



Manoel José Oliveira da Cruz

**Avaliação do Isolamento Acústico em um
Templo Religioso na Cidade de Santarém
– PA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Mestrado Profissional em Processos Construtivos
e Saneamento Urbano

Dissertação orientada pelo Professor DÊNIO RAMAM CARVALHO
DE OLIVEIRA



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E SANEAMENTO URBANO**

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM UM TEMPLO RELIGIOSO NA
CIDADE DE SANTARÉM - PA.**

MANOEL JOSE OLIVEIRA DA CRUZ

Belém – PA
2014



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E SANEAMENTO URBANO**

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM UM TEMPLO RELIGIOSO NA
CIDADE DE SANTARÉM - PA.**

MANOEL JOSE OLIVEIRA DA CRUZ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. DÊNIO RAMAM CARVALHO DE OLIVEIRA

Belém – PA
2014

AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM UM TEMPLO RELIGIOSO NA CIDADE DE SANTARÉM PA.

MANOEL JOSE OLIVEIRA DA CRUZ

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, Área de Concentração Estruturas, Construção Civil e Materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Aprovada em 08 de Agosto de 2014

Prof. Dr. DÊNIO RAMAM CARVALHO DE OLIVEIRA

(Coordenador do PPCS)

Prof. Dr. DÊNIO RAMAM CARVALHO DE OLIVEIRA
Orientador – UFPA

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. DÊNIO RAMAM CARVALHO DE OLIVEIRA
Orientador – UFPA

Prof. Dr. ALEXANDRE LUIZ AMARANTE MESQUITA
Examinador Externo – UFPA

Prof. Dr. BERNARDO BORGES POMPEU NETO
Examinador Interno – UFPA

“A Deus pela capacidade de renovação e de aprender com os erros...”.

Dedico este trabalho aos meus pais Ubiramar e Zuila Cruz que sempre acreditaram na minha capacidade profissional, principalmente como professor, às minhas irmãs Ana Paula e Francine Cruz, que mesmo longe torcem por mim.

Aos meus filhos Patrick e Laila Cruz que são minhas inspirações constantes.

À minha parceira, amiga namorada, incentivadora e colaboradora Fernanda Gisele Feitosa Oliveira, incansável em me apoiar.

Ao meu cunhado Frederick Maciel que se tornou um irmão ao longo desses anos.

Ao meu irmão, *in memoriam*, Leonilson Freitas da Silva, o “Baga”, que sempre faltará em qualquer evento em família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Engenheiro Civil Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira, coordenador do PPCS pelo tempo disponível dedicado e apoio.

Agradeço ao Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto, ao Prof. Dr. Alexandre Mesquita, ao Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo e ao Prof. Msc. Maurício de Pina Ferreira.

Agradeço também a toda equipe de professores deste mestrado que nortearam os possíveis tópicos para a escolha individual de cada mestrando.

Agradeço a equipe pastoral da Igreja da Paz Central por contribui com informações necessárias para a realização do meu estudo de caso.

Também agradeço a equipe de apoio da IFPA-Santarém que forneceu o espaço físico para as aulas durante o curso.

RESUMO

CRUZ, M.J.O. **AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM UM TEMPLO RELIGIOSO NA CIDADE DE SANTARÉM PA.** 2014 p. 60 Dissertação (Mestrado) – Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

O isolamento acústico de teatros, templos religiosos, auditórios e casas de shows são de fundamental importância, no âmbito social, para que o funcionamento destes locais esteja de acordo com as técnicas aplicadas na engenharia civil e com o código de postura da cidade em questão. As situações decorrentes de uma deficiência do material empregado no isolamento acústico associada a projetos arquitetônicos mal elaborados podem acarretar um comprometimento da finalidade de um empreendimento ou estabelecimento; bem como causar seu embargo e fechamento. Este trabalho apresenta os resultados de medições de nível de pressão sonora em um templo religioso para viabilizar uma avaliação qualitativa do isolamento acústico de acordo com as normas técnicas nacionais e o Código de Postura do Município que devem funcionar “sem vazamentos sonoros” o ambiente e a sociedade. Os níveis sonoros obtidos nos pontos periféricos foram à contento, dentro das normas técnicas exigidas com uma variação de resultados mostrando uma eficiência de revestimento dentro de padrões de baixo custo e confortáveis ao ouvido humano.

Palavras-Chave: Isolamento acústico, ruído, normas.

ABSTRACT

CRUZ, M.J.O **EVALUATION OF SOUND INSULATION IN A RELIGIOUS TEMPLE IN THE CITY OF SANTARÉM-PARÁ** 2014 p. 60 Dissertation (Master's Degree) - Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

The soundproofing of theaters, houses of worship, auditoriums and concert halls are of fundamental importance in the social context, so that the operation of these sites is in accordance with the techniques applied in civil engineering and code posture of the city concerned. The situations that arise with the inefficiency of the material used in associated with poorly designed architectural projects sound insulation can cause an impairment of the purpose of an enterprise or establishment; and cause its embargo and closing. This paper presents the results of measurements of sound pressure level in a religious temple to enable a qualitative assessment of sound insulation in accordance with national technical standards and the Code of the City of posture that should work "without sound leaks" the environment and the society. Sound levels were obtained in peripheral points to satisfaction, within the technical standards required with a range of results showing a plating efficiency according to the Brazilian standard, low cost and comfortable to the human ear.

Key-words: Soundproofing, noise, standards.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	01
1.2. JUSTIFICATIVA	02
1.3. OBJETIVOS	03
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	04
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	06
2.1 INTRODUÇÃO	06
2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	07
2.2.1 Acústica	07
2.2.2 Decibel	09
2.2.3 Análise do Espectro Sonoro	15
2.2.4 Som	17
2.2.5 Onda Sonora	18
2.2.6 Propagação Sonora	19
2.2.7 Frequência Sonora	20
2.2.8. Escala de ponderação sonora	21
2.2.9 Absorção sonora	22
2.2.10 Isolação sonora	24
3. O RUÍDO E SEUS EFEITOS NEGATIVOS NA COMUNIDADE	26
3.1 Ruído	26
3.2. Efeitos do Ruído	26
4. ASPECTOS FUNDAMENTAIS PARA A QUALIDADE SONORA EM AMBIENTES FECHADOS	29
4.1. Tempo de Reverberação	29
4.2. Tempo Ótimo de Reverberação	30
4.3. Inteligibilidade da Fala	31
4.4. Difração Sonora	32
4.5. Refração Sonora	33
4.6. Transmissão e Isolamento Sonoro	35
4.7. Sonorização	39

4.8. Forma Geométrica das Superfícies	40
4.9. Materiais utilizados na construção civil.....	41
4.9.1 Principais materiais	42
4.9.2 Materiais convencionais	42
4.9.3 Materiais não convencionais	42
4.9.4 Lã de vidro.....	43
4.9.5 Lã de rocha	43
4.9.6 Vermiculita.....	44
4.9.7 Espuma elastomérica	44
4.9.8 Fibra de coco.....	44
5. TRATAMENTO ACÚSTICO	46
5.1. Tratamento acústico e as leis municipais	46
5.2. Estudo do isolamento acústico	52
5.3 Acréscimos no custo da alvenaria com o isolamento acústico.....	55
6. MÉTODOS E PESQUISA	56
7. RESULTADO E DISCUSSÕES	63
8. CONCLUSÃO	71
8.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE.....	78
NORMAS, LEGISLAÇÃO E CÓDIGO DE POSTURA DO MUNICÍPIO.....	77
1. NORMAS BRASILEIRAS ABNT	77
1.1. NBR 10151	77
1.2. NBR 10152.....	78
1.4 NBR 12179.....	79
1.5. Norma Internacional – Organização Mundial da Saúde (OMS).....	79
2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	79
2.1. Resolução CONAMA nº 6.938/81.....	80
2.2. Resolução CONAMA nº 001, de 08.03.1990.....	80
2.3. Resolução CONAMA nº 002, de 08.03.1990.....	80
2.4. Código de Obras do Município de Santarém.....	80
2.5. Código de Postura do Município de Santarém	81

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Pressões sonoras e níveis de pressão para sons cotidianos</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 2 – Atenuação de sons para vários materiais.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 3 – Escala de Ponderação Sonora.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 4 – Materiais comuns utilizados na isolação sonora.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 5 – Reação da comunidade em relação ao nível de pressão sonora permitida.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 6 – Nível de tolerância auditiva.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 7 – Valores da perda de transmissão para sons aéreos de partições diversas</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 8 – Classe de transmissão de materiais construtivos mais comuns.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 9 – Nível de critério para avaliação (NCA) para ambientes externos em dB(A)</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 10 – Valores dB(A) e NCA.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 11 – Níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 12 – Preços dos materiais usados no isolamento das paredes limites atrás do púlpito.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 13 – Superfícies encontradas na Igreja da Paz</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 14 Comparativo da intensidade sonora pós tratamento acústico</i>	<i>70</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Acústica aplicada ao controle do ruído.....</i>	<i>08</i>
<i>Figura 2 - Forma de onda de ruído.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3 - Propagação do som e respectiva função gráfica</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4 – Representação da Onda Sonora referente ao som agudo.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5 – Representação da onda sonora referente ao som grave</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6– Representação gráfica de reprodução de frequência.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7 - Perda de audição por ruído de impacto</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8 – Tempo ótimo de reverberação</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9 – Difração em uma aresta</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10 – Difração em um orifício</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11 – Análise de Frequência.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 12 – Intervalo de frequência dos instrumentos.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 13 – Transmissão de Energia Sonora</i>	<i>53</i>
<i>Figura 14 – Representação da área interna do templo</i>	<i>56</i>
<i>Figura 15 – Medição da parede externa.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 16 – Revestimento em alvenaria.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17 – Revestimento do carpete</i>	<i>59</i>
<i>Figura 18 – Foto ilustrativa do teto</i>	<i>59</i>
<i>Figura 19 – Foto ilustrativa do teto</i>	<i>60</i>
<i>Figuras 20 – Mapa de localização do templo</i>	<i>61</i>
<i>Figura 21 – Área externa do templo</i>	<i>61</i>
<i>Figura 22 – Medidor de pressão sonora utilizado no estudo.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 23 – Marca e modelo do decibelímetro utilizado no estudo</i>	<i>62</i>
<i>Figura 24 – Planta baixa do templo.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 25 – Medidor de pressão sonora.....</i>	<i>79</i>

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMN – Associação Mercosul de Normas Técnicas

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

IEC – International Electrotechnical Commission

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

ISO – International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

SEMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

Db – Decibel

Hz – HERTZ

cm – Centímetro

mm – Milímetro

Pa – Pascal

PT – Perda de Transmissão Sonora

STC – Classe de Transmissão Sonora

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Seguindo um raciocínio mundial de sustentabilidade para que o convívio social urbano esteja dentro dos padrões de intensidades sonoras acusticamente perfeitas, como determina a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Código de Obras, o de Posturas do Município e o Código Ambiental do município de Santarém no estado do Pará, procura-se mostrar alguns recursos para isolamento acústico eficiente e que não comprometa à uma execução complexa corroborando para um conteúdo de convívio tranquilo entre vizinhos. Enquanto as pesquisas no primeiro mundo se estabelecem com ordem, em alguns países do terceiro mundo essa política ainda não acontece, mas, uma adaptação com elementos mais simples podem ter uma saudável consequência na engenharia acústica deixando ambientes isolados com o mínimo de vazamentos de som ou ruído. O que se propõe nesse trabalho é um cuidado maior na execução e escolha de materiais comuns, adaptáveis e de sustentabilidade eficiente para que se tenha na acústica um item intrínseco ao cotidiano de projetos que trabalhem com produção sonora considerável de qualquer espécie.

O grande passo inicial é um planejamento comparativo criando estratégias para uma redução dos contribuintes diretamente responsáveis pela poluição sonora em ambientes com aspectos parecidos com igrejas e templos. Na Igreja da Central, localizada em bairro misto em Santarém Pará foi feito um estudo a fim de solucionar excessos sonoros para fora da estrutura física do templo e que poderiam causar transtornos aos vizinhos por ser área urbana residencial. A identificação dos ruídos foi mensurada em torno da edificação durante a realização dos encontros religiosos e, outro estudo no interior foi feito de modo estudar o comportamento acústico interno do templo. Estas medidas foram tomadas visando a obtenção de subsídios para o tratamento acústico adequado a fim de sanar a poluição sonora verificada. Os dados coletados abrangiam desde medições sonoras no decibelímetro, dimensões da edificação, tipos de acabamentos nas superfícies e escolha de pontos críticos de captação de som. O objetivo deste trabalho foi verificar que os vazamentos sonoros foram realmente reduzidos.

Com o intuito de provar essa viabilidade de cuidados de revestimento para um isolamento acústico à contento, escolheu-se o referido templo grande porte avizinado de residências num bairro central de Santarém-PA, pois, o mesmo, depois do tratamento mencionado, não possui registros de reclamações na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA). Esse tipo de edificação é alvo nas grandes cidades de contínuas reclamações de vizinhos e populares que transitam em seu espaço comum; sendo que, a engenharia civil corroborando com uma arquitetura interna e externa possuem um contínuo trabalho de conforto acústico como missão objetiva, a fim de se enquadrar em um contexto social a contento para todos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A acústica de ambientes é deveras importante à sua funcionalidade de acordo com normas de tratamento e isolamento acústico. Sendo que, a acústica, possui, segundo várias pesquisas e trabalhos, uma relação com a qualidade de vida da população dos grandes centros muito importante relativo ao sossego metas de pessoas. O “ruído” que tira sono e paz de alguns, pode não ter essa conotação para outros. Essa subjetividade de definição de ruídos foi explorada por Bistafa (2006), onde é colocada como pessoal.

As fontes sonoras possuem uma relação de incômodo com público vizinho ou público não alvo, que sempre estão sujeitos a esta exposição. Com a evolução de políticas de convivência para cidades e condomínios normas e leis foram criadas para coibir e regulamentar atos de exagero em qualquer som relativo a horários, locais e intensidades sonoras.

Moscatti (2013) menciona dificuldades de regularização e punição de instituição como igrejas devido a um a espécie de “lobby” social, que funcionaria como tabu nas cidades como um todo.

O número de reclamações registradas em Santarém por órgãos de plantão, como polícia, bombeiros e algumas secretarias que tem viaturas para atender a esse tipo

de ocorrência, são consideráveis e diz respeito a comércios que possuem amplificação sonora de propagandas em horário comercial, a bares que possuem sistema de música mecânica ou ao vivo e de templos, onde são realizados encontros religiosos com potência sonora considerável. Estudos são necessários para uma organização social de limite e qualidade auditiva, ou seja, um “sem perturbação” geral urbano.

Araújo (2005) enfoca o trabalho e competência de órgãos como prefeituras para a fiscalização segundo normas do INMETRO-Brasil para um controle com infraestrutura de equipamentos e assim uma qualidade de serviços de medição de ruídos, isto é o que daria apoio técnico para uma credibilidade do serviço de controle.

Um investimento sempre tem foco em algo depois; a vantagem de se investir em tratamento e/ou isolamento acústico deve ser incluída de maneira cultural à tudo que se for construir que produza algum tipo de som em áreas urbanas. Assim como a arquitetura de ambientes residenciais tem como finalidade a acessibilidade e aproveitamento de espaços dentro do Código de Obras, o foco da construção e projeto para templos, igrejas, teatros e casas de show em geral deve ter prioridade nos cuidados de conforto termo acústicos amplamente estudados hoje. O que se tem em comum em relação a investimentos em acabamentos de modo geral, é que, se existe algum setor da execução de serviços construtivos que se pode economizar, seriam os revestimentos ou acabamentos gerais.

1.3 OBJETIVO

Tem-se como objetivo deste trabalho o estudo do isolamento acústico de um templo planejado em projeto e executado com os cuidados técnicos necessários, usando materiais de revestimentos comuns no mercado da construção civil para viabilidade econômica do mesmo.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.

A presente dissertação está organizada em 8 capítulos, referências bibliográficas e apêndice.

Capítulo - Introdução

Capítulo 2 – Conceitos e Definições

Este capítulo tende a apresentar alguns conceitos para melhor entendimento e compreensão dos principais termos que serão abordados neste trabalho.

Capítulo 3 – O ruído e seus efeitos negativos na sociedade

Este capítulo procura evidenciar os problemas mais comuns na saúde humana ocasionada pelos efeitos do ruído.

Capítulo 4 – Tratamento Acústico.

Este capítulo especifica a importância de um tratamento acústico adequado, o conhecimento de alguns materiais que podem ser utilizados no tratamento e os preços que podem ser encontrados dentro do mercado local.

Capítulo 5- Estudo de Caso, Materiais e Métodos.

Apresenta o levantamento da igreja escolhida para estudo de caso, constando materiais, áreas de superfícies e características do espaço construído; apresenta também, os equipamentos utilizados durante a pesquisa: o levantamento das condições ambientais externas da igreja para o estudo de caso, constando a medição do ruído e a correlação dos dados da pesquisa bibliográfica e os dados utilizados na pesquisa do estudo de caso.

Capítulo 6 - Resultado e Discussões.

Apresenta e analisa os resultados das medições e como é possível se fazer um tratamento ou isolamento acústico eficiente e de baixo custo.

Capítulo 7 – Conclusão

Depois de realizado o estudo de caso, presta-se nesse capítulo a conclusão do trabalho.

Referências Bibliográficas e Apêndice.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO

A reação dos seres humanos ao som pode ser negativa e ter uma conotação de ruído, segundo Bistafa (2006), de acordo com a subjetividade desta classificação de em qual tipo a emissão sonora se encaixa o som emitido: agradável ou ruído. O autor afirma existir uma dificuldade de avaliar quantitativamente o incômodo do ruído, que funcionaria de acordo com a noção de audibilidade e aceitação do ouvinte e também do potencial intrusivo.

O conteúdo dos níveis sonoros, a complexidade do espectro, a duração, a amplitude, a frequência e o tempo de subida de sons impulsivos também seriam de importância considerável para essa classificação do som. A sensibilidade auditiva a reflexões sonoras remete a habilidade humana de reconhecer os sons gerados na natureza, que foi desenvolvida ao longo da evolução humana e que essa capacidade implica em também ignorar o efeito do ambiente para perceber o som original sendo isso uma audição seletiva que funciona como filtro para ruídos de qualquer espécie. Bistafa (2006), afirma que, quando o ser humano é o produtor do som, tem-se um ajuste na produção sonora que seria dependente das características acústicas do ambiente e que, para uma audibilidade de sons impulsivos, os sons puros têm a mesma curva auditiva de um ruído ou ruídos e que, numa sala destinada à palavra falada, tem-se o som das vogais tendendo mascarar o som das consoantes, trazendo perda da inteligibilidade em frases. Para fundamentação de instrumentos de medições acústicas, o autor indica um sensor de pressão sonora eletroacústico, o microfone, que transforma a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente ligado a um sonômetro, conhecido como decibelímetro. A regulamentação de níveis toleráveis é exigida pelo Código de Obras e Código de Posturas do município, que norteia as ações da fiscalização deixando clara a necessidade deste controle para convívio urbano.

Como descrito por Eniz e Garavelli (2006), o ruído urbano esta cada vez mais presente no dia a dia das pessoas, em residências, locais de trabalho, ambientes de lazer, hospitais e escolas, podendo, e muito, prejudicar as relações sociais, a

comunicação, o comportamento; até o rendimento escolar e/ou a saúde de moradores de grandes centros. Os considerados ruídos intensos, acima de 90 dB, dificultam a audição em uma conversa de nível normal; algo em torno de 40 dB. Pessoas precisam falar mais alto e prestar mais atenção para entender e serem ouvidas com clareza. Com isso, a tensão psicológica e o nível de atenção são prejudicados. Os ruídos intensos tendem a prejudicar tarefas que exigem concentração mental e algumas tarefas que exigem atenção ou velocidade e principalmente precisão de movimentos e tudo piora após duas horas de exposição ao ruído, como definido por Lida (1990).

2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.2.1 Acústica

A acústica de um ambiente fica com uma definição geral de como um som se comporta no interior dele; de como reverbera, da maneira como ele reflete em suas superfícies e o quanto é absorvido por elas. Um conjunto de questões pode ser levantado para a eficiência da “acústica” de um determinado espaço ou instrumento. Alguns podem ter melhor som com bastante reverberação outros com nenhuma. O tratamento acústico deve ser direcionado ao objetivo da acústica pretendida; o que não pode ser confundido com isolamento acústico que, deve impedir a passagem de som de um ambiente para outro. Salas para gravações e teatros não devem ter interferências externas e nem internas, ou seja; a definição da qualidade da acústica é subjetiva, assim como o conceito de ruído.

Moscatti (2013) fez um trabalho de dissertação de mestrado que aborda a acústica de igrejas e um “lobby” que dificulta a cobrança de multas de algumas instituições no Brasil, no trabalho “Desempenho acústico de Templos e Igrejas; Subsídios à normalização”. Isto coloca a arquitetura com principal fonte de necessidade para satisfação normativa de um sistema social acusticamente correto e Araújo (2005) do laboratório de ensaios acústicos do INMETRO-Brasil deu a seguinte definição para ruído de vizinhança:

Este é tipicamente um problema a ser fiscalizado pelas prefeituras e suas secretarias municipais do meio ambiente. Na verdade, não são todas as aproximadamente 5.000 cidades do país que dispõem de pessoal qualificado e equipamentos para medições para realizar a fiscalização e controle dos níveis de ruído gerados por atividades de vizinhança em áreas habitadas.

Nas grandes cidades já existem várias prefeituras com infraestrutura para realizar esse tipo de serviço. A maior parte das reclamações é originária de bares e restaurantes abertos, principalmente aqueles com música ao vivo, de atividades de templos religiosos, dentre os quais se destaca a Igreja Universal do Reino de Deus e em escala menor, mas não menos importante, as escolas de samba. O ruído gerado pelo morador vizinho também apresenta uma ocorrência significativa, embora não seja comparável as fontes poluidoras acima.

Para compreensão geral de acústica deve-se entender a definição da unidade de intensidade sonora ou volume. Tem-se na difusão ou reflexão difusa, uma reflexão numa superfície irregular, tendo a direção da dispersão das ondas refletidas independente do ângulo de incidência. Em salas de concerto o resultado sonoro é melhor quando as primeiras reflexões soam com “textura aveludada” e o som reverbera e parece surgir de todas as direções. Essas características são de uma boa difusão sonora e isso caracteriza a necessidade de difusores no tratamento acústico é descrito por Bistafa (2006), como mostra a figura 1:

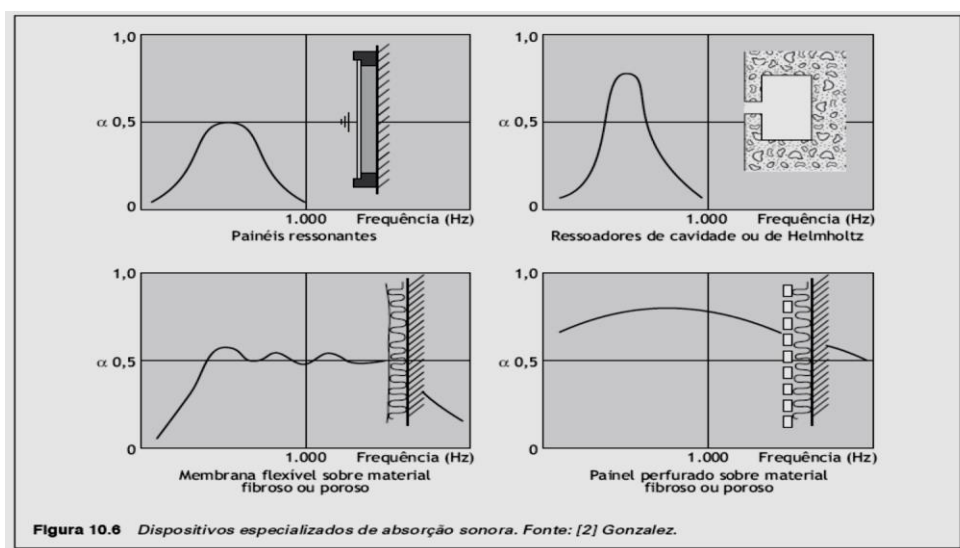


Figura 1 Acústica aplicada ao controle do ruído (Bistafa, 2011)

2.2.3 Decibel

O decibel, (dB) é usado como unidade de intensidade sonora auditiva; referência tirada de Gonçalves (1989). Fernandes (2002) diz que é a unidade de medida da razão entre dois quantitativos, utilizado para uma variedade de medições em acústica, física e eletrônica e é uma medida adimensional, similar a porcentagem. Esse nome foi dado em homenagem a Graham Bell, o inventor do telefone. O valor em decibel é resultado de uma relação matemática logarítmica, especial entre a intensidade física do som estudado e o limite de audibilidade física mais baixa para o ser humano. O decibel é a unidade usada para medir a intensidade de um som, ou no popular o “volume”. O ouvido humano pode ouvir uma gama de sons, desde a ponta de um dedo passando levemente sobre a pele, até um estrondo de potentes explosões. Tem-se, em potência, o som do motor a jato cerca de um trilhão de vezes mais potente do que o menor som audível e que, pelo tempo de exposição vem a causar sérios danos auditivos perenes.

A escala decibel trabalha com o menor som audível (quase que silêncio total) considerado zero dB. É importante saber que a intensidade auditiva não é proporcional a intensidade física. É necessário que a intensidade física se torne dez vezes maior para que a intensidade auditiva dobre, um som 100 vezes mais forte do (que o silêncio total) tem 20 dB e um som mil vezes mais forte do (que o silêncio total) tem 30 dB. Isso é possível porque a escala decibel é logarítmica. O ouvido do ser humano não consegue um registro “diretamente” de diferença de intensidade entre dois sons, mas sim, a relação entre as diferença. Sendo que, uma mesma diferença de pressão sonora é muito mais relevante entre dois sons de baixa intensidade do que entre sons de alta intensidade. Como essa escala é logarítmica, então as diferenças de pressões entre sons de alta intensidade e sons de baixa intensidade tem sensações para o ouvido humano de valores diferentes. De 0,02 Pa para 0,002 Pa, tem-se que a diferença é de 0,018 Pa de sensibilidade auditiva para seres humanos. Para a mesma diferença desta sensação auditiva, um som com “volume” de 2,0 Pa é necessário que o segundo tenha 3,8 Pa de intensidade sonora. Por causa desta característica da audição humana, as medições dos níveis de pressão sonora são feitas utilizando o decibel que relaciona um determinado nível

de pressão sonora com o outro; isto torna essas referências de medidas proporcionais e confiáveis. Ernest Heinrich Weler pela Equação 01

$$ds = k \cdot \frac{dE}{E}$$

Onde:

ds = Diferencial de sensação física.

dE = Diferencial de Estímulo Físico.

E = Estímulo Físico

K = Constante de matemática.

Baseando-se na variação de potência sonora, dada pela Equação 02:

$$\int ds = \int k \frac{dE}{E}$$

$$S = \int k \frac{dE}{E}$$

$$S = k \cdot \log E + C$$

Quando $S = 0$ (Ausência de sensação) dada pela Equação 03:

$$0 = k \cdot \log E_0 + C$$

$$C = -k \cdot \log E_0,$$

onde E_0 = Estímulo físico mínimo.

$$S = k \cdot \log E + (-k \cdot \log E_0) = k \cdot \log E - k \cdot \log E_0$$

$$S = k \cdot (\log E - \log E_0)$$

$$S = k \cdot \log \frac{E}{E_0}$$

Observação: $\int \frac{dE}{E} = \log E \therefore \log E = x \therefore E = 10^x$

Nessa equação de sensação (S), tem-se para vários estímulos físicos como variações de peso, luminosidade e sensação sonora. As descobertas de Weler (1795-1878) foram estudadas e popularizadas por Gustav Theodor Fechner (1801-

1887), daí o nome “Lei de Fechner-Weber” e, em 1920, existia um problema de perda de potência em cabos em telefonia. Para um estudo quantizado foi criada a milha de cabo padrão = Mile of Standard Cable, *MSC*, onde estas medidas de perda eram definidas. Só em 1923 foi criada a *TU = Trasmision Unit*, desenvolvidas pelos engenheiros da Bell *Telephones Laboratories (Bell Labs USA)* para substituir a anterior. Quando em 1924 a *TU* foi renomeada e chamada de “*Bell (B)*”, em homenagem ao criador do telefone, Alexander Graham Bell (1847-1922). Dada pela Equação 04:

$$bel = \log \left(\frac{w}{w_0} \right)$$

Onde:

w = Potência do Sistema

w_0 = Potência Arbitrária de Refração

Estabeleceu-se o zero bel (0B) com $w = w_0$, sendo que o bel é uma unidade relativa que depende da escolha da potencia mínima (w_0). O bel fica sendo uma medida do nível de potência relativa à potência de referência:

$$bel = \log \left(\frac{w}{w_0} \right)$$

$$10^0 = \left(\frac{w}{w_0} \right) \therefore 1 = \frac{w}{w_0} \therefore w_0 = w$$

$$1bel = \log \left(\frac{w}{w_0} \right)$$

$$10^1 = \frac{w}{w_0}$$

$$\mathbf{10. w_0 = w}$$

No ano de 1929, o “decibel” (dB) foi definido; para um conforto numérico, ficando:

$$1B = 10dB \Rightarrow 1dB = 0,1B$$

$$1dB = \log \left(\frac{w}{w_0} \right)$$

$$\frac{1}{10} = \log\left(\frac{w}{w_0}\right)$$

$$10^{\frac{1}{10}} = \frac{w}{w_0} \therefore \sqrt[10]{10} = \frac{w}{w_0}$$

$$1,26 = \frac{w}{w_0}$$

$$\mathbf{1,26 \cdot w_0 = w}$$

$$-1dB = \log\left(\frac{w}{w_0}\right)$$

$$-\frac{1}{10} = \log\left(\frac{w}{w_0}\right)$$

$$10^{-\frac{1}{10}} = \frac{w}{w_0} \therefore \frac{1}{\sqrt[10]{10}} = \frac{w}{w_0}$$

$$0,79 = \frac{w}{w_0}$$

$$\mathbf{0,79 \cdot w_0 = w}$$

Observação: Sendo a perda numa $MSC=1dB$ e é a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo. Esse limiar diferencial foi denominado de *Unidade de Sensação (Sensation Unit)*, que permitiu prescrever a lei de Fechner-Weler: Dada pela Equação 05:

Unidade de Sensação: $10\log\left(\frac{W}{W_0}\right)$,

sendo W = potência sonora e W_0 = potência sonora de referência.

A intensidade Sonora é estudada considerando um fenômeno sonoro como uma esfera pulsante em expansão. A qualquer distancia do centro deve-se considerar o raio R :

$$I_R = \frac{W}{4\pi R} = \frac{P_{Ef}^2}{\rho c} \left(\frac{w}{m^2}\right)$$

Onde:

P_{Ef} = Valor eficaz da pressão sonora á distância R da esfera pulsante de som;

$P_c = 40 \text{ dB ray/s (ar)}$, é uma espécie de resistência do meio à propagação das ondas sonoras. : Equação 06:

$$W \sim P^2$$

$$Lp = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{Ef}^2}{P_c^2}\right)$$

$$Lp = 20 \cdot \log\left(\frac{P_{Ef}}{P_0}\right) \text{ dB}$$

$P_0 = \text{Pressão Sonora de Referência} \Rightarrow P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ou $0,2 \mu\text{Pa}$

$Lp =$ É a medida do nível de pressão sonora que é usada para caracterizar a sensação subjetiva de intensidade. Como o nível de potência sonora de referência dado pela Equação 07:

$$W_0 = 10^{-2} \text{ Watts e como } I \sim W \Rightarrow L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ dB, com } I_0 = 10^{-2} \text{ W/m}^2,$$

Considerando uma onda esférica progressiva, a pressão sonora é igual à pressão sonora de referência ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) e na superfície esférica, tendo como área base de 1 m^2 . Para obter-se a potência sonora de referência (W_0) e a intensidade sonora de referência (I_0) tem-se que partir da Equação (5). Esta equação mostra que a relação entre pressão, potência e intensidade sonora, para ondas esféricas progressivas, é:

$$I_R = \frac{W}{4\pi R} = \frac{P_{Ef}^2}{\rho c}$$

Resolvendo para $W = W_0$ e para $I_R = I_0$, com $P_{eficaz} = p_0 = 20 \mu\text{Pa}$, $4\pi R = 1 \text{ m}^2$, e $\rho c = 408 \text{ rayls (ar à temperatura ambiente)}$, teremos:

$$W_0 = \frac{P_0^2}{\rho c} \cdot (4\pi R) = \frac{P_0^2}{\rho c} \cdot 1 \text{ m}^2 = \frac{(2 \times 10^{-5})^2}{408} \cdot 1 \cong 10^{-12} \text{ W,}$$

$$I_0 = \frac{P_0^2}{\rho c} = \frac{(2 \times 10^{-5})^2}{408} = \frac{10^{-12} \text{ W}}{\text{m}^2}.$$

Os valores de proporcionalidades entre soma de decibéis e de pressão sonora correspondente não tem direta proporção matemática. Isso quer dizer, quando os valores em decibéis se somam, as intensidades de pressão sonora se multiplicam. Como exemplo um acréscimo de 6 dB as pressões sonoras dobram de intensidade e uma subtração de 6 dB será uma diminuição da pressão sonora para a sua metade. Para potências elétricas, temos para cada acréscimo de 3 dB as potências elétricas dobram e para uma subtração de 3 dB, a queda da potência é para a metade. O limiar auditivo humano foi medido para ter-se como numero referencial com um sufixo de “nível de pressão sonora” (*sound pressure level*). Quando se utiliza o decibel para medir pressões sonoras, pegando este limiar de audição como referência (0,00002 Pa) junta-se o sufixo “SPL” à unidade dB (exemplo: 100 dBSPL). No que se refere e quando se refere a potências elétricas a utilização do Watt é a referência padrão (acrescentamos o sufixo “W”, Watts, à unidade dB).

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

Usando-se uma escala logarítmica, segundo Gerges (2000), um valor de divisão adequado a esta escala é \log_{10} (o citado Bel). O nível de pressão sonora, é dado pela Equação 08, onde:

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

NPS = nível de pressão sonora

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

2.2.3 Análise do Espectro Sonoro

Existe uma definição sobre frequências sonoras que se tornou popular e faz uma classificação de som baixo ou alto. O cuidado que se deve ter é que um som alto é o que possui maior frequência sonora, ou vibrações por unidade de tempo; como guitarras e violinos. Essa *quantidade* classificada como altura sonora não é de volume sonoro ou intensidade sonora; um violoncelo é “baixo” ou “grave”, pois, possui uma emissão de notas de menor frequência se comparadas com as de um violino. Para ouvidos humanos podem ser considerados graves os sons de frequência inferior a 200Hz; os médios situam-se entre 200 e 2.000Hz; e os agudos acima de 2.000Hz. Essa divisão não é absoluta, pois, um som não é grave ou agudo, ele pode ser se comparado com outro e, essa escala tem a vantagem de basear-se em números simples.

Alguns sons, que possuem uma única frequência, são tons puros; o que não acontece normalmente ouve-se quase nunca *tons puros*. A combinação de tons puros em diversas frequências produzem os sons do dia-a-dia. Jean Baptist Joseph Fourier (1768-1820) descobriu que qualquer movimento periódico pode ser obtido pela superposição de movimentos elementares senoidais e co-senoidais. Quando aplicada a transformação direta de Fourier a forma de onda de um tom puro ou de um ruído, representado na figura 2, obtêm-se os gráficos dos espectros sonoros usados para analisar suas frequências. Dessa operação matemática pode ser retirada “a transformada inversa de Fourier”, onde é possível se obter a forma de uma onde se tem apenas o seu espectro sonoro.

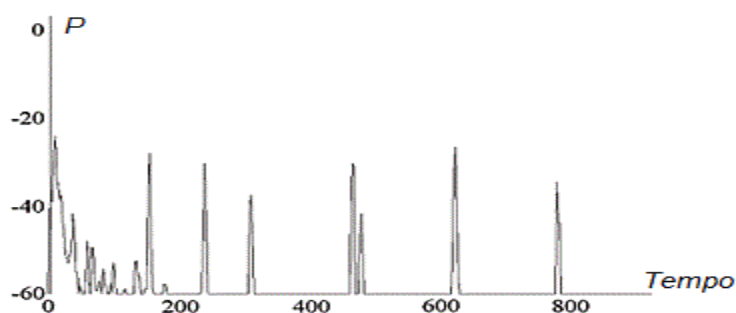


Figura 2 – Forma de onda de ruído (Bistafa, 2006).

A tabela 1 a seguir mostra as pressões sonoras e os níveis de pressão sonora para sons do cotidiano e sensações subjetivas correspondentes de intensidade associadas.

Tabela 1 - Pressões sonoras e níveis de pressão para sons cotidianos. (Bistafa, 2006)

Sensação Subjetiva de Intensidade	Descrição	Pressão Sonora (Pa)	Nível de Pressão Sonora (dB)
Estrondoso	Perigo de ruptura de tímpano: Avião a jato 1 m Fogo de artilharia	200	140
	Limiar da dor Tambor graves a 1 m Avião a jato a 5 m	63	130
Muito barulhento	Limiar do desconforto auditivo Avião à pistão a 3 m Broca pneumática	20	120
	Metrô Próximo a uma bilheteria	6,3	110
	Indústria barulhenta Dentro de um avião	2	100
Barulhento	Banda ou orquestra sinfônica Rua barulhenta	0,63	90
	Dentro de um automóvel em alta velocidade Escritório barulhento Aspirador de pó	0,2	80
Moderado	Rua de barulho médio Pessoa falando de 1 m	0.0063	70
	Escritório de barulho médio Rádio com volume médio	0,02	60
Tranquilo	Restaurante tranquilo Escritório aberto (com tratamento acústico)	0,006	50
	Sala de aula (ideal) Escritório privado (ideal)	0,002	40

Continuação			
Silencioso	Teatro vazio Quarto de dormir	0,006	30
	Movimento de folhagem Estúdio de rádio e TV	0,00002	20
Muito Silencioso	Deserto ou região polar (sem vento) Respiração normal	0,00006	10
	Laboratório de acústica (câmara anecóica) Limiar da audibilidade	0,00002	0

O Espectro sonoro é capaz de fornecer um valor eficaz que representa a pressão sonora referente a cada frequência estudada ou presente num som. Como o tom puro é um som em uma única frequência, esta é confirmada pelo espectro sonoro desse mesmo som. O que acontece com um som comum ou não puro, como a voz humana ou som de instrumentos é que, em sua composição, de várias frequências aparece com uma variação gráfica de irregularidade de amplitude comparada com o desenho de uma onda de tom puro, conforme mostrada na figura (3). Sons chamados de “ruídos” possuem espectros sonoros que cobrem uma ampla faixa de frequência.

Quando em testes com Instrumentos para medição acústica normalmente fornecem o espectro sonoro em bandas ou faixas de frequências. A largura da banda de frequência é um dos parâmetros usados para caracterização. Dependendo da instrumentação utilizada, o espectro de banda estreita pode ser obtido com bandas de largura de um Hertz, ou até menor. Para um espectro de banda larga têm-se bandas de largura bastante variável. O que se tem de mais comum é um espectro de banda larga com variabilidade de oitavas; em que 70% da frequência central, fica como representante da largura de cada banda. Um exemplo simples seria para 100 Hz de frequência central; ter-se-ia uma largura da banda de 70 Hz; e tudo diretamente seguindo essa proporção.

2.2.4 Som

Um som é uma energia vibratória interativa com o meio de propagação. Então, possui um movimento de transmissão de energia mecânica por um condutor elástico até a percepção do aparelho auditivo ou de qualquer sensor ativado por aquela frequência sonora, obedecendo às leis da física.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o som “é toda e qualquer vibração ou onda mecânica em um meio elástico (no ar, água ou em outro meio) dentro da faixa de áudio de frequência” e sabe-se também que depende do nível de pressão sonora (amplitude)

As condições do meio alteram o módulo de sua velocidade de propagação, que varia em torno de 340m/s no ar (à temperatura de mais ou menos 20°C) e na água, que é mais densa de 1500m/s e no aço, como todo sólido possui melhor condução, de 5 000m/s. Como mostra a figura 3:

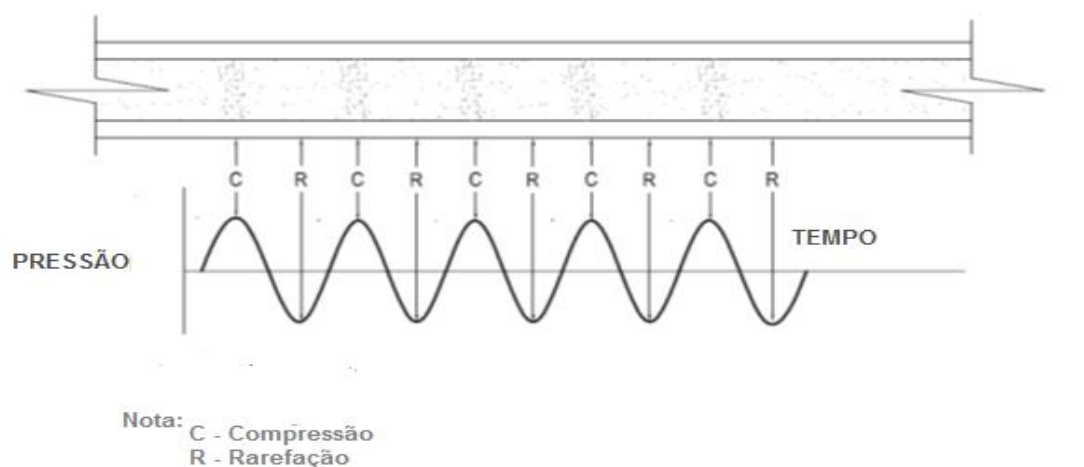


Figura 3 - Propagação do som e respectiva função gráfica

2.2.5 Onda Sonora

Na definição da física, ondas sonoras são perturbações mecânicas que necessitam de um meio material para sua propagação. Muito diferente do que ocorre com as ondas eletromagnéticas como, por exemplo, a luz, as ondas sonoras não podem se propagar na ausência de um meio vibratório. Não se propagam no vácuo. As figuras 4 e 5 a seguir ilustram tal movimento:

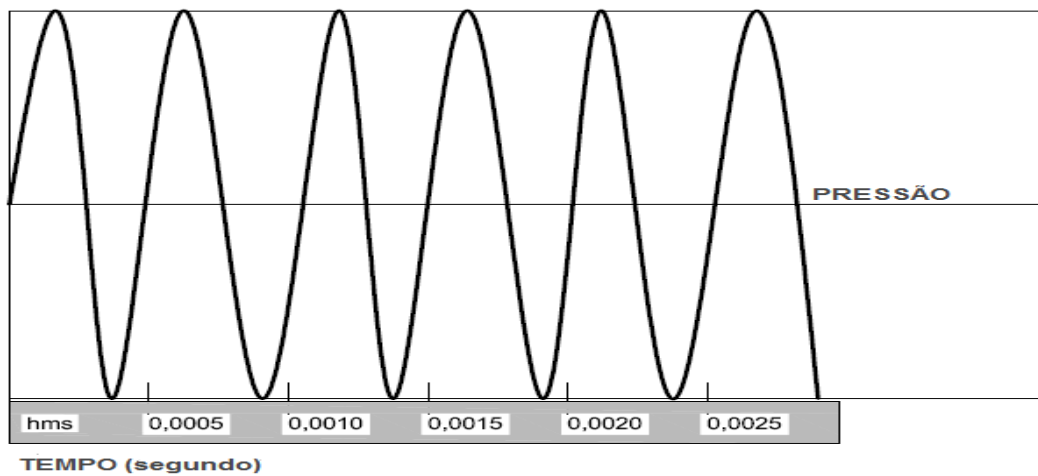


Figura 4 – Representação da onda sonora referente ao som agudo

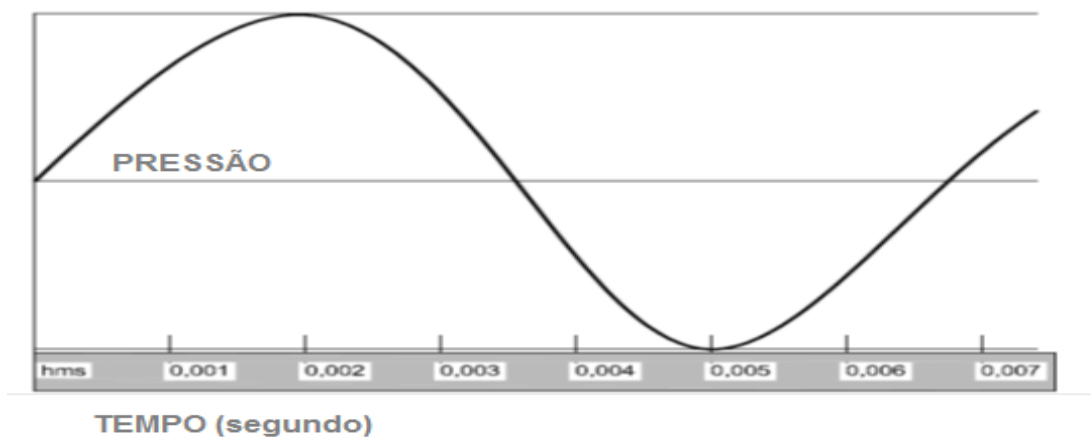


Figura 5 – Representação da onda sonora referente ao som grave

2.2.6 Propagação Sonora

A vibração de partículas trabalha em um conjunto de transmissão de movimentos sequenciais em que a menor parte movimentada o todo por vibração. Na produção de uma onda sonora por vibração de qualquer material, esta empurra as moléculas de ar, que, por conseguinte, empurram outras avizinhas e produzem um efeito em cadeia chamada de compressão ou pressão sonora máxima.

Qualquer elemento quando se contrai, faz uma espécie de sucção puxando as moléculas de ar mais próximas; produzindo uma queda na pressão, afetando ainda mais as partículas de ar. Devido à nova queda de pressão, que é chamada de rarefação, é que se tem a correspondência à pressão mínima da propagação sonora.

O som é nada mais que um comportamento ondulatório de massas de ar que se divide em comprimidas e rarefeitas. Esta alternância provoca a pulsação da onda sonora. No movimento ondulatório, partículas não caminham para fora de sua zona de equilíbrio; o som tem ondas longitudinais, que vibram no mesmo eixo que se deslocam. A tabela 2 apresenta meios diferentes para suas respectivas velocidades:

Tabela 2 – Atenuação de sons para vários materiais. (Carvalho, 1967)

Meio	Velocidade (m/s)
Ar Seco (PTN) Ar 25°C latm	331 a 340
Hidrogênio	1270
Dióxido de Carbono	258
Hélio	972
Água (8°C)	1493
Água Salgada	1533
Glicerol	1904
Mercúrio	1450
Cobre	5010
Vidro	5060
Aço	5960
Granito	6000
Ferro	3170
Alvenaria	3000
Madeira	1000 a 4000
Cortiça	500
Borracha	100

2.2.7 Frequência Sonora

É o número de oscilações que uma onda realiza em um meio, em um ponto determinado, durante um determinado intervalo de tempo. A frequência no Sistema Internacional de Unidades é medida em **Hertz**, que é a representação de

r.p.s.(Rotações por segundo). Outra Unidade de medida muito usada é o r.p.m. que corresponde ao número de oscilações por minuto.

As definições classificatórias de “grave”, “médio” e “agudo” diz respeito as frequências sonoras em um comparativo vibratório entre elas, como mostra a figura 6:

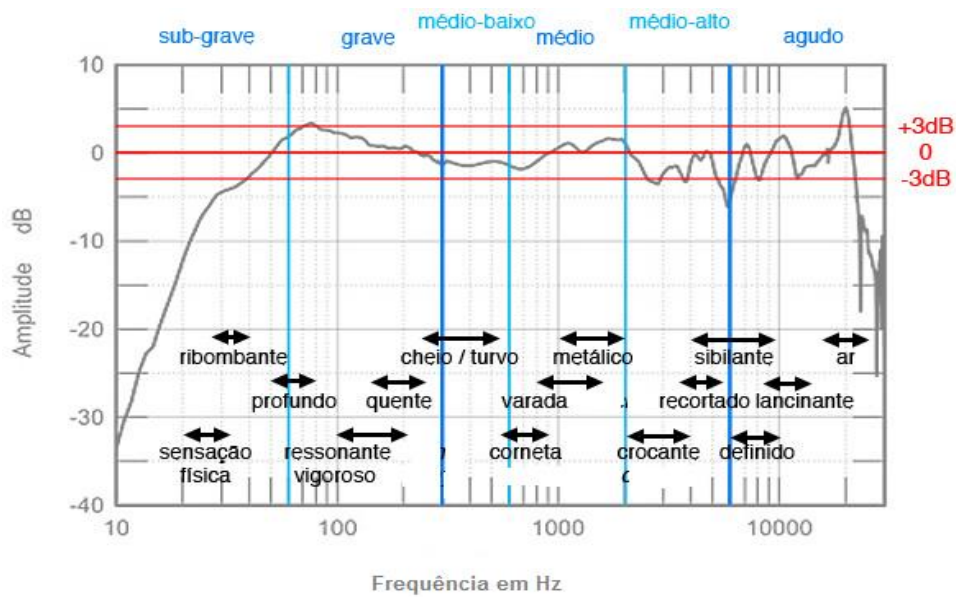


Figura 6 – Representação gráfica da reprodução de cada frequência (www.audionalogicodeportugal/ricardoonga-ku, acesso junho/14)

2.2.8. Escala de Ponderação Sonora

Ao medir a intensidade do som, frequentemente é utilizado um instrumento que emula a sensibilidade variável do ouvido humano a sons com composições tonais diferentes. Esse é denominado nível sonoro ponderado A e a unidade denomina-se dB(A), representado na tabela 3.

Tabela 3 – Escala de Ponderação (Acústica – Som Ao Vivo)

Frequência (Hz)	Ponderação da Escala a
	Resposta Interativa dB(A)
10	-70,4
12,5	-63,4
16	-56,7
20	-50,5
25	-44,5
31,5	-39,4
40	-34,6
50	-30,2
63	-26,2
80	-22,5
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	0
1250	0,6
1600	1,0
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1,0
5000	0,5
6300	-0,1
8000	-1,1
10000	-2,5
12500	-4,3
16000	-6,6
10000	-9,3

2.2.9. Absorção Sonora

É como se chama o fenômeno que diminui a reflexão de ondas sonoras em um mesmo ambiente. Tem como consequência a diminuição, em um ambiente limitado, de uma variação do eco; ou seja, do nível de reverberação. Isso produz uma redução dos Níveis de pressão Sonora do recinto e faz os sons terem melhor inteligibilidade. Os materiais mais eficientes para redução de eco são leves, ou de baixa densidade, fibrosos ou de poros abertos, como espumas de poliéster, fibras

cerâmicas e de vidro, tecidos, carpetes, tapetes, materiais tidos como “de células abertas”.

Com objetivos distintos, pra isolamento ou absorção sonora, os materiais existentes no mercado ou isolam ou absorvem ondas sonoras, sendo o que se deve pesquisar e/ou mensurar seria a eficácia destas capacidades. A absorção sonora funciona inversamente ao isolamento; o material que possui grande poder de isolamento acústico não tem boa absorção acústica. O contrário também é verdadeiro. Mas, existem alguns outros materiais que têm baixo poder de isolamento acústico e também baixa absorção acústica. Por exemplo, os plásticos leves e com características impermeáveis; isto ocorre porque são de baixa densidade e não tem poros abertos. Espumas em geral têm excelentes características de isolamento térmico, como as de poliestireno expandido, mas, não são boas em revestimento acústico. Alguns produtos eram muito usados á cerca de vinte anos atrás, como a cortiça que, hoje não satisfaz com resultados acústicos esperados ou necessários em estúdios ou templos etc. A cortiça ainda possui problemas de deterioração e dificuldade de limpeza.

Para atender a um mercado mais exigente houve a necessidade de pesquisa e composição de materiais com coeficientes de isolamento acústico e/ou de absorção muito mais eficientes. A composição e coadunação de materiais fizeram os resultados direcionados bastante satisfatórios para as necessidades do usuário.

Conforme a utilização de cada ambiente tem-se necessidades e critérios para Níveis de Pressão Sonora e de eco, reverberação, que vão produzir um conforto acústico, sem deixar condições de incomodo auditivas consideradas nocivas à saúde. Um recinto monótono e cansativo pode provir de uma pressão sonora diminuta que tem como consequência um relaxamento excessivo e indução à sonolência e inatividade tediosa. Em casa de shows, como teatro, auditório, templo religioso existe uma necessidade específica, em relação ao seu uso, onde o som seja absorvido com eficiência e mais rapidamente, para que os sons produzidos em seguida não sofram interferências das reverberações, deixando a desejar na “transparência” ou inteligibilidade. O que se tem no mercado de fácil acesso gesso, carpetes, módulos

de madeira acústica e aglomerados com capacidade de absorver mais o som e de dificultar sua passagem através de divisórias para ambientes adjacentes.

“Devido ao grande tráfego de pessoas, há de haver uma preocupação com o tipo de piso utilizado, para que o ruído de passos não atrapalhe as apresentações, antigamente isso era feito com o uso quase que exclusivo de carpetes, porém, hoje, com as tecnologias de amortecimento de impacto através de mantas flutuantes sob o piso, é possível o uso de acabamentos dos mais diversos materiais, dando-se preferência, entretanto, aos de textura porosa e ou com auto relevo, como madeiras e cimento, em detrimento de pisos cerâmicos. Normalmente um bom projeto acústico prevê o isolamento e a absorção acústica utilizadas com critérios bem definidos, objetivando a melhor eficácia no resultado final. Para isto, deve-se levar em consideração o desempenho acústico dos materiais a serem aplicados, sua fixação, posição relativa a fonte de ruído e facilidade de manutenção, sem restringir a funcionalidade do recinto”. (Bistafa, 2006)

Os auditórios onde a preocupação e cuidado acústico devem ser de alto nível o uso do vidro é desaconselhado, por causa da sua débil capacidade de isolamento sonoro em baixa frequência; como: motores de veículos, condicionadores de ar, máquinas de trabalho contínuo em geral; que produzem ruídos além de uma de grande reverberação.

2.2.10. Isolação Sonora

O isolamento acústico, segundo Bistafa (2006), é a não passagem do som de um ambiente para outro e, pode-se conseguir isso fazendo uso de materiais, alguns de relativa facilidade de obtenção no mercado, para o bloqueio das ondas sonoras. Os materiais mais usados são chapas metálicas, vidro, madeira maciça, parede de tijolo maciço (9 duplas ou não), mantas de borracha, espumas de alta densidade etc.

Bistafa (2006) ainda diz que o isolamento acústico ou **isolamento sonoro** se dá a partir da utilização de materiais densos e pesados que tenham a capacidade de amortecer e dissipar a energia sonora; sendo esta energia, uma energia mecânica, ou seja, pode ser interceptada e ter sua trajetória alterada pela intervenção de

materiais sólidos que funcionariam como obstáculos. Enfatiza ainda que a eficácia do isolamento acústico é bastante eficaz e também pode ser obtida através da associação de materiais de diferentes naturezas, que por causa das diferentes densidades obriga a refração do som; como uma porta de madeira com uma chapa de aço interna, ou mesmo a utilização de várias camadas do mesmo material. Essa dificuldade na propagação das ondas sonoras maximiza a eficácia do isolamento acústico.

O som se propaga através de ondas, que vibram no mesmo sentido de propagação o que difere do clássico desenho de onda. Por conta disso, Bistafa (2006) ressalta a necessidade de se evitar o contato direto destes materiais diferentes entre si, utilizando camadas de borracha, espuma (de preferência as de densidade elevada), ou qualquer outro material que venha a diminuir as vibrações das ondas sonoras ao ultrapassar os outros materiais. O que se observa em experiências de laboratório e no dia a dia de locais com certa emissão sonora, é que; não se deve deixar nenhum tipo de fresta entre os ambientes. O som tem a capacidade de passar por qualquer espaço que seja deixado aberto. Na tabela 4 se estabelece regras inquestionáveis, onde alguns dos principais tipos de materiais para utilização e suas características:

Tabela 4 – Materiais comuns utilizados na isolação sonora.

Tipos	Ação	Exemplos
Isolantes	Impedem a passagem de ruído de um ambiente para o outro.	Tijolo maciço, pedra lisa, gesso, madeira e vidro com espessura mínima de 6 mm. Um colchão de ar é uma solução isolante, com paredes duplas e um espaço vazio entre elas (quanto mais espaço, mais capacidade isolante).
Refletores	Podem ser isolantes, e aumentam a reverberação interna do som.	Azulejos, cerâmica, massa corrida, madeira, papel de parede (em geral, materiais lisos).
Absorventes	Não deixam o som passar de um ambiente para o outro e evitam eco.	Materiais porosos como lã ou fibra de vidro revestidos, manta de poliuretano (dispensa revestimentos), forrações com cortiça, carpetes grossos e cortinas pesadas.
Difusores	Refletem o som de forma difusa, sem ressonâncias.	Em geral, são materiais refletores sobre superfícies irregulares (pedras ou lambris de madeira).

3. O RUÍDO E SEUS EFEITOS NEGATIVOS NA COMUNIDADE

3.1 Ruído

Do latim *rugitus*, ruído é qualquer som indesejável. Sua intensidade é usualmente medida em decibéis (dB). De acordo com a definição do CEE, 1977, "ruído o conjunto de sons susceptíveis de adquirir para o homem um caráter afetivo desagradável e/ou intolerável, devido, sobretudo aos incômodos, à fadiga, à perturbação e não à dor que pode produzir.". A tabela 5 representa a reação da comunidade em relação a valores de ruídos ultrapassados pelo nível considerado permitido.

Tabela 5 – Reação da comunidade em relação ao nível de pressão sonora. (NBR, 10151, 2000)

Valor em dB(A) ultrapassado pelo nível permitido.	Categoria	Descrição
0	Nenhuma	Não se observa reações
5	Pouca	Queixas esporádicas
10	Média	Queixas generalizadas
15	Energética	Ação comunitária
20	Muito Energética	Ação comunitária vigorosa

3.2. Efeitos do Ruído

O ruído age no organismo humano, podendo prejudicar o funcionamento do aparelho auditivo, a atividade fisiológica e mental do indivíduo. Os ruídos acima de 60 db(A) podem ser nocivos à saúde. A Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho, NR 15, dispõe que os trabalhadores poderão ficar expostos até no máximo 85 dB(A) durante sua jornada de trabalho. A lei é clara no que tange a poluição sonora, pois atualmente passou a ser um grande problema dentro da sociedade. É válido dizer que a poluição sonora, não é apenas um simples problema de desconforto acústico.

O ruído passou a ser um dos principais problemas ambientais dos centros urbanos, destarte, surgiu uma preocupação maior com a saúde pública. São comprovados cientificamente os malefícios causados pelo ruído excessivo, à medida que estes causam transtornos como redução na capacidade de memorização, e comunicação,

perda ou diminuição da audição e do sono, envelhecimento prematuro, distúrbios cardíacos, neurológicos e gástricos. A poluição sonora é considerada como sendo uma das três prioridades ecológicas, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) os níveis acima de 70 dB, não são agradáveis aos ouvidos humanos e a partir desse nível os mecanismos auditivos do ser humano começam a danificar, podendo até gerar a perda de audição.

O controle das emissões sonoras é um constante desafio para os órgãos públicos, pois ao mesmo tempo em que fere os direitos civis como o direito ao sono e ao sossego público, fere também o direito a realização de encontros religiosos e o funcionamento de casas de shows. Atualmente, existem resoluções e leis municipais que servem de diretrizes para o nível de ruído permitido para ambientes que desrespeitam essas leis e estão sujeitos a sanções caso venham a descumpri-las.

De acordo com Silva (1997), os ruídos prejudicam o aparelho auditivo, o cérebro e também pode agir em outros órgãos, às vezes por ação reflexa, causa implicações ao funcionamento orgânico. As primeiras reações do indivíduo à ação dos ruídos são a irritabilidade e a inquietude, podendo causar até alteração do metabolismo basal. O ruído também exerce forte influência no que tange a inteligência e a capacidade de atenção do indivíduo, causando redução em seu rendimento intelectual e físico.

Um dos efeitos mais indesejáveis do ruído é a perda de audição. A exposição por tempo longo a níveis altos de ruído danifica a cóclea. As células nervosas no ouvido interno são danificadas, causando a perda de audição que por sua vez é irreversível. A figura 7 mostra um gráfico da perda de audição e a tabela 6 representa os níveis de pressão sonora e o tempo de exposição máxima:

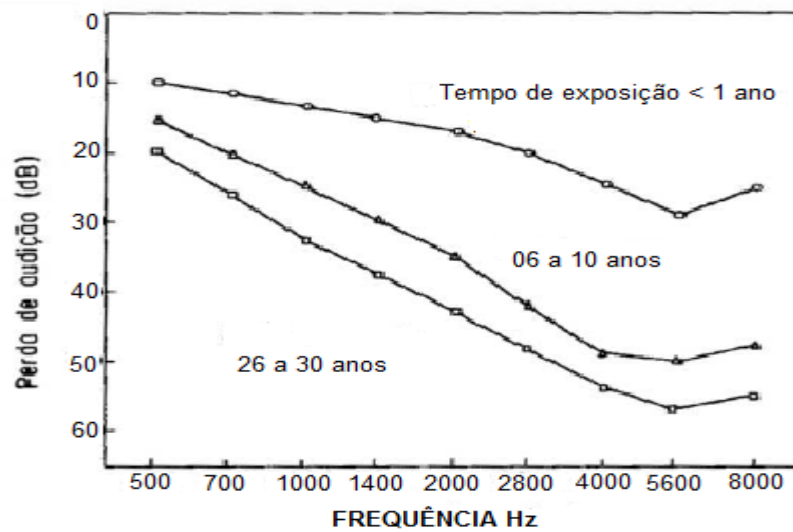


Figura 7 – Perda de audição por ruído de impacto (Gerges, 2000)

Tabela 6 – Nível de tolerância auditiva (Anexo I NR 15)

Nível de Pressão Sonora-NPS dB(A)	Máxima exposição diária permitida.
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

4. ASPECTOS FUNDAMENTAIS PARA A QUALIDADE SONORA EM AMBIENTES FECHADOS.

4.1. Tempo de Reverberação

Em 1985, o físico norte americano Wallace Sabine, iniciou seu trabalho na área de acústica e arquitetônica a fim de elaborar um tratamento acústico na sala de aula no Rogg Art Museum na Universidade de Harvard nos Estado Unidos. Sabine verificou que o som permanecia na sala por aproximadamente 5,5 segundos e isso tornava a linguagem falada praticamente incompreensível.

A definição de Tempo de Reverberação, criado por Sabine, surgiu a partir de um experimento desenvolvido, onde se utilizou um órgão de tubos, na frequência de 512 Hz, em um nível sonoro de 60 dB. Sabine estudou minuciosamente o decaimento desse som, até que o mesmo se tornasse inaudível.

A relação para o tempo de reverberação estabelecida por Sabine foi:

$$T = 0,61 \frac{V}{A}$$

Onde:

T = Tempo de reverberação em segundos

V = Volume do ambiente em metros cúbicos

A = Absorção sonora total da sala em m^2

$$A = \sum_{\infty}^{i=n} (S_1 \alpha + S_2 \alpha + S_3 \alpha + \dots + S_n \alpha)$$

Onde:

S_1 = Área de superfície dos diferentes materiais de revestimento instalados em m^2

α = coeficiente da absorção sonora de cada material de revestimento instalado no ambiente.

O Tempo de Reverberação varia de acordo com a velocidade do som em relação ao ambiente. Consiste no desaparecimento gradativo de som. Este parâmetro acústico

faz analogia à percepção acústica em ambientes mais reverberantes, onde o som produzido ressoa por longa duração de tempo, mesmo depois da interrupção das fontes sonoras.

Shroeder (1965) sugeriu o cálculo de Tempo de Reverberação através da resposta impulsiva integrada, obtida pela excitação da sala com o impulso sonoro.

A função a seguir, representa o cálculo da resposta impulsiva integrada:

$$E(t) = \int_0^{\infty} p^2(t)dt - \int_0^t p^2(t)dt = \int_t^{\infty} p^2(t)d(-t)$$

Onde:

$E(t)$ =Resposta impulsiva integrada

$p(t)$ = Nível de pressão sonora em função do tempo

$\int_0^{\infty} p^2$ =Nível de pressão sonora do som reverberante somado ao som direto, em função do tempo.

$\int_0^t p^2$ = Nível de pressão sonora do som direto.

Concluiu-se que, quanto menor o nível de pressão sonora do som reverberante, menor a resposta impulsiva do ambiente. Portanto, o Tempo de Reverberação, é o fenômeno acústico decorrente de reflexões sonoras seguidas em um determinado ambiente. De acordo com Bistafa (2006), a reverberação pode ser descrita como “uma série contínua no tempo de ecos discretos”.

4.2. Tempo ótimo de reverberação

Sabendo-se que o desaparecimento gradativo do som consiste no efeito de reverberação. Já o Tempo Ótimo de Reverberação, é o uso e o volume do ambiente. Na reverberação, tempos longos geram a sobreposição de sons, enquanto que os curtos tendem ao desaparecimento do som. Um tempo de reverberação em 500 Hz, por exemplo, encontram-se valores de Tempo Ótimo de Reverberação para locais de encontros religiosos em função da pregação (palavra falada), música, auditórios, estúdio de gravação, teatros, conforme mostra a figura 8 a seguir:



Fig. 8 - Tempo Ótimo de Reverberação (ABNT, 1992)

4.3. Inteligibilidade da Fala

A inteligibilidade da fala é a relação entre palavras faladas e palavras entendidas. Para que haja um efetivo entendimento das palavras, é necessário que a inteligibilidade da fala seja superior a 90% (Nepomuceno, 1994). Porém, para que uma inteligibilidade de 100%, exige-se uma intensidade de voz de aproximadamente 10 db(A), o mais comum nas regiões brasileiras e 70 db(A), causando transtornos na saúde, tanto para quem fala, como para quem ouve.

O conceito de inteligibilidade da fala, segundo Fernandes (2000), quando este diz respeito à comunicação em ambiente é definido como “inteligibilidade da acústica da linguagem”. Pode-se considerar como uma das principais características da acústica de um determinado ambiente, pois reflete o grau de entendimento das palavras em seu interior.

Segundo Nábelek, A. e Nábelek, I. (1997), existem três fatores a qual a inteligibilidade da fala é influenciada: o nível da fala; a reverberação da fala e o ruído de fundo. Cada um destes depende da distância existente entre a fonte emissora de som e o ouvinte, porque os níveis de ruído de fundo e o som refletido e direto variam

ao longo da sala. A intensidade da fala diminui de acordo com a distância da fonte, pois assim, tem-se uma boa inteligibilidade.

Barron (1993), diz que a relação a resposta impulsiva e o sinal/ruído, são fundamentais para a inteligibilidade da fala. Essa relação consiste na diferença de nível sonoro do orador (fonte) e o nível do ruído do ambiente.

A resposta impulsiva vem a ser um registro da pressão sonora em determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a sala é sonorizada pelo impulso (Bistafa, 2005), e que fornece informações a respeito do instante em que cada reflexão sonora chega ao ouvinte e também da intensidade.

4.4. Difração

Difração é a propriedade de contornar obstáculos. Quando uma onda encontra obstáculos ela continua a provocar compressões e rarefações no meio em que está se propagando e também ao redor em qualquer obstáculo inserido no mesmo meio ambiente. A difração é dependente do comprimento de onda e a difração sonora é sempre muito intensa devido a esse comprimento considerável.

No contorno de grandes obstáculos, como paredes, muros, corredores, ela altera sua direção e para buracos ou frestas, estas funcionam como centros de propagação como de fossem novos centros produtores de novas ondas. As figuras 9 e 10 mostram estes fenômenos:

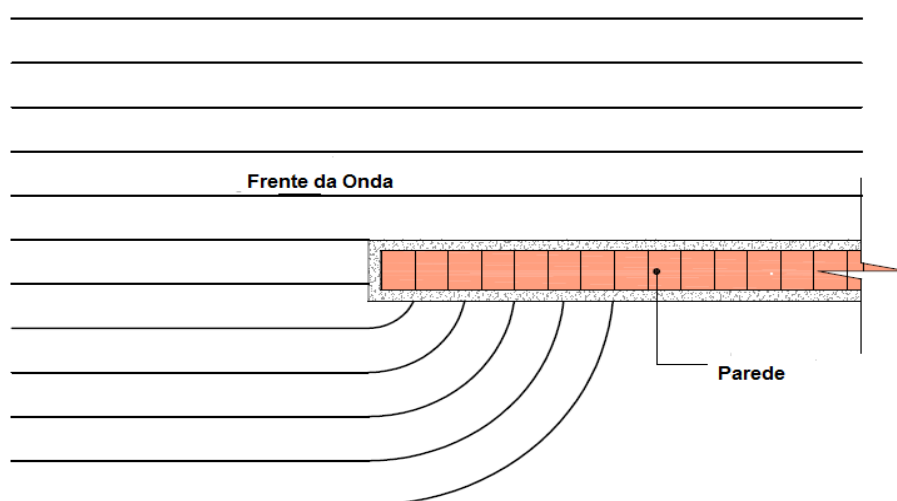


Figura 9 – Difração em uma aresta (Carvalho, 1967).

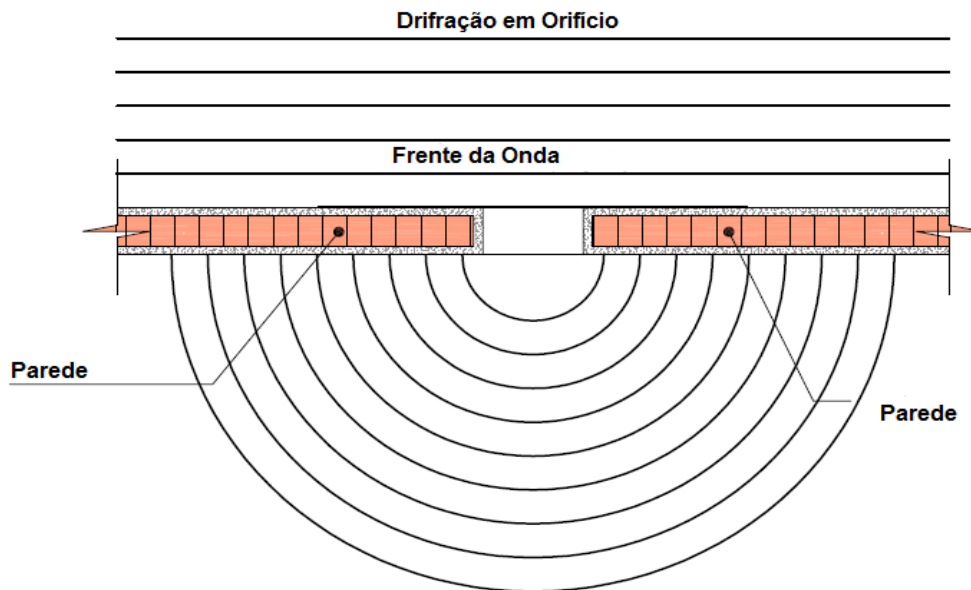


Figura 10 – Difração em um orifício (Gerges 1992).

4.5. Refração

A refração é um fenômeno que evidencia o desvio sofrido pela frente por uma onda quando ela passa de um meio para outro. Devido às diferenças de suas características físicas como elasticidade ou compressibilidade, para cada meio de propagação, ondas longitudinais comportam-se de maneiras diferentes. Como exemplo, uma onda sonora passando do ar para a água ou vice versa.

Na refração sonora, o comprimento da onda e a sua velocidade de propagação mudam, são alterados, mas não da sua frequência, que depende somente da fonte que a criou. A impedância acústica é a dificuldade ou a resistência à passagem de uma onda por um determinado meio condutor elástico e é composta por duas grandezas, a resistência e a reatância. Foi observado que as vibrações de uma onda sonora são amortecidas pela resistência que o meio material lhes oferece; sendo assim as ondas não se propagam indefinidamente. A densidade do meio de propagação é responsável pela resistência acústica (R) e também pela velocidade de propagação do som neste meio. A resistência acústica é parecida com a elétrica em lâmpadas incandescentes e é a parte da impedância independente da frequência. Por causa disso, é medida em ohms acústicos. Mas, a reatância acústica (X) depende da frequência do movimento resultante e é proveniente do efeito que produz a massa e a elasticidade do meio material condutor da onda.

Expressa numa unidade em homenagem a Rayleigh, a impedância foi chamada de “rayls”. A impedância do ar é de 420 rayls, isto significa que deverá haver uma pressão de 420 N/m² para que as partículas da massa em questão se obter o deslocem de 1 metro, em cada segundo.

A facilitação à passagem da onda sonora em qualquer meio elástico com movimento vibratório é chamada de “admitância acústica”, simbolizada por Y (é medida em mho acústico). Uma comparação sobre refringência útil é entre o ar e a água, onde a impedância do primeiro é maior, por causa da facilidade de propagação das ondas na água facilmente constatada com observação de ruídos de motores marítimos, que quando em mergulho o ouvinte tem melhor registro. Na refração, portanto, a onda sonora passando do ar para a água tende a horizontalizar-se, caso não ocorra a refração não acontece, sendo a reflexão o fenômeno ocorrente.

Para um índice de Refração Sonora, Costa (2003) destaca que na prática, o fenômeno de transmissão do som, em paredes simples, em uma aplicação simplificada, pode ser considerado apenas uma parcela; a da irradiação por vibração da parede, pela sua quantidade considerada, que é muito superior a outras formas de transmissão. Sendo assim, explica que, como a incidência da onda sonora se dá em todos os ângulos possíveis, que na o valor de variação admitido ficaria reduzido a aproximadamente 05 (cinco) dB. Gerges (2000), diz que o valor considerado em medições laboratoriais ou mesmo em situações reais, é a chamada Perda de Transmissão de Campo, que considera somente os ângulos com incidência de 0° a 78° e Reynolds (1981) destaca que a perda de transmissão é máxima quando a incidência é normal ou perpendicular à superfície, e quando se aproxima de zero para ângulos de incidência ortogonais e também que a perda de transmissão nunca é igual a zero, por isso a integração é apenas dos ângulos de incidência até 78°.

Para um estudo sobre excitação acústica de paredes, deve-se considerar que as frequências, ditas “de ressonância” são importantes, pois, vão indicar a rigidez (k) em um parâmetro para estudo de um Índice de Redução Sonora característico. Costa (2003) afirma que, nas frequências menores que a frequência mínima de ressonância, o Índice de Redução Sonora depende somente da rigidez da parede (k). Foi configurado em pesquisa de registro que o Índice de Redução Sonora (R)

possui um aumento de 6.0 dB para cada vez que se duplicar a rigidez de uma parede e sofre a mesma quantidade de diminuição para cada vez que se duplicar a frequência. A região em que o isolamento é controlado pela massa tem relação direta com a densidade da parede, onde a qualidade de absorção será definida pela capacidade dos materiais usados como revestimento.

Para Méndez (1994), as frequências críticas em paredes homogêneas, por 10 centímetros de espessura, como: concreto armado (1800 Hz), tijolos maciços (2500 a 5000 Hz), madeira de pinho (6000 a 18000 Hz) e vidro (1200 Hz) configuram como os principais elementos construtivos utilizados no cotidiano da construção civil em locais escolhidos para aglomerações de pessoas e foi verificada para situações usuais, como uma laje de concreto com 10 cm de espessura, a frequência crítica é de 180 Hz. Tem-se para uma parede de tijolos maciços com 10,6 cm de espessura, uma faixa de frequência aproximada de 265 a 530 Hz. Com isso, foi visto que a frequência crítica de coincidência para os materiais mais comuns utilizados na construção civil encontra-se nas baixas frequências. Isso é fundamental o entendimento da resposta ressonante dessa parede (acima da frequência crítica de coincidência), onde o Índice de Redução Sonora é determinado pela rigidez e pelo amortecimento da parede e não mais pela Lei da Massa. O isolamento é controlado pela rigidez, dependendo do tamanho da parede e/ou painel, da sua forma geométrica e da qualidade do seu amortecimento interno.

4.6. Transmissão e Isolamento Sonoro (Perda de Transmissão Sonora e Classe de Transmissão Sonora)

Os meios de propagação da energia sonora, na prática, são através do ar, da abertura de portas e janelas, pela estrutura que separa dois ambientes, pelas vibrações que são transmitidas de um ambiente para outro, através das superfícies limítrofes das estruturas como pilares, lajes, divisórias de alvenarias etc.

O isolamento de sons e/ou ruídos é um modo, técnica ou maneira de atenuar a transmissão do som que entre dois ambientes. A maneira mais usual e eficaz de se isolar dois ambientes é a colocação de um obstáculo ou obstáculos entre eles de maneira a dificultar a passagem das ondas sonoras. Costa (2003) enfatiza que o

isolamento propiciado pela estrutura separadora de dois ambientes pode ser caracterizado pela chamada atenuação do ruído R, ou “Índice de Redução Sonora”, dado em decibel (dB), que é a redução da sensação auditiva, ou seja da percepção do ruído de um lado para o outro do obstáculo. Dado pela equação:

$$R = 10 \log \frac{1}{\alpha t}$$

Onde:

R = Índice de Redução Sonora

αt = Coeficiente de Transmissão

A Perda de Transmissão Sonora pode referida é dada por Sound Redux Index (Índice de Redução Sonora) nas normas ISO (International Standard Organization) e que nos Estados Unidos, a denominação mais empregada é Sound Transmission Loss – TL (Perda de Transmissão Sonora); adotada também na maioria dos países de língua Inglesa. Esse índice de redução sonora (R), Conforme Paixão (2002), deve ser considerado um dos principais parâmetros na caracterização acústica de uma parede; e quando se diz “parede”, fala-se da principal utilização das divisórias em construção civil(conhecida como Perda de Transmissão –PT ou Transmission Loss - TL).

“As características de materiais ou dispositivos para isolamento acústico podem ser estabelecidas através da determinação de duas grandezas físicas: Perda de Transmissão (PT) e Diferença de Nível (D). Conceitua a Perda de Transmissão como sendo a relação logarítmica entre a energia sonora transmitida e a energia sonora incidente em uma parede. Já a Diferença de Nível é o resultado da redução do ruído depois do uso de algum dispositivo isolador. A Perda de transmissão (PT) alta significa baixa transmissão de energia acústica e vice-versa”. (Gerges, 2000)

Num exame minucioso, Paixão (2002) explica que a Perda de Transmissão (PT) não se baseia, somente, nas características dos materiais. Há influencia externa de fatores externos; muitas vezes alheios aos parâmetros adotados. Porque sofre a interferência dos locais de medição desses níveis, devido ao referencial usado ou seja, de fatores relativos ao ambiente, como o volume e a absorção. Isso a diferencia da simples Diferença de Nível Sonoro (D). A tabela 7 apresenta valores representativos na transmissão de partições diversas:

Tabela 7 - Valores da perda na transmissão para sons aéreos de partições diversas (Bistafa, 2006)

Tipo de partição	Esp. (mm)	Dens. Sup. (kg/m ²)	Frequência central da banda de oitava (Hz)						
			63	125	250	500	1000	2000	4000
Painéis simples									
Manta de chumbo	1,5	17	22	28	32	33	32	32	33
Manta de chumbo	3,0	34	24	30	31	27	38	44	33
Chapa de alumínio, enrijecida.	0,9	2,5	8	11	19	10	18	23	25
Chapa de aço galvanizado	0,6	6	3	8	14	20	23	26	27
Chapa canelada de aço, enrijecida nas bordas, juntas seladas.	1,2	39	25	30	20	22	30	28	31
Placa corrugada de amianto, enrijecida e selada.	6	10	20	25	30	33	33	38	39
Placa de lascas de madeira, em esquadria de madeira	19	11	14	17	18	25	30	26	32
Placa de fibras de madeira, em esquadria de madeira	12	4	10	12	16	20	24	30	31
Painéis tipo sanduíche									
Painéis para enclausuramento de máquinas: chapa de aço de 1,6 mm + manta de lã de vidro de 100 mm, revestida com chapa perfurada de aço de 0,6 mm	100	25	20	21	27	38	48	58	67
Mesma montagem acima, porém com chapa de aço de 5 mm no lugar da chapa de aço de 1,6	100	50	31	34	35	44	54	63	62
Manta de chumbo d 1,5 mm, entre duas chapas compensadas de 5 mm	11,5	25	19	26	30	34	38	42	44
Placa de amianto de 9 mm, entre duas chapas de aço de 1,2 mm	12	37	16	22	27	31	27	37	44
Palha comprimida entre duas chapas de madeira de 3 mm.	56	25	15	22	23	27	27	35	35

Continuação									
Paredes duplas de alvenaria									
Parede dupla de tijolos com espessura de 140 mm cada, conectadas com tirantes metálicos, formando cavidade de 56 mm, e com as faces externas revestidas com gesso de 12 mm.	360	380	28	34	34	40	56	73	76
Parede dupla de tijolos com espessura de 140 mm cada, conectadas com telas metálicas expansíveis, formando cavidade de 56 mm, e com faces externas revestidas com gesso de 12 mm.	360	380	27	27	43	55	66	77	85
Janelas de vidro									
Vidro simples em esquadria robusta.	6	15	17	11	24	28	32	27	35
Vidro simples em esquadria robusta.	8	20	18	18	25	21	32	28	36
Vidro simples em esquadria robusta.	9	23	18	22	26	31	30	32	39
Vidro simples em esquadria robusta.	16	40	20	25	28	33	30	38	45

Um simples processo de comparação é utilizado para a determinação da Classe de Transmissão Sonora (STC), de valores de perda na transmissão da partição, (medidos ou estimados). Observa-se que cada contorno é constituído por um segmento horizontal entre 1.250 e 4.000 Hz, nesse segmento e conectado a um último segmento com inclinação de 15 dB entre 125 e 400 Hz. A atribuição do contorno STC à partição é aquela que comparada com os valores PT (em bandas de 1/3 oitava da partição), atende simultaneamente a duas condições:

- 1ª- A diferença entre o valor PT do contorno e da partição (deficiência) não deve exceder 8 dB, em nenhuma banda de 1/3 oitavas;

2ª- soma das deficiências (valor de PT da partição abaixo dos valores de PT do contorno), nas dezesseis bandas de 1/3 de oitava entre 125 e 4.000 Hz, não deve exceder 32 dB.

No que diz respeito a denominação da partição é STC x , em que x o valor do PT do contorno em 500 Hz. A tabela 8 apresenta valores de STC de partições feitas de materiais construtivos mais comuns.

Tabela 8 – Classe de transmissão sonora de materiais construtivos comuns. (Bistafa, 2006)

Partição	STC
Vidro de 6 mm de espessura	26
Chapa de madeira compensada de 18 mm de espessura	28
Parede duplas de chapa <i>dry-wall</i> de 12 mm de espessura, fixadas em caibros de 5 x 10 cm	33
Chapa de aço de 6 mm de espessura	36
Parede de tijolos de 10 cm de espessura	41
Parede de blocos de cimento de 15 cm de espessura	42
Parede de concreto armado de 30 cm de espessura	56
Parede dupla: tijolos de 20 cm, cavidade de 5 cm, tijolos de 10 cm de espessura	65

4.7. Sonorização

Considerando-se que o Brasil ainda não se tornou referência na sonorização de ambientes, existe a necessidade de um estudo que aponte as deficiências e as possíveis soluções de problemas. É possível afirmar que grande parte das dificuldades está, principalmente, na inadequação acústica das salas. Isso se deve ao fato de que na maioria das vezes, algumas dessas construções (templos religiosos, teatros, auditórios, estúdios, etc.), são adaptações de prédios que foram construídos com outras finalidades. Os problemas referentes a sonorização são comuns, as colunas geralmente são colocadas em lugares errados, o pé direito, muitas vezes, é baixo, falta revestimento na acústica, entre outros.

A concepção de um sistema de sonorização começa pela avaliação – e eventual intervenção – das condições acústicas do local onde o prédio será instalado. Em alguns casos, esta questão é um pouco crítica, levando-se em consideração de que algumas edificações, como templos religiosos, por exemplo, são construídos em espaços tipo galpões e as edificações antigas, têm concepções arquitetônicas inadequadas, como paredes e pisos lisos, abóbodas, etc.

No que tange a parte inicial de um projeto de sonorização, as medições acústicas são necessárias para a adequação do ambiente. Se o prédio está em fase de construção, deve ser feitas recomendações quanto ao isolamento e tratamento acústico, grande parte dos municípios brasileiros possuem leis municipais quanto ao conforto acústico, portanto, o primeiro aspecto que deve ser levado em consideração é o controle do nível sonoro. No caso de edificações antigas e com valor histórico, é necessário ter cuidado para que o equipamento de sonorização do ambiente não interfira na arquitetura original.

A documentação do projeto também é de fundamental importância, pois apresenta informações necessárias para implantações de equipamentos, caixas acústicas, cabos, acessórios, as plantas com a localização desses equipamentos, o caminhamento de cabos, os diagramas de conexões etc, otimizando o desempenho, dando uma ideia bastante precisa dos custos envolvidos e minimizando os problemas de montagem e instalação. É válido ressaltar que o custo de um projeto dificilmente passa de 10% do investimento total feito nos sistemas de áudio. No entanto, a implantação de um sistema sem projeto pode fazer com que os custos sejam maiores, sem que haja garantia de bom desempenho.

4.8. FORMA GEOMÉTRICA DAS SUPERFÍCIES

A forma geométrica das construções influencia diretamente na acústica do ambiente, podendo ser considerada o principal elemento para o bom desempenho acústico. Para que isso ocorra, muitos fatores devem ser analisados, entre eles o tempo de reverberação, o qual varia entre os tipos e tamanhos de cada sala, o fator do eco, o qual pode ser muito desconfortável tanto para o expectador como para o apresentador.

A inteligibilidade do som direto nas Superfícies Côncavas, geralmente é prejudicada. Para uma boa distribuição sonora, se faz necessário um tratamento acústico em que se evitem os sons de se atrapalharem. E nas Superfícies Paralelas, as ondas estacionárias produzidas pela reflexão nessas são uma defasagem entre o som direto e o som refletido; que chega ao receptor (ouvinte) com uma diferença de tempo em torno de 80 milissegundos. Nas paredes do fundo da sala, podem ser utilizados materiais difusores e absorventes que ajudam a reduzir o som direto entre o orador e o ouvinte que prejudicam a aproximação do som devido a grande distância que o som refletido percorre. No caso de Superfícies Convexas, se bem adequadas, são excelentes difusores de som.

4.9. Materiais utilizados na construção civil

Na construção civil, na fase de pré-projeto, costuma-se seguir alguns preceitos para uma eficácia do projeto em estudo. Na fase de estudo de aproveitamento de espaço, faz-se um “croqui” do projeto arquitetônico no qual já existe a preocupação de um conforto térmico, acústico e acessível. Obras de grande porte possuem a necessidade de um profissional para cada parte do projeto para a obtenção de um resultado que coadune e funcione como um todo.

Segundo Vianna e Ramos (2005): “só existe conforto quando há um mínimo de esforço fisiológico em relação ao som (e a luz, ao calor e à ventilação) para a realização de uma determinada tarefa. Um ambiente confortável proporciona bem estar e harmonia quando as necessidades são atendidas. As principais variáveis do conforto acústico são: entorno (tráfego); a arquitetura; o clima (ventilação, pluviosidade); orientação/implantação (materiais, mobiliário). É importante ressaltar que tudo na natureza tem propriedades acústicas, mas a capacidade de absorção varia em função do material”.

O que se observa nos cuidados técnicos em projetos é que, em construção civil, a educação de se projetar engloba um custo para evitar transtornos que podem vir necessitar de reformas no final da execução da obra, onerando o orçamento e comprometendo prazos.

De acordo com Nakamura (2006), “a capacidade de absorção é quando, por meio da transformação vibratória em energia térmica, o material pode dissipar a energia sonora que incide sobre este. A escolha e a maneira da disposição do material dependem se a pretensão é corrigir, reduzir ou eliminar o ruído. Forros e paredes recheadas com lãs minerais, como lã de rocha e de vidro, podem corrigir o tempo de reverberação do som. Deve-se tomar cuidado com os índices de absorção acústica, porque quando em excesso pode impedir que um aluno, por exemplo, em uma sala de aula escute o professor. A escolha do forro ou revestimento precisa levar em conta a taxa de ocupação do ambiente de manutenção, durabilidade, estabilidade e resistência ao fogo”.

4.9.1 PRINCIPAIS TIPOS DE MATERIAIS

Os materiais utilizados para isolamento acústico podem ser classificados em convencionais e não convencionais, dependendo da região do país que se esteja e/ou do globo. Os segmentos mais comuns são conhecidos de todos pelo tradicionalismo de uso e os não convencionais ainda estão em fase de pesquisa para um futuro uso comum.

4.9.2. Materiais convencionais

Conhecidos como os materiais de vedação de uso comum dentro da construção civil. Estes são os mesmos que possuem uma série de vantagens, nas quais, uma das principais é o isolamento acústico razoavelmente bom para uso comum. Coloca-se a disposição no mercado os blocos cerâmicos; bloco de concreto, concreto celular; bloco de sílico calcário; madeira; vidro etc.

4.9.3. Materiais não convencionais (Inovações)

São aqueles materiais especialmente desenvolvidos para um isolamento acústico de/em diferentes ambientes. As técnicas de isolamento juntam normalmente o cuidado térmico com o acústico; nisso temos: lã de vidro; lã de rocha; vermiculita;

espumas elastoméricas; fibra de coco (inovação ecológica devido a grande massa não utilizada deste material e sua constituição fibrosa) etc.

4.9.4. Lã de vidro

A lã de vidro é mundialmente reconhecida como um dos melhores isolantes térmico, sua constituição molecular e arranjo, dificultam a propagação do calor de maneira bastante eficaz. Possui componente formado a partir de sílica e usa aglomerados de sódio com resinas sintéticas em alta temperatura em forno. Contudo, ainda possui um ótimo coeficiente de absorção sonora por causa da porosidade da lã; que quando a onda entra em contato com a lã e é rapidamente absorvida. É um material de leve e de fácil manipulação, incombustível, ou seja, não propaga chamas, não deteriora, não favorece a proliferação de fungos ou bactérias, não tem desempenho comprometido quando exposto à maresia, não é atacada nem destruída pela ação de roedores.

Encontra-se em forma de manta, que facilita a sua aplicabilidade em função do tempo, em um tipo de manta ensacada com polietileno, manta aluminizada ou ainda manta revestida com feltro para construções metálicas e, manta de fibro-cerâmica para tubulações e equipamentos com temperaturas elevadas.

4.9.5. Lã de rocha

De acordo com Salvador (2001), a lã de rocha é composta de fibras provenientes do basalto aglomerado junto com resina sintética tendo em suas principais características o isolante térmico, isolante acústico, incomburente, pH neutro, anti-parasita, não corrosivo, imputrescível, não nocivo à saúde (mas seu manuseio e aplicação deverá ser feito com vestuário e luvas adequadas), não poluente, custo/benefício muito bom.

Sua aplicação é ampla em construção civil desde forros, divisórias, em dutos de ar condicionados (em tubulações com baixas, médias e altas temperaturas de 50°C a 750°C). Tendo uma excelente resistência mecânica para coadunar, em forma de

painéis e mantas (revestidas ou não), com plástico auto-extinguível, de manta com “*Kraft aluminizado*”, de calhas e mantas com tela metálica.

4.9.6. Vermiculita

É formado por aluminossilicato hidratado de ferro e de magnésio, constituído pela superposição de finas lamínulas que, sendo um mineral da família das micas, quando submetido a altas temperaturas, por volta de 1000° C ou 1832°F se expande em até vinte vezes do seu volume original, deixando com isso um grande vazio em seu interior. É um tipo de material que possui baixa densidade que varia de 80 até 120 kg/m³, possui também baixa condutibilidade, é incomburente, insolúvel em água, não é tóxico, não é abrasivo, é inodoro e não se decompõe, deteriora ou apodrece,

“(…) a vermiculita dentro da construção civil pode ser aplicada para: enchimento de pisos, isolamento termo-acústico em divisórias, forros, lajes e paredes, corta fogo, câmaras a prova de som, câmaras a prova de fogo, rebocos isolantes, etc. Deve-se destacar ainda que o mercado oferece a vermiculita em forma de placas e blocos ou em forma de concreto leve de vermiculita expandida; recomendado, para contra-piso, rebocos acústicos e como enchimento de excelente qualidade”. (Oliveira, 2004)

4.9.7. Espuma elastomérica

É uma espuma feita de poliuretano poliéster, auto-extinguível que se misturadas com retardante a chama para melhorar sua propriedade quanto à segurança ao fogo, estão protegidas contra mofos, fungos e bactérias. Esta espuma também é indicada para acústicas em escritórios, auditórios, salas de treinamento, salas de som etc. Sua configuração física disponível em mercado é em forma de placas de diversas espessuras e dimensões.

4.9.8. Fibra de coco

A Fibra de coco (Corkoco) foi estudada para coadunar com outros materiais. Devido à sua complexão física foi direcionada para absorção de ondas mais graves. Se misturada ao aglomerado de cortiça expandido apresentou excelentes resultados

nesta absorção de ondas de baixa frequência, muito difícil de ser alcançados por outros materiais. Sua resistência e durabilidade também atendem, cumprindo com as necessidades técnicas exigidas pelo mercado de materiais acústicos atual. Tudo isso é ainda apoiada no “ecologicamente correto”, no que concerne a sustentabilidade da construção civil em materiais alternativos, além de ser versátil e indicado para isolamento.

5. TRATAMENTO ACÚSTICO

5.1 O tratamento acústico e as leis municipais.

O Código de Obras entra no isolamento acústico no capítulo XV que trata da classificação e dimensão dos compartimentos, seção I, Art. 107. Nesse capítulo são introduzidos os cuidados construtivos que diz que os compartimentos e ambientes deverão ser posicionados na edificação e dimensionados de forma a proporcionar conforto ambiental, térmico e acústico e proteção contra umidade, obtida no projeto pelo adequado dimensionamento e emprego dos materiais das paredes, coberturas, pavimentos, e aberturas, bem como das instalações e equipamentos.

No capítulo XVI, seção I sobre iluminação, insolação e ventilação natural e isolamento acústico, Art.117 que diz que não é permitida ligação por aberturas e/ou elementos vazados entre locais ruidosos e áreas de estar ou locais que exijam condições ambientais assim como logradouros públicos e lote contíguo e que todas as edificações bem como suas instalações e equipamentos deverão receber tratamento acústico adequado de modo a não deixar vazar ruídos de qualquer natureza, assim como sistemas de segurança adequados, prevenindo à saúde do trabalhador e incômodos para a vizinhança.

Continuando essa obrigatoriedade de cuidados construtivos no capítulo XVIII, dos materiais e elementos construtivos, seção I, elementos técnicos construtivos, Art. 127, que as características técnicas são dos elementos usados na construção, referentes as qualidades e quantidades, condição de uso e a capacidade de reduzir vazamentos sonoros pelo seu trabalho conjugado.

Os processos construtivos do Código de Obras são auxiliados pelo Código de Posturas do município que tende a manter a ordem no lado de fora das construções, como no capítulo II, Art. 114, tem-se a referencia da tranquilidade pública, ratificada ao extremo quando incide que: é proibido perturbar o sossego e o bem estar público, considerado atentado à tranquilidade pública qualquer ato de perturbação com ruídos ou sons excessivos de qualquer natureza. Uma complementação explícita, o

Art. 115 registra sobre instalação e funcionamento de qualquer tipo de aparelho sonoro que produza ruído qualquer, alerta/propaganda para o exterior dos estabelecimentos comerciais, industriais, prestadores de serviços e que dependam de Alvará da Prefeitura e tem-se que o estabelecimento deverá ser completamente adaptado em técnica de acústica, de modo a evitar propagação de som ao exterior, considerada ruidosa, em índices acima dos definidos pelas normas da ABNT, para que não haja perturbação do sossego público.

No que concerne à realização de música ao vivo em local totalmente aberto; somente com expedição de autorização pública para festas, eventos religiosos, festas juninas e eventos artísticos, esportivos, culturais e turísticos, etc. Se houver reclamações de perturbação qualquer, com comprovação; a autorização "... poderá ser suspensa ou revogada, sem prejuízo de outras sanções em processo administrativo contencioso a que se permitirá ampla defesa".

O Código de Posturas fecha um raciocínio de preservação e prevenção para coadunar com o Código de Obras, apoiando-se na ABNT no Art. 116, quando tem explícito que a intensidade de som ou ruído, medida em decibéis, não poderá ser superior à estabelecida.

O continuado apoio do Código de Posturas vai ao Título IX, da poluição do meio ambiente, capítulo I, das disposições gerais, Art. 235, onde se trata do cuidado sobre o meio ambiente direto para impedir ou atenuar a poluição, onde o poder público representado pela Prefeitura Municipal que tomará regulamento de acordo com os limites de ruídos permitidos pela ABNT.

Fechando as regulamentações ambientais referentes a som, tem-se no Art. 245: onde se tem o trato de impedir ou reduzir a poluição proveniente de sons e ruídos excessivos, a administração pode adotar medidas como disciplinar a localização, residenciais ou comerciais, de estabelecimento cujas atividades produzam ruídos, sons excessivos ou incômodos e controlar o uso de aparelhos sonoros eletroacústico, bem como estabelecer horários de funcionamento noturno de construções e estabelecimentos que produzam ruídos incômodos ao sossego público.

Como pesquisado na www.aplitudeacustica.com.br, a LEI N° 126, 6.938/81 de 10 de maio de 1977, norma do CONAMA ajusta-se à competência que lhe foi dada sobre emissão de ruídos quaisquer, provenientes de indústrias, comércios, propagandas ou recreações, obedecerá, normas de saúde, sossego público estabelecidas nesta resolução, bem como dentro de templos, fora deles com práticas litúrgicas de qualquer credo e a NBR 10.152 (ABNT, 1987) determina que o nível de ruído em igrejas e templos deve ser de, no máximo, 50 decibéis.

A sociedade contemporânea se apoia em regras de convivência humana e técnicas normativas baseadas na arquitetura e engenharia civil para conteúdo de um viver social provido de limites e harmonia de entendimento entre vizinhos. A tabela 9 baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido e o nível de critério de avaliação (NCA) , segundo NBR 10151 (ABNT, 2000). A Tabela 10 apresenta os valores de ruídos conforme determina a NBR 10152 (ABNT, 1987).

Tabela 9 – Nível de critério para avaliação (NCA) para ambientes externos, em db(A)

Tipo de áreas	Diurno	Noturno
Área de sítio e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana, hospitais ou escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 10 - Valores dB(A) e Nível de Critério de Avaliação (NCA)

Locais	dB(A)	NCA
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centro Cirúrgicos,	35-45	30-40
Laboratórios, área do público	40-50	35-45
Serviço	45-55	40-50
Escolas		
Bibliotecas, Sala de música, Sala de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratório	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
Hotéis		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Sala de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Sala de Estar	40-50	35-45
Auditórios		
Sala de concertos, Teatros	30-40	25-30
Sala de conferências, Cinema, Salas de múltiplo uso	35-45	30-35
Restaurantes	40-50	35-45
Escritórios		
Salas de reunião	30-40	25-30
Salas de gerência, salas de projeto e administração	35-45	30-35
Sala de computadores	45-65	40-60
Sala de mecanografia	50-60	45-65
Igrejas e Templos (cultos mediativos)	40-50	35-45

a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para esta finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Em alguns ambientes os diversos sons emitidos possuem interesses selecionados para determinadas frequências; fazendo-se assim a necessária correção de algumas delas, que não são interessantes e são considerados ruídos. Segundo a NBR 10152 (ABNT, 1987), o método de avaliação recomendado, baseado nas medições do nível sonoro dB(A); todavia, a análise de frequência de um ruído, sempre é importante para objetivos de avaliação e adoção de medidas de correção ou redução do nível sonoro. Assim sendo, incluem-se na figura várias curvas de avaliação de ruídos (NC), através das quais um espectro sonoro pode ser comparado, permitindo uma identificação das bandas de frequências mais significativas e que necessitam de correção. A tabela 6, de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 1987), apresenta os níveis de várias frequências sonoras para nortear uma seleção de sons ou ruídos emitidos pela música executada ao vivo nos Templos.

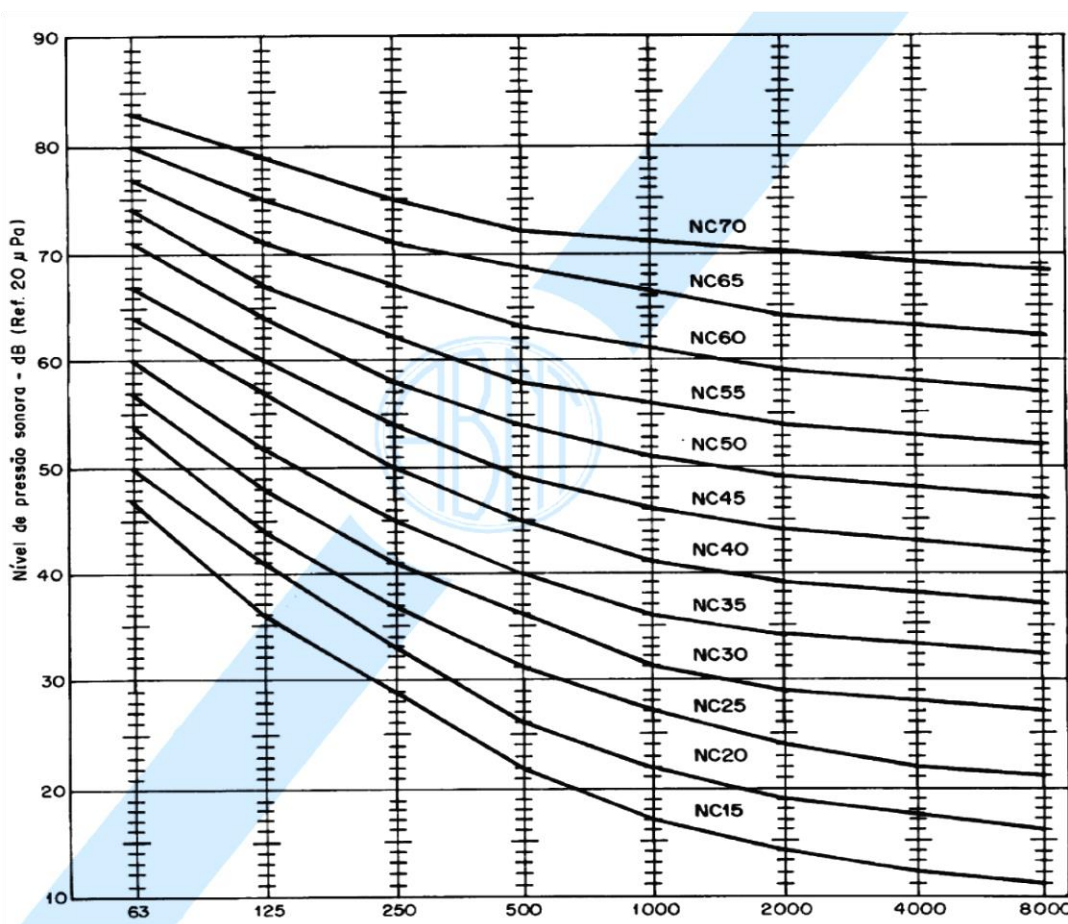


Figura 11 – Análise de Frequência (ABNT, 1987).

Tabela 11 – Níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação (NC)

Curva	63 Hz dB	125 Hz dB	250 Hz dB	500 Hz dB	1 kHz dB	2 kHz dB	4 kHz dB	5 kHz dB
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	50	41	33	26	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	36	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

Quando no que concerne a igrejas com banda ao vivo, tem-se a necessidade de uma análise da gama de frequências relativa aos instrumentos mais comuns usados nesta atividade musical; por que uma banda com formação básica teria, em relação à frequência captada pelo ouvido humano, três instrumentos que cercariam as frequências graves, médias e agudas. Um contra baixo atingiria frequências menores em torno de 40 HZ até 300 HZ e a Guitarra elétrica emitindo algo entre 90 HZ e 1.0 KHZ; desse modo, com essa classificação, é possível uma investigação direcionada de isolamento acústico para maior eficiência contra “vazamentos” e lembrando que o estudo em questão requer cuidado de registrar a eficiência do revestimento da igreja, de maneira a preservar o sossego de arredores. Moscatti (2013) fez um trabalho inverso para que o ruído vindo da rua não atribulasse o culto religioso. Como especificado, o interesse é captar os sons de “pico” no interior da igreja e analisá-los fora, de modo a um comparativo normativo. A figura 12 representa as frequências emitidas pelos instrumentos musicais utilizados comumente nas bandas que tocam em encontros religiosos.

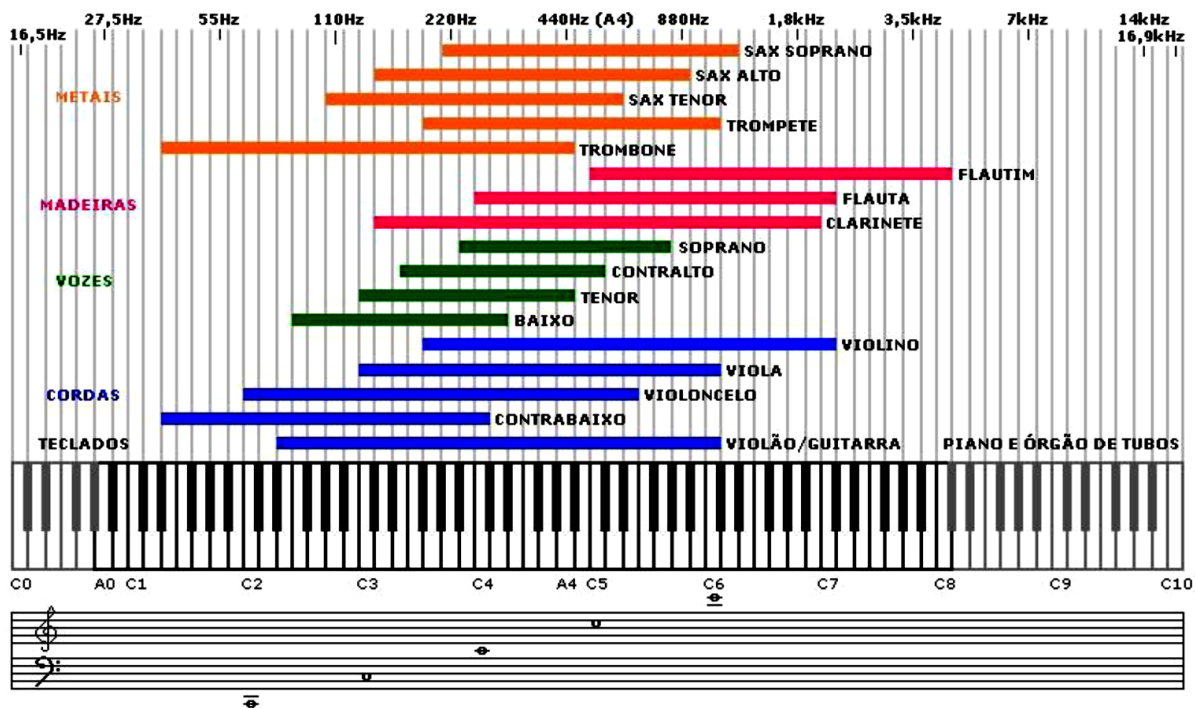


Figura 12 – Intervalo de frequência dos instrumentos (Filippo Filho, 2004)

5.2 Estudo do Isolamento Acústico

A necessidade de privacidade em construção civil sempre foi algo de debates e um cuidado especial do Código de Obras é específico para várias das situações que englobam esse tema. Um dos particulares disso é o revestimento acústico de prédios que são alvo de ruídos externos ou produzem certos tipos de ondas sonoras cuja intensidade e frequência, fazem a necessidade de isolamento da vizinhança. Qualquer barreira imposta a qualquer onda sonora faz um trabalho de isolamento. Dependendo do material usado, tem-se muita, média ou pouca absorção sonora. Um isolamento acústico refere-se à capacidade que certos materiais têm de formarem essa barreira, impedindo ou dificultando a onda sonora (ou ruído) de passar de um recinto para outro. Foi descoberto em testes de laboratório que nestes casos, desejando-se impedir que o ruído alcance outro ambiente, deve-se utilizar materiais densos para dissipar a energia sonora e outros mais densos para absorver. Cada material a disposição no mercado, pronto para aplicação direta ou moldado no local da obra, tem sua capacidade de absorção individual característica como, por exemplo, vidro, concreto, chumbo, borracha, esponja de alta densidade, alvenaria, madeira maciça, cortinas de tecido denso, entre outros.

Segundo GERGES (1992, pg. 175) “a energia sonora pode ser transmitida via aérea (som carregado pelo ar) ou através via sólido (som carregado pela estrutura)”, representado na figura 13.

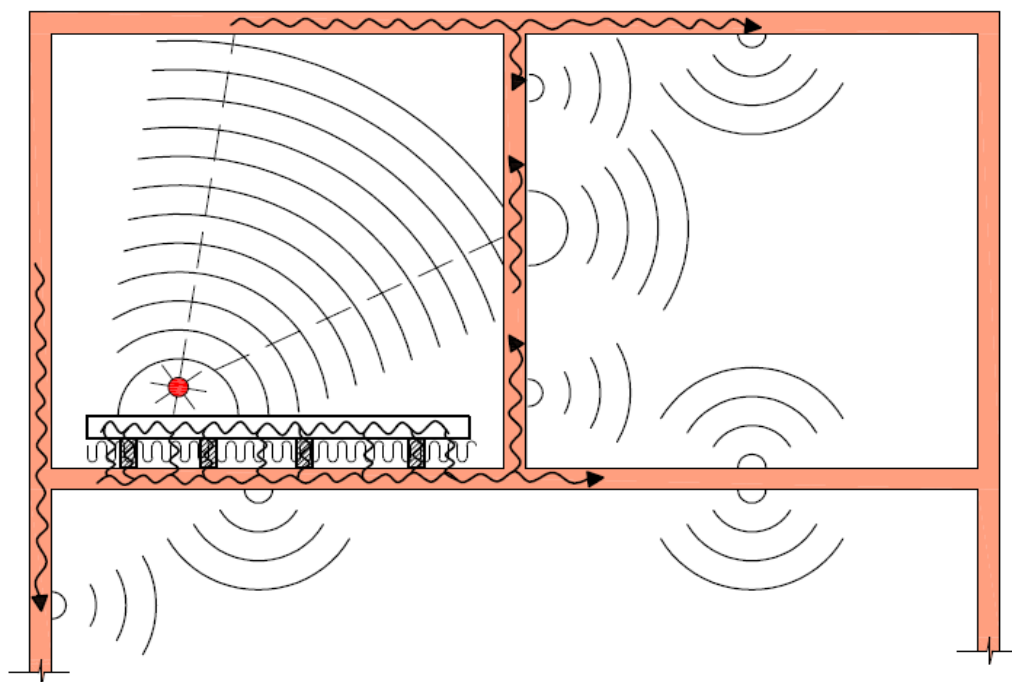


Figura 13 – Transmissão da energia sonora (Gerges, 1992).

A transmissão é feita pela estrutura do prédio que conduz molécula a molécula essa energia mecânica, de compartimento para compartimento confundindo, muitas vezes os moradores da posição origem do som.

Um correto isolamento acústico deve ter direcionamento tri dimensional, obedecendo a estrutura física do som, explanada em “ondas” e escolhendo com cuidado os materiais usados para este trabalho. A preocupação específica é especialmente para as paredes e aberturas, e é indispensável, atenção especial junto as lajes, responsáveis pela propagação de sons mecânicos. Neste caso, o sistema de isolamento para atenuação da transmissão de ruídos de impacto mais utilizado é o “piso flutuante”. Este, conhecido também como “laje flutuante” é basicamente na colocação de um material resiliente entre a estrutura (concreto, aço, madeira) e o contra piso (Gerges, 1992).

A definição de material resiliente ou resilente consiste na capacidade de absorção e acumulação de energia vibratória, quando expostos a estresse como ruptura. São considerados resilientes de uso eficaz aqueles com alto grau de absorção sem danos visíveis. São capazes de suprir as condições exigidas pelo princípio massa/mola (Sistemas restauradores, cuja primeira frequência de ressonância, segundo Gerges, está bem abaixo da frequência mínima de excitação). Neste caso específico, massa é o conjunto definido pelo contra piso e assoalho, enquanto mola diz respeito às características elásticas do elemento resiliente. Alguns exemplos de revestimentos acústico considerados mais eficientes podem ser a espuma de polímeros, copolímero de etileno-acetato de vinila (EVA), a lã (de vidro e de rocha), fibras de madeira, bidim OP60, cortiça, borracha de baixa densidade, manta de polietileno (composta de EVA e Polietileno) e poliestireno expandido.

Sendo as propriedades físicas e mecânicas de compósitos expandidos de polietileno co-acetato de vinila (EVA) muito indicadas em revestimentos, para atuarem como uma das camadas resilientes, de maneira a “segurar” o som amortizando suas vibrações moleculares e diminuindo sua condução para outros ambientes.

A manta de polietileno ou qualquer derivado desta substância, tem preço bastante acessível devido sua larga escala em produção mundial e com sua propriedade física mais importante, é inerte; torna-se um excelente aliado no revestimento interno para tratamento acústico em geral.

Em alguns casos deve-se ter uma proteção termo acústica em ambientes como hospitais, que requisitam dos construtores cuidados específicos O Bidim, sendo um geotêxtil possui excelentes características físicas e mecânicas e é um material escolhido para o revestimento em coberturas metálicas em geral, absorvendo ruídos e eliminando problemas comuns de coberturas metálicas. Estas, quando estimuladas por qualquer fonte sonora emitem sons que, em alguns casos podem atingir níveis bastante elevados. Aplicado no intuito de coibir excessos, o geotêxtil Bidim melhora o conforto termo acústico de ambientes interligados, por ser uma manta com elevada porosidade, ao ter tais filamentos atingidos pelas ondas sonoras incidentes, trabalha como substância resiliente, fazendo com que essas ondas se reflitam pelos poros, e depois se chocando novamente com os filamentos. Esse

choque com o ar dissipa a energia sonora como energia térmica, atenuando sons para varia direções melhorando o conforto termo acústico dos ambientes.

Foi observado que a combinação de várias barreiras de isolamento acústico de materiais diferentes produz um isolamento acústico consideravelmente mais eficiente que apenas um obstáculo de mesma dimensão. A combinação desses recursos diferentes, dependendo das necessidades de isolamento acústico, é funcional e direcionada ao tratamento ou isolamento. Quando em escolas que possuem salas geminadas por divisórias não estruturais, por exemplo, com diferentes fontes de ruído, é possível revestir a face externa da parede com material isolante e a interna com material de grande absorção.

5.3 Acréscimo do custo da alvenaria no isolamento acústico

Materiais usados além da alvenaria comum, reboco e emboço para revestimento e isolamento acústico das paredes externas no limite lateral do templo de onde provém a maior intensidade de volume sonoro produzido pela banda. Este custo foi levantado com preço médio do mercado local para um comparativo de como um tratamento pode estar deveras ao alcance de qualquer obra e que seu custo-benefício é bastante aceitável.

Tabela 12 – Preços dos materiais usados no isolamento das paredes limites atrás do púlpito

Materiais	Preço/m (R\$)	Preço/m ² (R\$)
Isopor 15 mm Folha de (1.00 x 0.50)	3,50	7,00
Tela de arame ϕ 2mm Largura (1 x 2.00)	40,00	40,00
Carpete 12 azul 4 mm Folha (1 x 2.00)	26,50	13,25
Total de acréscimo no revestimento por m ² de parede		R\$60,25

6. MÉTODOS E PESQUISA

O estudo de caso foi feito no templo religioso Igreja da Paz Central. O templo da Igreja da Paz, localizado na Av. Borges Leal no bairro de Santa Clara, foi escolhido para estudo de medições sonoras com parâmetros comparativos com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) coadunando com o Código de Posturas do Município de Santarém, Estado do Pará, por ser o único prédio para encontros religiosos sem registro de reclamações nos órgãos competentes.

Com relação ao funcionamento da igreja, destacam-se as atividades semanais e dominicais, todos com ministração da palavra falada e apresentação musical (banda), o templo possui completo equipamento de som instalado na nave da igreja.

O templo em questão possui uma planta em forma retangular com área aproximada de 816.74 m² e altura útil de 5.4 m, a edificação perfaz um volume aproximado de 4.400 m³ e tem como estrutura interna o altar, a plateia (representado na figura), além de salas que são utilizadas para secretaria, telefonia, tesouraria e acolhimento. O acesso principal se dá pela porta lateral do prédio e a saída do público pela porta frontal, mostrado na figura 14:

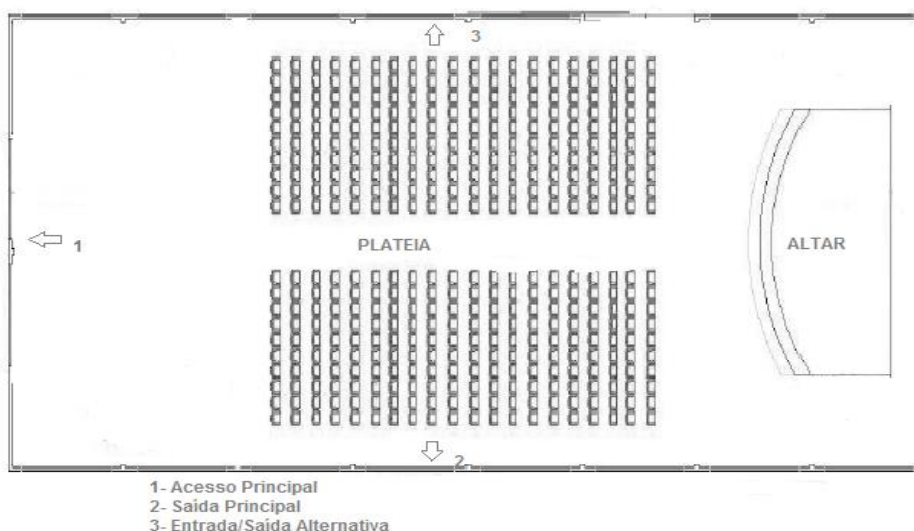


Figura 14 – Representação da área interna do templo.

Os materiais usados foram descritos por técnicos entrevistados no local que forneceram as dimensões, quantidade e processos executados quando na

construção da igreja, com supervisão de um arquiteto, para maior controle de eficiência. Houve, dentro de parâmetros populares de mercado, uma seleção para compra de materiais que trabalhassem em conjunto fazendo barreiras sucessivas à passagem de som para o exterior da edificação. Essas especificações supervisionadas eram para direcionar o tipo, modelo, quantidade e dimensões de modo a haver encaixe sem sobras de material e uma disposição correta na execução segundo projeto.

As paredes frontais do edifício, de um pavimento térreo, fazem fronteira com uma avenida cujo movimento de veículos e pedestres é intenso. Estas foram executadas com 600,0 mm de espessura, em alvenaria dupla à singelo, com argamassas de emboço (15,0 mm) e reboco (20,0 mm) sem cal e possui portas de vidro temperado escuro (15,0 mm) por onde se realiza a entrada e saída de pessoas, como mostra a figura 15.



Figura 15 – Medição da parede externa

Este prédio de pavimento único térreo possui uma área útil de (26,0 x 26,0) m², onde ficam o público e um palco de (5,4 x 26,0) m², onde a banda e o coral com o pastor realizam o culto; perfazendo uma área de 816,9 m² aproximadamente. Sendo que, as paredes laterais da edificação que ficam por trás do palco tiveram um cuidado específico de tratamento mais elaborado, quando foram revestidas com materiais de modo a trabalharem juntos com absorção sonora e impedindo assim que haja propagação excessiva às laterais avizinhas, já que o prédio é localizado no meio de um quarteirão residencial.

Os revestimentos foram colocados em alvenaria a singelo, emboço de 15,0 mm e reboco de 25,0 mm do lado esquerdo, onde se tem o limite de vizinhança, figura 16 e, os revestimentos referentes ao interior da igreja foram de telas de isopor de 15,0 mm colocadas em contato na superfície da alvenaria, com tela de arame para sustentação de 2,0 mm de diâmetro o fio, na qual foi aplicado um reboco de massa “forte” de 30,0 mm, que após secagem de 24 horas teve um acabamento final em colagem de carpete azul de 4,0 mm, perfazendo um total de 301,0 mm de parede externa, como representado na figura 16. Este carpete azul de 4,0 mm também serve de revestimento de superfície para o púlpito como um todo, com intenção de obter mais absorção e menos reflexão sonora. Os sons projetados para o público ficam definidos, sem interferências de ondas refletidas nas superfícies da estrutura.

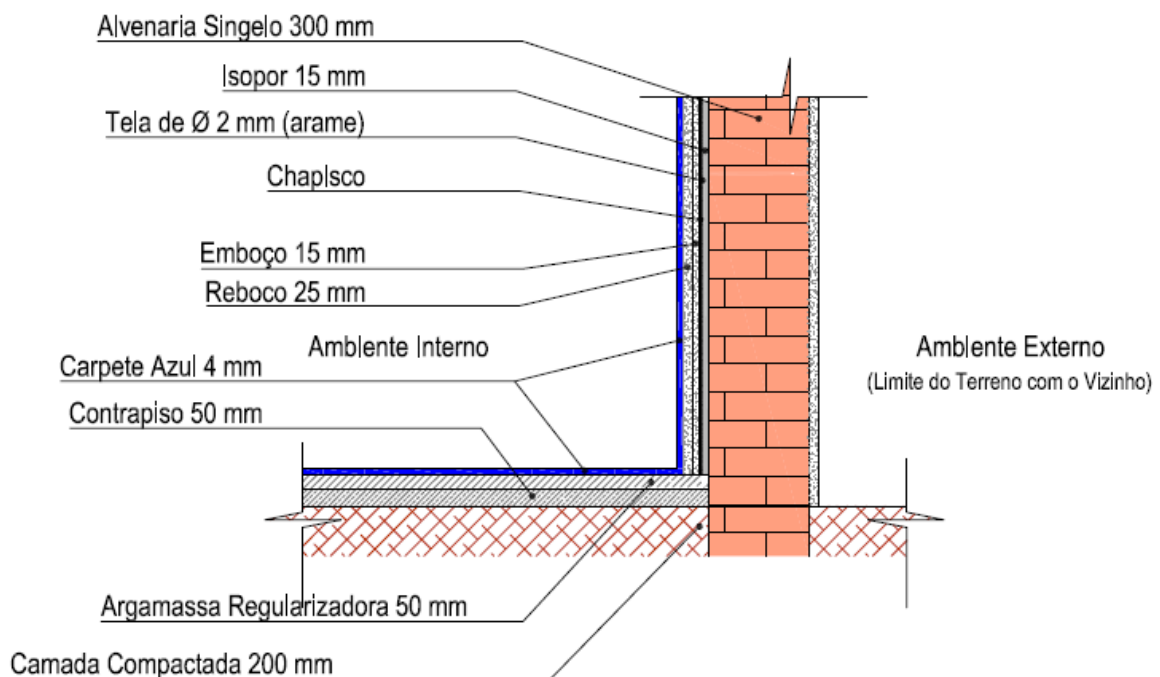


Figura 16 – Revestimento em alvenaria com limítrofe para a vizinhança.



Figura 17 – Revestimento de carpete na parede do altar (Foto Igreja da Paz)

O revestimento do teto foi feito em isopor de 10,0 mm acompanhando a curvatura do telhado, como mostra a figura 18 e 19. Esta forma em arco foi obedecida segundo projeto, pra que o som produzido pela banda no palco, projetado para frente pelos amplificadores, entrasse em contato com teto sendo absorvido pelo material (isopor) e evitasse reflexão e eco. Este forro apresentou persianas atenuadoras de ruídos a cada 3,0 metros dispostas em todo o salão.



Figura 18 – Foto ilustrativa do revestimento do teto.



Figura 19 – Foto ilustrativa do revestimento do teto

No que se refere à área da Igreja da Paz Central de Santarém do Pará que é utilizada como auditório de uso diverso dentro das necessidades do Templo, esta apresenta volume de aproximadamente 4.400,0 m³, com tempo de reverberação esperado em 1,8s; segundo medidas da equipe que fez o trabalho de isolamento acústico em 2006. Os materiais empregados nas superfícies internas foram sentados com o devido cuidado e supervisão, pois; devido às limitações dos mesmos, a técnica faz enorme diferença na eficiência acústica posterior (paredes, os pisos de alvenaria pintada a singelo com reboco e isopor com tela e altar revestido com carpete simples). Nas extremas das paredes laterais na direita e esquerda, foram consideradas como sendo 45% absorventes; tetos em telhas de fibrocimento com forro de isopor e esquadrias e porta de vidro foram estimados com 18% à 22% de absorção e palco de alvenaria com piso cimentado coberto com carpete e cadeiras plásticas da plateia, utilizou-se uma projeção de público para 400 pessoas sentadas.

Tabela 13 – Superfícies encontradas na Igreja da Paz.

Superfície	Área (m ²)
Paredes	439,6
Piso plateia	675,8
Altar	140,94
Esquadrias de vidros	27,6
Portas de vidro	12,2

As medições sonoras foram feitas pelo técnico credenciado, da SEMMA, segundo as especificações da NBR 10151 (ABNT, 2000), NBR 10152 (ABNT, 1987) e Lei 17894(2004) do Código Ambiental de Santarém, em seu artigo 154. Estas medições foram feitas na parte externa do prédio; no passeio público ou calçada obedecendo à norma citada de 2,0 metros do limite da propriedade e de quaisquer superfícies refletoras e a 1,2 metro de altura conforme instruções do fabricante do decibelímetro.



Figura 20 – Mapa da localização do templo visto de cima (Fonte: googlemaps, acesso junho 2014).



Figura 21 – Área externa do templo

O Instrumento de medição da marca ICEL Manaus, modelo DL-4090, N° 030703388, IEC 651 Type II, numero do certificado 06355/2013, com data de calibração última de 03/04/2013 estava atendendo as especificações da IEC-80942, mostrado nas

figuras 21 e 22. As medições internas, próximas à fonte de emissão estavam de acordo com o item 5.3 da NBR-10151(ABNT, 2000), que indica a distância de 1,0 metro de quaisquer superfícies como teto, pisos e móveis.



Figura 22 – Medidor de pressão sonora utilizado pela SEMMA



Figura 23 – Marca e modelo do decibelímetro utilizado na pesquisa

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim como qualquer ciência, a acústica sofreu globalização para conferir condições de vida melhor, se adaptando a realidades diferentes, alternativas com desafios marcados por novos materiais de revestimento a se adaptarem à cada realidade específica. Dessa forma, novas tecnologias têm surgido como soluções técnicas muitas vezes não divulgadas na mídia, deixando assim a desejar para um estabelecimento; que necessita de um conforto acústico adaptável, eficiente e com custo benefício sustentável.

O que se observa, principalmente em cidades menos desenvolvidas, é um descaso com a acústica de edificações dificultando o melhoramento destas condições. Mas à medida que essas transformações acontecem, o profissional da construção civil, tanto arquitetos quanto engenheiros, têm como desafios novas exigências em que tipo de projeto deve ter qual tipo de isolamento acústico compatível com sua função social. Enquanto as pesquisas em países desenvolvidos se estabelecem como ordem, em alguns países subdesenvolvidos isso não acontece, mas uma adaptação com elementos mais simples podem ter uma saudável consequência na engenharia acústica deixando ambientes isolados com o mínimo de vazamentos de som e ruído; e, em cidades, de um modo geral, tem-se uma grande quantidade de reclamações registradas em órgão públicos, referentes a excessos de ruídos por atividades diversas e/ou por constante passagem de veículos em determinado ponto crítico do trânsito.

As secretarias que trabalham diretamente com esse tipo de atividade são chamadas de “Ambientais”, a exemplo de Santarém no estado do Pará, procura-se educar a população nesse específico sentido de poluição sonora excessiva que consiste numa veemente peleja noturna de técnicos em finais de semana.

Os três tipos específicos de poluição sonora são: ruídos de trânsito, ruídos produzidos no centro comercial e os produzidos em casas de atividades coletivas com manifestações coletivas de composições instrumentais diversas. Estas últimas fazem parte de um leque de possibilidades como boates, teatros, cinemas e igrejas.

As situações todas necessárias de âmbito social integram com continuo convívio e, para isso, os ambientes devem ser respeitados. Os cinemas não costumam ter vazamentos sonoros, mesmo com toda a potência dos sistemas de som internos que, em alguns casos chegam a atingir 110 dB de pico em cenas de explosões de filmes de ação e as igrejas não podem ser diferentes, como estabelecimentos que promovem um tipo de atividade que usa amplificação sonora, até por necessidade física, devido as suas dimensões. De maneira geral têm-se atividades evangélicas de alto teor sonoro com a participação de bandas em cultos e missas; o que deixa um necessário isolamento do mundo exterior bastante evidente.

Quando existe qualquer área do conhecimento envolvida, as palavras “específicas”, “especial” ou “especialista” são sinônimas de custo elevado, o que normalmente levam o cliente a se preparar para um acréscimo na soma investida, ou seja, nos custos e o isolamento acústico sofre esse tipo de discriminação ainda hoje, com todo o aparato disseminado na mídia sobre uma sociedade mais social, globalizada, tolerante, comunitária; em que tudo deve funcionar como parte de um contexto de modo que não se tenha o prejudicial como parte de convivência e sim, o profissionalismo de técnicas apuradas para uma “obra” que funcione em consonância com as normas técnicas estabelecidas.

As condições que se buscam para todos os estabelecimentos que trabalham com um volume sonoro maior que uma conversa entre pessoas (60 dB), é que tenham um tratamento acústico preocupado com vazamentos para prédios adjacentes e pedestres; sem forçá-los à participar de algum movimento sonora interno, transformando isso num transtorno; como mencionado na Lei do silêncio - LEI Nº 126, DE 10 DE MAIO DE 1977, em que o que se tem para uma sustentabilidade de tolerância auditiva social, são níveis de conforto sonoro para a audição humana.

A emissão de ruídos de qualquer tipo coloca o direito de sossego público em confronto com a saúde da população em geral e a necessidade de contenção sonora se faz presente para um convívio urbano na medida em que existem normas técnicas de medição de ruídos com critérios específicos. Neste conjunto de fatos surgem opções de tratamento e isolamento acústico que visam à organização e direcionamento de uma quantidade sonora considerável.

Como postulado em definições diversas de isolamento acústico, devem-se ter condições ter uma boa noite, leitura, estudos e/ou qualquer outra atividade que faça parte do direito individual garantido pela cidadania. Em situações mais extremas; têm-se enfermidades que não escolhem hora e nem lugar para ocorrerem. Então, não faltam exemplos em que um recinto de eventos, com padrão de intensidade sonora elevado, irá produzir considerável incômodo se houver “vazamentos sonoros”:

A questão envolta em um investimento para revestimento acústico deve ser vista como um único incômodo para um gozo de tranquilidade profissional ou familiar no futuro. Sem incômodos com “abaixo assinados” e fiscalizações de Secretarias do Meio Ambiente Municipais com exigências de adaptações que recaem em reformas civis, cujo custo tem maior valor agregado; como está disposto em lei, a lei do silêncio é um direito do cidadão.

Quanto a como se realiza os encontros religiosos, tem-se o direito fundamental do indivíduo, observado no artigo 5º da Constituição da República Federativa do Brasil, no inciso VI. Mesmo visto esse direito, este não autoriza a atividades de ruídos excessivos com vizinhança ativa, ou seja, não dá permissão a ninguém para poluição sonora e a liberdade de cultos religiosos deve ser adaptada a NBR 10152 (ABNT, 1987) para que a tolerância seja palavra de ordem. Quando nisso, tem-se então o princípio de um reconhecimento da necessidade de um tratamento acústico local. Neste quesito chega-se a necessidade de um isolamento acústico, cuja definição é a não passagem de som de um ambiente para o outro. Isto requer cuidados específicos através do uso de materiais adequados para este fim.

Quando se quer isolar um som deve-se ter o cuidado com reflexões sonoras, pois estas produzem “eco” e, na maioria das vezes não é bem vindo. Quando este som produz ainda variação, tem-se reverberação sonora, a qual soa como vários sons emitidos com certo atraso. Conhecido no meio eletrônico-acústico-musical como “delay”. O que se faz necessário então, é um tratamento acústico para evitar o “eco” dentro do estabelecimento com atenuadores de ruídos; que no caso escolhido,

foram do tipo persianas, fixadas no teto, como foi descrito anteriormente no item 3 (Materiais e métodos).

Outra grande preocupação é o isolamento do som nas paredes esta é tida como de alto custo, pois precisa de material com grande massa ou alta densidade para reter a energia cinética produzida pelas ondas sonoras. Foram observados em experiências que é importante se terem várias barreiras sonoras, que funcionaram como obstáculos de densidades diferentes a fim de obrigar o som a mudar de velocidade de vibração molecular na refração (passagem da onda sonora de um meio para outro). Estas, no caso estudado, foram feitas com materiais comuns na “praça”, sem qualquer dificuldade de obtenção dos mesmos. Descritos no item 3 “Materiais e métodos”; eles são tijolos, isopor, argamassa de cimento, malha de ferro e carpete; fazendo assim a diversidade de barreiras para propagação sonora do ambiente interno da igreja para o externo, rua e vizinhança. Sendo importante frisar que os elementos usados como isolantes não devem se tocar diretamente; usando para isso espumas e borrachas.

No caso mencionado como objeto de estudo, foram usadas folhas de isopor para garantir uma rigidez vertical devido ao seu encaixe e leveza no manuseio. A facilidade de encontrá-los no mercado e a familiaridade que eles possuem com os mestres de obra e técnicos aplicadores é que deixam o trabalho mais fácil. Embora o cuidado com frestas seja importante contra “vazamentos”, pois pode prejudicar todo o trabalho de isolamento; é um ponto de atenção em portas com seus caixilhos e janelas para aplicação de espumas e borrachas mantendo a estanqueidade do ambiente.

O grande problema que se discute na eficiência do isolamento acústico de qualquer ambiente é que “vazamentos sonoros” são “ruídos sonoros” para viventes adjacentes. E a classificação de “ruídos” é de certa forma subjetiva, ou seja, depende de quem ouve. Segundo Gonçalves (1989): “(...) Som é o efeito produzido por ondas mecânicas longitudinais capazes de pressionar o ouvido humano e quando uma onda sonora é muito irregular é chamada de ruído”.

Casos comuns de classificações de um mesmo som são discutíveis. Enquanto para uns, permanece a definição clássica musical que diz que ruídos são sons em desarmonia; Lida (1990) afirma que ruído nada mais é do que um som indesejável, o que torna discutível o “pra quem é indesejável?”. Casos de ensaios de bandas, shows de qualquer espécie e cultos fazem o “comum” neste tipo de reclamação quando estas são oficializadas. E a verificação de reclamantes pelo órgão competente tem um intuito nobre de se saber em que tipo de caso ela vai ser diagnosticada. Há registros de reclamações de idosos de sons classificados de baixa frequência para registros humanos, algo em torno de 20 Hz, que só foi possível com uso de aparelho digital.

O Código de Obras, no seu Art. 107, de Dezembro de 2012, deixa claro que “Os compartimentos e ambientes deverão ser posicionados na edificação e dimensionados de forma a proporcionar conforto ambiental, térmico e acústico...” e no Art.117 tem-se que as edificações “... deverão receber tratamento acústico adequado...”; isso também é reforçado no Art.127 que registra a avaliação pela capacidade do elemento construtivo de atenuar e absorver ruídos. Isso tudo no Código de Posturas do Município é responsável pela organização legal do comportamento social de uma cidade e se apoia em normas técnicas para isso.

Com os artigos direcionados para este fim, o Art.114 sobre “Tranquilidade pública” proíbe a perturbação do sossego público e bem estar da vizinhança em relação aos ruídos e sons produzidos e o Art.115 fala da dependência de licença prévia da prefeitura sobre funcionamento de aparelho sonoro e, especificamente no segundo parágrafo sobre música ao vivo; vindo seguido do Art.116 sobre a medição destes ruídos e sons sob os critérios da ABNT. De maneira geral e com o âmbito ambiental explícito o Art.235 fica claro a obrigação da prefeitura que fixará regulamento para “impedir ou reduzir a poluição do meio ambiente...”.

O último artigo do Código de Posturas Municipal é o 245 que posta: “[...] disciplinar e controlar o uso de aparelhos de reprodução eletroacústicos em geral”. A tolerância humana para um conforto auditivo foi estudada e classificada, para áreas externas, segundo a NBR10151 (ABNT, 2000). Onde numa área mista limita-se a 65 dB em ambientes externos.

As medições de ruídos ou qualquer outro tipo de som a ser classificado e estudado devem ser criteriosos, pois, qualquer tipo de erro ou interferência invalida resultados tornando toda a pesquisa não confiável. As medições foram feitas de acordo com o horário de pico da utilização do estabelecimento que, devido ao mês dezembro e janeiro teve um comparecimento maciço de pessoas, deixando assim a verificação confiável.

A tabela mostrada na NBR 10152 (ABNT, 1987), que é uma atualização da NBR 10151 (ABNT, 2000) sobre análise de ruídos (Nc), define de 40 a 50 dB para encontros religiosos.

A função-mor da norma sobre acústica em áreas habitadas, respeitando os limites de ruídos urbanos, deve adequar templos e igrejas a um tratamento de isolamento acústico a contento para a vizinha respectiva, de acordo com Moscatti (2003). O autor cita ainda 3 grupos de atividades que são bares-restaurantes, igrejas e vizinhos; devidamente discriminadas por Araújo (2005), do IMETRO-Brasil.

As medições deste trabalho foram feitas para uma verificação de compatibilidade de valores na unidade, o decibel (dB). Para a avaliação de ruído produzido por este templo religioso foram instalados 03 pontos de medição nos locais indicados, como mostra a planta baixa do templo.

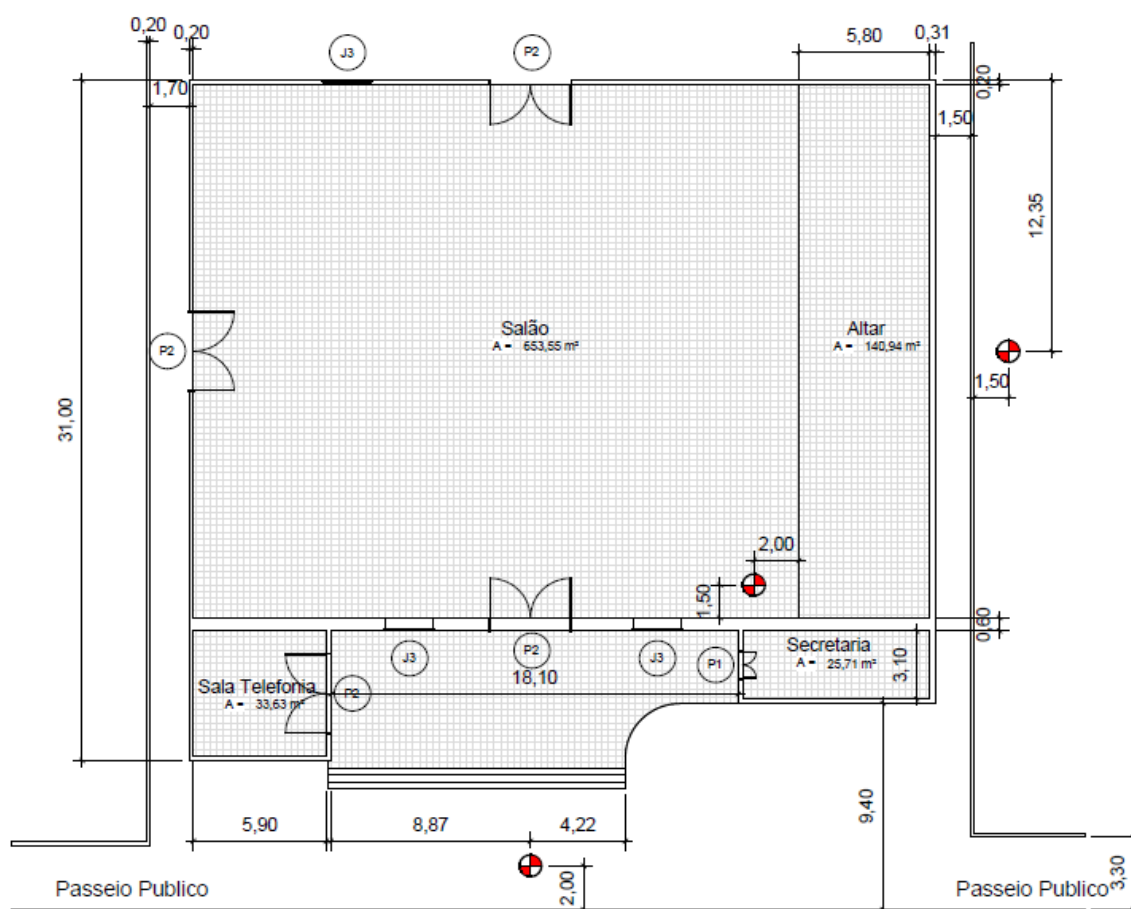


Figura 24 – Planta baixa da Igreja do templo.

1. Dentro: 84 dB(A) durante as pregações e 114 dB(A) nos louvores com a banda da igreja tocando no altar.
2. No passeio público: 40 dB(A) correspondentes as pregações e 65 dB(A) registrados no louvor com a banda tocando.
3. Vizinhos: 35 dB(A) registrados para as pregações e 50 dB para louvores com a banda.

Nos intervalos o registro teve variância bastante irregular entre esses valores mínimos e máximos, tomando-se sempre o cuidado para registrar cada um deles e não perder o registro de picos, tornando esses registros dentro do que se exige para a classificação de confiabilidade irrestrita exigida pelas normas.

Para que seja possível interferir acusticamente numa edificação é necessário entender que há uma diferença entre o isolamento e acondicionamento ou tratamento acústico. Pode-se dizer que o objetivo do isolamento é não deixar passar som de dentro para fora de um ambiente que se deseja isolar; a proposta do tratamento acústico onde o que se propõe é criar uma sonoridade agradável dentro do ambiente, fazendo um controle da reverberação e ecos, sanando problemas modais e promovendo uma resposta de frequências adequada ao tipo de utilização daquele local. No caso da Igreja em questão, o isolamento foi analisado para ver o nível atingido pelo trabalho acústico realizado. O tratamento foi eficaz para sanar os problemas da acústica em relação a convivência da igreja com a sociedade. A tabela 14 a seguir é o comparativo do que era o templo antes do tratamento realizado:

Tabela 14 – Comparativo da intensidade sonora pós-tratamento acústico.

PONTOS	Antes do Tratamento Acústico		Depois do Tratamento Acústico	
	Pregação	Louvor	Pregação	Louvor
Dentro do terreno vizinho	64 dB(A)	80 dB(A)	35 dB(A)	50 dB(A)
Dentro do Templo	82 dB(A)	111 dB(A)	84 dB(A)	114 dB(A)
Passeio Público	53 dB(A)	76 dB(A)	40 dB(A)	65 dB(A)

8. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com o presente trabalho, infere-se que o ideal seria que essas edificações estivessem locadas em espaços afastados dos centros urbanos, no entanto, isso não ocorre pelo fato das igrejas sempre priorizarem a instalação de suas edificações em locais os mais próximos possíveis de seus frequentadores, por isso, é que as áreas residenciais são as mais atingidas pelo excesso de ruídos provocados no interior dos templos.

Essa realidade foi comprovada pelo estudo de referência direto realizado com a Igreja Nova Aliança do Brasil que apresentou como um dos aspectos ambientais principais o excessivo tempo de reverberação interno, ocasionando baixa inteligibilidade, pouca definição e clareza para a palavra falada, ou seja, ela é uma edificação imprópria para a utilização de um de seus principais usos, as pregações. Além disso, o reflexo dessas condições acústicas é perceptível nas pessoas que residem no entorno desse templo que se mostram bastante irritadas quando questionadas com relação aos impactos sonoros causados pelo vazamento da igreja.

Com relação à Legislação Ambiental existente, pouco se fala sobre o tratamento dos aspectos ambientais encontrados nessas edificações, no máximo, é feito um controle nos horários das emissões sonoras bem como são estabelecidas algumas permissões ou proibições de equipamentos e nada mais, o que acaba por ser insuficiente em determinados casos onde a Legislação não se aplica.

No entanto é importante que os responsáveis pelos templos evangélicos se conscientizem de que não se trata apenas de questões relacionadas exclusivamente a qualidade do meio ambiente, o que já seria um importante motivo, mas principalmente, a saúde das pessoas expostas a essa problemática. Dessa forma torna-se imprescindível a adequação acústica dos espaços de cultos existentes para que tanto os fieis que frequentam essas edificações quanto à população do seu entorno não sofra com os danos que essa causa.

Por fim, comprova-se que a realidade diagnosticada por esta pesquisa é um problema sério que vai além do limite religioso, esbarrando nas questões sociais e

de qualidade de vida tanto para aqueles que frequentam as reuniões religiosas quanto para seus vizinhos e transeuntes os quais são submetidos, mesmo contra vontade, a essa “agressão sonora”. Por isso, a relevância desse trabalho o qual buscou apresentar subsídios técnicos para a conscientização, bem como para o tratamento dos aspectos ambientais responsáveis pela poluição sonora não apenas para uma igreja em especial, mas para todos aqueles prédios que apresentarem problemas semelhantes, sabendo que a mudança do espaço físico só será realidade quando se mudar primeiramente a consciência de que todos têm direito ao culto, direito a recreações com música ao vivo, contanto que respeitem o espaço do próximo, promovendo assim, a paz.

A grande questão discutida neste trabalho foi de como pode ser feito um isolamento acústico sem que se tenha uma gama de materiais de custo elevado envolvidos neste fim. A falta de igrejas e templos e até casas de shows, com acústica à prova de vazamentos, segundo os Códigos de Obras e Posturas, compromete a convivência harmoniosa de vizinhos. A igreja, como um templo de oração, requer pessoas para frequentá-lo e por isso, localiza-se próximo a locais de alta densidade demográfica. Os impactos sonoros produzidos nos vizinhos causam irritabilidade para a maioria quando não participam de eventos na igreja ou em qualquer outro ambiente emissor de ondas sonoras, no que diz respeito às pessoas que passam nas calçadas; estas não deveriam ser agredidas por um som alto por vazamentos acústicos. A engenharia civil se propõe a dar essa solução a contento.

Valendo-se de equipamento especializado para medição, foi mostrado que com alguns tipos de revestimentos sobrepostos, de maneira a dificultar a passagem sonora; o isopor, a argamassa, a malha de arame e o carpete colaboram no tratamento para que o edifício mantivesse a intensidade sonora vibrante no seu interior e apenas o volume equivalente ao de uma simples conversação chegue a pedestres e vizinhos. Estes materiais são de fácil aquisição no mercado. Em qualquer lugar do Brasil é possível encontra-los, quebrando o paradigma da dificuldade de tratamento e/ou isolamento acústico. Para áreas mistas predominantemente residenciais o limite de 55 decibéis foi ultrapassado no passeio público por apenas 10 decibéis; isto é uma pequena variação para um tratamento com esses materiais simples. No vizinho foi registrada medição mínima de 35 e

máxima de 50 decibéis, onde se tem por tabela para áreas residenciais um máximo de 55 decibéis. Isto mostra uma eficiência bastante aceitável, visto o nível sonoro de uma conversação captada a um metro é de 60 decibéis e de um toque de telefone ou trânsito de 70 dB. A eficiência registrada nas medições mostra que materiais comuns e de fácil acesso no mercado, corroboram para um tratamento quase perfeito, dentro das normas técnicas exigidas valendo como incentivo para uma mudança de comportamento cultural no quesito investimento em isolamento de tratamento acústico de prédios emissores de som neste nível abordado.

8.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Mediante ao estudo de caso apresentado, segue sugestões para trabalhos futuros:

- Projeto de pesquisa em materiais derivados de reciclagem que possam funcionar como revestimento para isolamento acústico.
- Projeto de pesquisa e extensão de materiais reciclados para tratamento acústico em ambientes fechados.
- Projeto de pesquisa de comparação orçamentária de material reciclável resiliente e opções do mercado local de investimento.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, M. A.N. de, Laboratório de ensaios acústicos do IMETRO-Brasil. 2005.
2. Arquitetura e Urbanismo. Acústica de Auditórios. Disponível em: www.arq.ufc.com.br/arq5661/trabalhos_2008-2/acustica/auditorios.doc. Acesso em: 20 de Maio de 2014.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.
4. _____ NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002.24 p.
5. _____ NBR 6028: informação e documentação – resumo – apresentação. Rio de Janeiro, 2012. 2 p.
6. _____ NBR 10151: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.
7. _____ NBR 10152: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2000.
8. _____ NBR 12179: tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
9. _____ História da Normalização Brasileira. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2011. 112 p.
10. _____ INMETRO. Guia da expressão da incerteza de medição. Rio de Janeiro, 2003. 120 p.

11. BALLOU, G. (ORG) Handbooks for Sound Engineers: The new áudio cyclopedia. Carmel (IN): Howard & Sams Company, 1991. 1056 p.
12. BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.
13. BISTAFA, S.R Acústica Arquitetônica: Qualidade sonora em salas de audição crítica. Descrição detalhada. (2005) <Disponível em: [www.poli.usp.br/p1sylvio.bistafa / ACUSARQ/ACUSRQ_CNPQ.pdf](http://www.poli.usp.br/p1sylvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSRQ_CNPQ.pdf)>Acesso em: 03 jun 2014.
14. BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 05 de outubro de 1988. São Paulo: Saraiva, 2013. 448p.
15. BRASIL, MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990. Dá nova redação ao artigo 2º da Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo, 18, jan,1990.
16. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Dispõe sobre a Atividade e Operações Insalubres. Portaria MTE nº 3751, de 23 de novembro de 1980.
17. BRASIL. SANTARÉM. Lei 17894, de 15 de dezembro de 2004. Código Ambiental de Santarém. Câmara Municipal, p. 47
18. BRASIL, SANTARÉM. Lei n. 19.191, de 12 de dezembro de 2012. Código de Obras. Câmara Municipal, 2012, p 48
19. BRASIL, SANTARÉM. Lei n. 19.207, de dezembro de 2012. Código de Posturas. Câmara Municipal, 2012, p. 56
20. CARVALHO, B, de A. Acústica Aplicada à Arquitetura. Ed. São Paulo: Freitas Bastos S. A., 1967, 101p.

21. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Institui em caráter nacional o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio. Resolução n. 02, de 08 de março de 1990. DOU 02,abr, 1990.
22. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Dispõem sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Resolução n. 01, de 08 de março de 1990 . DOU 02. Abr, 1990.
23. COSTA, E. C. da Acústica Técnica. 1. Ed. S P: E. Blucher LTDA, 2003, 127 p.
24. ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. *HolosEnvironment*. v. 6, n. 2, p. 137, 2006. ISSN: 1519-8421(CD-ROM). ISSN: 1519-8634 (on-line).
<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos>.
25. GERGES, S. Ruídos Fundamentos e Controle. Rio de Janeiro: Ed. N.R, 1992.
26. GONÇALVES, D. Física: Termologia, Óptica e Ondas. Rio de Janeiro: Editora do livro técnico S.A. 1989.
27. IIDA, I. Ergonomia. Projeto e Produção. São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA, 1990.
28. LIMA, F. R. de. Decibéis e Fé: A questão acústica das igrejas evangélicas de Natal/RN. Trabalho Final de Graduação. UFRN: 2008.
29. MENDEZ, A. M.Acústica Arquitectônica. 1.ed. Buenos Aires: UMSA, 1994. 238 p.

30. MOSCATTI, S. R.. Desempenho acústico de templos e igrejas; Subsídio à normalização. 2013. 172 f. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2013.
31. NAKAMURA, J. Conforto Acústico. Revista Técnica, 106ª Edição, Ano XIV, 2006, p.44-47.
32. REYNOLDS, D. D. Engineering Principles of Acoustics. Boston: Allin and Bacon Inc., 1981, 641 p.
33. R. WILSON, Filter Topologies, J. Engineering Society, Vol 41, No. 9 , September, 1993.
34. SALVADO, S. Inovação de isolamento acústico em cortiça. Projeto apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. Disponível em: <http://www.dem.ist.utl.pt/~mpta/SofiaSalvadorPrjecto.pdf>. Acesso em: 22/07/14.
35. SANCHEZ, L. H.. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
36. SCHROEDER, M. New Method of Measuring Reverberation Time. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 37, p. 409-412, 1965.
37. VALIANTE, F. F. Idealizador e editor do site Áudio nas Igrejas. Disponível em <http://www.audionasigrejas.org>. Acesso em 09 mai.2014.
38. VIANNA, N. S ; RAMOS J. O. Acústica Arquitetônica & Urbana. Apostila do Curso de Extensão em Arquitetura e Urbanismo Empresa YCON. 2005, 79 p.

APENDICE

1. NORMAS, LEGISLAÇÃO E CÓDIGO DE POSTURA DO MUNICÍPIO

1.1 NORMAS BRASILEIRAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas foi fundada em 1940, é responsável pela normalização técnica no país. É uma entidade sem fins lucrativos. É reconhecida através da Resolução nº 07 do CONMETRO de 24 de Agosto de 1992, também é representante e membro fundador da ISO (International Organization for Standardization), da COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e da AMN (Associação Mercosul de Normalização) , IEC (International Electrotechnical Commission)

As normas brasileiras que se relacionam direta e indiretamente com a acústica são:

1.2 NBR 10151 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000), esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades de modo geral para o ouvido humano, independente da existência de reclamações, especifica um método para a medição de ruído e uma aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores relevantes às medições. O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (**LA_{eq}**), em decibells ponderados chamado **dB(A)**. A Norma visa uma melhor qualidade de vida à comunidade e que o nível de pressão sonora deverá ser equivalente à ocupação do solo em que estão localizados. A IEC (International Electrotechnical Commission) determina algumas prescrições dentro desta Norma, como a IEC-60651:1979 - Sound level meters; que torna mensurável os níveis sonoros, IEC-60804:1985 - Integrated averaging sound level meters e a IEC-60942:1988 - Sound calibrators, onde tem-se as obrigatoriedades de reparos de manutenção do equipamento medidor.

Para que se tenha um resultado confiável, é preciso que a conduta do operador, esteja de acordo com as instruções. A ABNT e o INMETRO afirmam que erros grosseiros podem induzir erros desconhecidos, porém significativos no resultado de uma medição. (ABNT & INMETRO, 2003, p.8). A medição exterior do local a ser analisado, deverá ser feito a 2m de distância do limite da propriedade e de qualquer superfície refletora. Também deverá estar, aproximadamente, cerca de 1,20m do piso. O nível sonoro da medição deverá ser comparado com o Nível Critério de Avaliação, com os valores tabelados pela norma nos períodos diurno ou noturno. De acordo com a ABNT “o período noturno não deve começar depois das 22h e não deve terminar depois das 7h do dia seguinte”. (ABNT, 2000). No relatório de medições devem constar “marca”, tipo ou classe e o número de série do aparelho utilizado, bem como a data e o certificado da última calibração, desenho esquemático detalhado dos pontos de medição, horário e duração das medições do ruído, nível de pressão sonora corrigido L_c , nível de ruído do ambiente, valor do NCA de ruído para a área a ser analisada e o horário da medição e a referência a esta Norma.



Figura 25 – Medidor de Pressão Sonora - Decibelímetro.

1.3 NBR 10152 - Níveis de Ruído para Conforto Acústico

O objetivo desta Norma é fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes em relação ao ouvido de um espectador, de modo a se ter um controle comparativo entre ambientes para um limite de operação social sem interferências. Esta norma trabalha com níveis em Decibéis condicionados à

diversas situações sociais representadas pelo tipo de local em questão. O nível acústico limite de ambientes urbanos tem estudos qualitativos e quantitativos para uma padronização que permita convívio de várias atividades diferentes, vizinhas e coadjuvantes. Para uma avaliação de ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade tem-se o filtro para análise de vibração sonora IEC 225 - Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sound and vibrations e o IEC 651 - Sound level meters, que funciona como medidor de níveis de volume. Estas normas são definidas pela pressão sonora ponderada A, em pascals (PA); nível pressão sonora, em decibels (LP); nível de pressão sonora ponderado LPA, em decibels (dB) e Curva de avaliação de ruído (NC).

1.4 NBR 12179 – Tratamento Acústico em Recintos Fechados.

Esta norma fixa os critérios para tratamento acústico em recintos fechados. Para que se aplique essa norma, é necessário verificar a NBR 7731 e NBR 10152. Para o efeito dessa norma, faz-se necessário também verificar definições do tipo tratamento acústico, som, faixa de audiofrequência, tom puro, tom, ruído, isolamento acústico, condicionamento acústico, ruído de impacto e som, tempo de reverberação, tempo ótimo de reverberação, decibel, nível de som, nível de pressão acústica (intensidade sonora) e nível de pressão acústica.

1.5 Norma Internacional – Organização Mundial da Saúde (OMS)

É uma agência especializada em saúde, foi fundada em 07 de Abril de 1948, é subordinada à Organização das Nações Unidas (ONU). De acordo com sua constituição, a OMS tem por objetivo desenvolver ao máximo possível o nível de saúde de todos os povos. A saúde por sua definição é o *estado de completo bem-estar físico, mental e social* e não consistindo somente da ausência de uma doença ou enfermidade. O Brasil tem participação fundamental na história da Organização Mundial da Saúde, criada pela ONU para elevar os padrões mundiais de saúde. A proposta de criação da OMS foi de autoria dos delegados do Brasil que propuseram o estabelecimento de um "organismo internacional de saúde pública de alcance mundial".

2.LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A emissão de sons e ruídos que causam incômodos e danos à saúde às pessoas e animais enquadram-se no conceito de poluição legalmente aceito no Brasil a partir do decreto de 06 de Maio de 1824. A legislação ambiental disciplina o controle da poluição de um modo geral, obrigando o licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras, entre elas as que emitem elevados níveis de sons, ruídos e vibrações. A legislação ambiental federal, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e a Lei nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998 que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”, cujo artigo 54 considera crime “causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”.

2.1 Resolução CONAMA 6.938/81

Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. É regulamentada sob o Decreto nº 99.274.

2.2 Resolução CONAMA nº 001, de 08.03.1990

“Dispõe os critérios e padrões para a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive a propaganda política” (Brasil, 1990). Esta resolução é aplicada aos níveis de ruído estabelecidos pela NBR 10151 e NBR 10152 (ABNT, 1987). A NBR 10151 (ABNT, 2000) substitui a NBR10151 (ABNT, 1987).

2.3 Resolução CONAMA nº 002, de 08.03.1990.

Institui o Programa Nacional de Educação e Controle de Poluição Sonora Silêncio, visando controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem estar da população.

2.4 Código de Obras do Município de Santarém

A Lei Municipal nº 19191 de 28 de dezembro de 2012 dispõe em seus artigos normas referentes a execução de qualquer tipo de edificação com cuidados arquitetônicos de maneira a proporcionar conforto ambiental, acústico, térmico e com

proteção contra umidade, bem como o dimensionamento de cada cômodo e posicionamento geográfico (Art.107). Indica também a instalação de equipamentos, que pode ter influências na acústica de qualquer ambiente.

Como a disposição de ambientes ruidosos e suas ligações com outros ou áreas de atividades que precisem de ruídos mais amenos tem devida importância, o artigo 117 deixa claro a necessidade do tratamento acústico para não produzir incômodos à vizinhança e garantir a saúde auditiva do trabalhador profissional. Dando ênfase ao cuidado de conexão com logradouros públicos, que com passagem de pedestres e/ou veículos podem ter confluência de sons e ruídos.

As características técnicas dos elementos construtivos nas edificações são exigidas no artigo 127 de acordo com a qualidade e quantidade dos materiais e/ou do conjunto dos mesmos com a integração de seus componentes, suas condições de utilização e observando as normas técnicas vigentes em relação à resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento acústico e condicionamento acústico.

Para a aplicabilidade acústica deve-se ter expressa a diferença entre isolamento e tratamento acústico, de modo a satisfazer as normas de conforto auditivo.

2.5 Código de Postura do Município de Santarém

Projeto de Lei nº 19207 de 17 de Novembro de 2011 dispõe cuidados em relação ao ambiente externo a construção em projeto de execução. No artigo 114 trata da proibição de se perturbar o sossego público ligando isso saúde auditiva, em relação a sons e ruídos excessivos de qualquer forma produzidos.

No tratamento de produção de sons e ruídos, tem-se a instalação de fontes sonoras de qualquer tipo em comércios, indústrias reguladas pela licença prévia da Prefeitura no artigo 115; onde fica explícita essa dependência de funcionamento. Ligado a isso, a medida em decibéis é regulada no artigo 116, obedecendo às normas da ABNT.

O artigo 117 obriga os estabelecimentos que comercializem ou consertem aparelhos sonoros a instalação de isolamento acústico quando se pretender a geração de sons

de intensidade superior à estabelecida no artigo anterior; o que deve ocorrer no teste dos concertos diários.

A Prefeitura deverá regular o estado de salubridade do ambiente da cidade, de maneira pública, para que todos tenham conhecimento desse cuidado evitando assim, sons excessivos e a poluição sonora, abordada no artigo 235.

A disciplina na localização em setores diversos, comércios e condomínios e vilas, é abordada no artigo 245 que, deixa clara a necessidade de limites sonoros também em campanhas políticas por causa de propagandas eleitorais. Estende-se também ao tráfego de veículos próximo a hospitais, escolas e maquinários que produzam ruídos tipo explosão, bem como estabelecer os limites de funcionamento de horários noturnos na construção civil que, comumente necessita de atividades fora de horário diurno.

Este último artigo visa um controle mais global de atividades sonoras comuns e mais agressivas, que tem como fim o social completo de respeito para convivência em um setor urbano compatível com qualquer cidade.