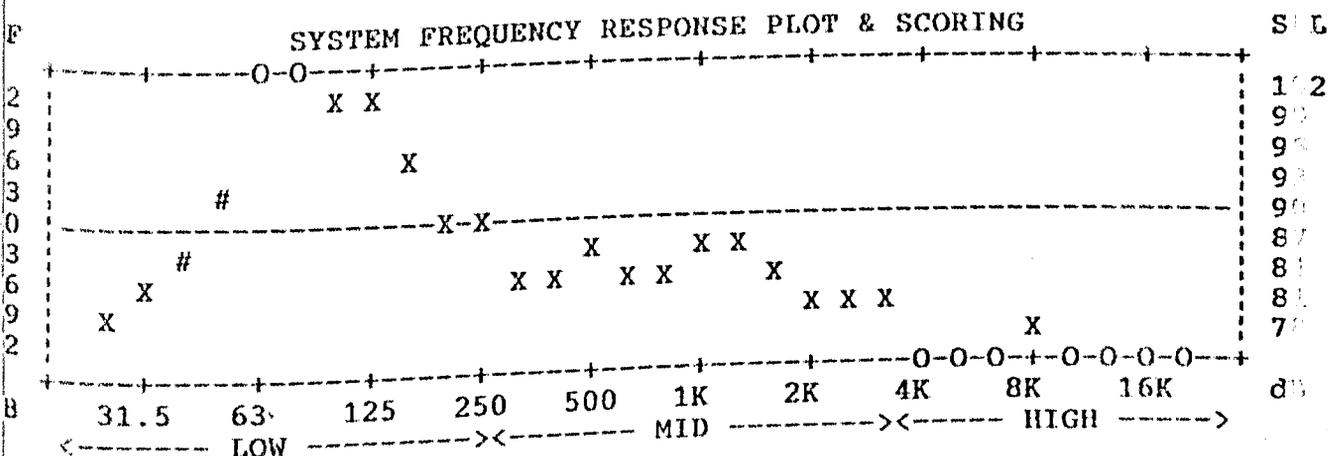
OVERALL SPL = 109 dB FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 24 = 16
 MAJOR DEVIATION : 01 ** MINOR DEVIATION : 07 ** OFF SCALE : 02 **

RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE
 TRÁSEIRA SEM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
 APÊNDICE E 88

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

ME : _____ ENTRY NO. _____



***** WARNING : MAJOR SCORING ERROR ! *****

FREQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	81	N/A			
31.5	84	+3			
40	87	+3			
50	93	+6	MAJOR OVER SCALE	-6	PEAK SPL
63	105	+12	OVER SCALE		
80	105	0			
100	102	-3			
125	102	0			
160	96	-6	MINOR	-1	
200	90	-6	MINOR	-1	
250	90	0			
315	84	-6	MINOR	-1	
400	84	0			
500	87	+3			
630	84	-3			
800	84	0			
1K	87	+3			
1.25K	87	0			
1.6K	84	-3			
2K	81	-3			
2.5K	81	0			
3.15K	81	0			
4K	75	-6	OFF SCALE	-1	
5K	72	-3	OFF SCALE	-1	
6.3K	69	-3	OFF SCALE	-1	
8K	78	+9			
10K	75	-3	OFF SCALE	-1	
12.5K	69	-6	OFF SCALE	-1	
16K	69	0	OFF SCALE	-1	
20K	69	0	OFF SCALE	-1	

OVERALL SPL = 112 dB FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 16 = 24

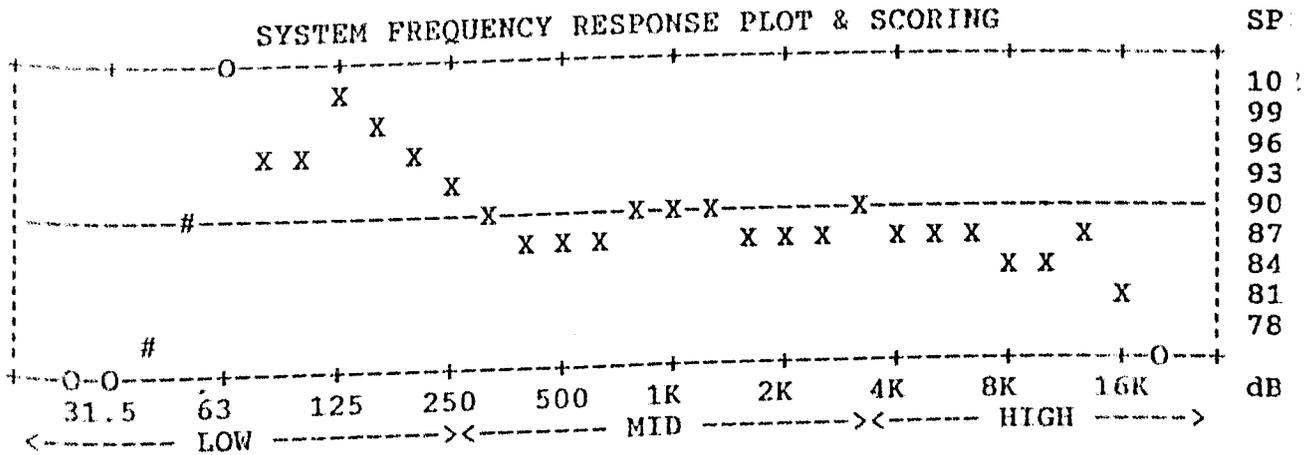
RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE TRÁSEIRA COM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA.
 APÊNDICE E

IASCA SCORE SHEET **

DATE : _____

E : _____ ENTRY NO. _____

SYSTEM FREQUENCY RESPONSE PLOT & SCORING



WARNING: POSSIBLE SCORING ERROR - ONE OR MORE BAND(S) "OVER SCALE" **

REQ. (Hz)	LEVEL (dB)	ADJACENT DIFF	FREQ BAND DEVIATION	POINTS	COMMENT
25	72	N/A	OFF SCALE	-1	
31.5	75	+3	OFF SCALE	-1	
40	78	+3			
50	90	+12	MAJOR OVER SCALE	-12	PEAK SPL
63	105	+15			
80	96	-9			
100	96	0			
125	102	+6	MINOR	-1	
160	99	-3			
200	96	-3			
250	93	-3			
315	90	-3			
400	87	-3			
500	87	0			
630	87	0			
800	90	+3			
1K	90	0			
1.25K	90	0			
1.6K	87	-3			
2K	87	0			
2.5K	87	0			
3.15K	90	+3			
4K	87	-3			
5K	87	0			
6.3K	87	0			
8K	84	-3			
10K	84	0			
12.5K	87	+3	MINOR	-1	
16K	81	-6	OFF SCALE	-1	
20K	69	-12			

FREQUENCY RESPONSE SCORE : 40 - 17 = 23

OVERALL SPL = 110 dB

RESPOSTA EM FREQUENCIA MEDIDO COM RTA NA PAREDE DO LADO ESQUERDO SEM REVESTIMENTO ACÚSTICO NA SALA. APÊNDICE E

APÊNDICE F – MODELO DO SOFTWARE DA AUDIO LIST

Planilha Básica para Cálculo de Tempo de Reverberação - Audio List									
1									
2									
3	Comprimento (m) - 1			Volume (m³) - 1,00					
4	Largura (m) - 1			Área Total (m²) - 6,00					
5	Altura (m) - 1								
6				Área cl. este material			a @ 125Hz: a @ 1kHz: a @ 4kHz: r a @ 125H: r a @ 1kHz: r a @ 4kHz		
7	Material			.1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	1			.2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9	2			.3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	3			.4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
11	4			.5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	5			.6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	6			.7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	7			.8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	8			.9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16	9			.10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17	10			.11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
18	11			.12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
19	12						12,00	12,00	12,00
20	Tela						2,0000	2,00	2,00
21	Médias								
22									
23							A (Sabine) - 12,00	12,00	12,00
24							A (Eyring) - \$NÚM!	\$NÚM!	\$NÚM!
25									
26							Frequência (Hz) - 125Hz	1kHz	4kHz
27	Absorção do Ar @ 4kHz (sabine)			0,00			RT60 (Sabine) (s) - 0,01	0,01	0,01
28							RT60 (Eyring) (s) - \$NÚM!	\$NÚM!	\$NÚM!
29									
30									

APÊNCIDE G – MODELO SOFTWARE ILLBRUCK-SONEX

Novo relatório técnico - Características e medidas do ambiente

Cliente: mauricio Cientes... Novo cliente...
 Número do relatório: 1 Data: 28/8/2004

Características e medidas do ambiente

Ambiente:
 Tipo:
 Número de pessoas:

Medidas e áreas

Cálculo: Automático Manual

Modelo de ambiente... Modelo de teto...

Superfícies do ambiente

Piso:
 Parede:
 Teto:
 Pessoas:

Detalhes

	Superfície	x (m)	y (m)
Piso:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Parede:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Teto:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Calcular | Cancelar

Resultados: Tempos de reverberação

illbruck

Número: 1
 Ambiente: sala

Soluções

1ª	Usar	Área(m²)	Produto
Teto	Não		
Parede	Não		

	Usar	Quant.	Produto
Baffles	Não		

2ª

Teto	Não		
Parede	Não		
Baffles	Não		

Resultados

Tempo de reverberação ótimo: 0,64 segundos

	Tempos de reverberação para as freq. (seg.)						Redução do ruído	
	125	250	500	1000	2000	4000	dBA	Percepção (%)
Atual	8,39	7,58	6,91	6,35	4,69	3,63		
Solução 1								
Solução 2								

Tempos de reverberação (seg)

Percepção: % % % %

Frequência: 500

Observação... Espectro...
 Ambiente... Imprimir...
 Html... Fechar

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1942 - Óptica e Ondas
Moretto, Vasco Pedro
2ª Edição - Editora Ática S.A.
- 1944 - *An Reverberation time study*, Utah EYRING, C.F Brigham Young University
- 1956 - Attenuators Equalizers and Filters
Tremaine, Howard M., Teffeu, George W.
First Edition - Howard W. Sams & Co., Inc, Indianapolis - Indiana - USA
- 1964 - SABINE, W. C. *Collected papers on acoustics*, Harvard University Press, 1934. Dover reprint.
- 1969 - Aulas de Física 2 - Ondas
Toledo, Paulo A., Ferraro, Nicolau G., Ivan, José C. Santos
5ª Edição - Atual Editora Ltda.
- 1969 - Física VII - Óptica e Acústica
Rozenberg, I.M; Gevetz, Max
7ª Edição - Livraria Nobel S.A.
- 1975 - FITZROY, D., *New approach for RT_{60} calculation*, American Acoustic Association
- 1983 - PIERCE, J. R., *The science of musical sound*, New York: Scientific American Books.
- 1987 - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
NBR - 10152 - (NB-95). *Níveis de Ruído para Conforto Acústico*.
- 1990 - Great Sound Stereo Speaker Manual
Weems, David B.
Second Edition - TAB Books
- 1991 - The Loudspeaker Design Cookbook
Dickason, Vance
Fourth Edition - Audio Amateur Publication - Peterborough - NH - USA
- 1992 - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
NBR - 12179 - (NB-101). *Norma para Tratamento Acústico em Recintos Fechados*.
- 1998 - Audiology: the Fundamentals
Bess, Fred H., Humes, Larry E.
2ª Edição - Williams & Wilkins,
- 2000 - Manual de Caixas Acústicas e Alto Falantes
Vassalo, Francisco Ruiz
1ª Edição - Hemus Editora Ltda.

2000 - Som Automotivo – Métodos e Técnicas de Projetos e Instalações
Almeida, Marcello L. de
1ª Edição – H.Sheldon Serviços de Marketing

2001 - Áudio Engenharia e Sistemas
Cysne, Luiz Fernando O.
4ª Edição – H.Sheldon Serviços de Marketing

2002 - Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar
Silva, Péricles
4ª Edição – Edtal Editora Técnica Ltda

VALLE, Sólon do. Acústica: isolamento ou tratamento?
Revista Áudio, Música e Tecnologia. Ano VIII · n. 65