

MARCOS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL GERADO POR UM
EQUIPAMENTO DE AR CONDICIONADO**

São Paulo

2011

MARCOS DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL GERADO POR UM
EQUIPAMENTO DE AR CONDICIONADO**

Monografia apresentada a Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Especialista de
Engenharia de Segurança do Trabalho.

São Paulo

2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa que com muito carinho me apoiou, nos vários sentidos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a JESUS, em primeiro lugar, que me deu o dom da vida e tem concedido graça para conclusão do curso e deste trabalho.

Aos meus pais que foram instrumentos de Deus para que eu tivesse vida e que me encaminharam aos estudos.

Minha esposa e minha amiga, que esteve me dando ânimo quando levantava cedo ou ia dormir tarde para estudar, me apoiou juntamente com a minha filha maravilhosa Agnes, em todo período de curso.

Sr. Paulo Moura e a empresa analisada, onde as portas foram abertas para que este estudo de caso fosse realizado. E, ao sr. Edvânio que, atrasou em muito seu almoço, para que eu pudesse finalizar as medições sonoras.

A todos os professores do curso de engenharia de segurança do trabalho, em especial:

Dra. Renata Stellin, pela assessoria no curso e no decorrer deste trabalho;

Dr. Sérgio Médici de Eston, coordenador do curso, que se propôs até a emprestar seu livro particular para que este trabalho fosse realizado;

Me. Michiel Wickers Schrage, do laboratório, que me orientou neste trabalho quanto a fórmula de Sabine;

Dr. Sylvio R. Bistafa, que me informou e atendeu, com espontaneidade, retornando-me a ligação, com muita humildade e, mesmo sem me conhecer pessoalmente, explicou-me a particularidade da fórmula comentada em seu livro;

Dr. João Gualberto de Azevedo Baring, que tentou nos ajudar em relação ao medidor de pressão sonora;

A todos os professores que deram o melhor de si para nos passar o conhecimento.

Às moças da Biblioteca de Minas, Ana Angélica e Maria Cristina, que tanto auxiliaram nas pesquisas bibliográficas.

Arquiteto Nacyr Martins Pereira que, confiou em mim, alugando seu equipamento.

O Serginho, meu irmão e também meu amigo, companheiro de trabalho e aluno da mesma sala e curso e, de idas e vindas, por todo período de curso.

Íris, Luiz, Alexandre, Mario, Aline e, Fernanda, meus colegas de trabalho, que me auxiliaram de diversas maneiras.

A minha sogra Maria Antonieta e minha cunhada Regina, que emprestaram seu computador quando o meu sofreu avarias, para o término deste trabalho.

Ao meu cunhado Norberto pelos auxílios prestados e apoio.

Mas, principalmente, à minha filha Agnes que teve o tempo com seu pai diminuído em função do curso e deste trabalho.

O silêncio é o ruído mais forte, talvez o mais forte dos ruídos.

(Miles Davis)

RESUMO

Este trabalho visa verificar a avaliação do ruído ambiental gerado por aparelhos de ar condicionado, mais especificamente seus condensadores, instalados em um prédio comercial que se posiciona lindeiro ao condomínio residencial reclamante. Estes equipamentos encontram-se em área externa, provocando um ruído que chega a incomodar seus vizinhos, moradores que na sua maioria são aposentados – possuindo uma principal reclamante que reside no quarto andar. A avaliação ambiental será avaliada sob quatro aspectos principais: avaliação do ruído emitido pela fonte geradora, ou seja, os equipamentos tipo chiller resfriado a ar pertencentes ao prédio comercial; medição do Nível de Pressão Sonora (NPS) dos equipamentos; medição do ruído na casa da reclamante, através de medições com a janela aberta e fechada; e, estudo de medidas com intuito de atenuar o impacto gerado pelo ruído desses equipamentos sobre os vizinhos. Para as medições será utilizado o sonômetro, mais popularmente conhecido como decibelímetro, com bandas de oitava. Com a intenção de atender aos parâmetros do Zoneamento Municipal de São Paulo, Lei 13.885, de 2004 e a NBR 10.151 (ABNT, 2000), para atenuação do ruído ambiental, foi avaliada a possibilidade de colocação de barreiras acústicas, combinadas com sistema de silenciador resistivo e, posteriormente, realizado um novo estudo de deslocamento dos condensadores para outro limite da propriedade, oposto ao prédio da reclamante, atendendo aos parâmetros da Lei de zoneamento de São Paulo e NBR 10.151 (ABNT, 2000); levando-se em conta o custo benefício, concluiu-se ser este último estudo o mais favorável para a situação.

Palavras-chave: Ruído urbano. Ruído ambiental. Barreira acústica. Silenciador resistivo.

ABSTRACT

This study aims to verify the environmental noise assessment generated by air conditioners, more specifically their condensers installed in an office building that stands bordering the residential condominium complainant. These facilities are outdoors, causing a noise that bothers their neighbors, residents who are mostly retired - as a principal claimant who resides on the fourth floor. The ambient examination will be evaluated under four main aspects: examination of noise emitted by a source, ie, equipment type air-cooled chiller belonging to the office building, measuring sound pressure level (SPL) of the equipments, measurement of noise at home the complainant, through measurements with the window opened and closed, and the study of measures aiming to mitigate the impact generated by the noise of the equipment on the neighbors. For the measurements will be used a sonometer, more popularly known as the sound level meter with octave bands. With the intention of meeting the parameters of the São Paulo Municipal Zoning, Law 13,885 of 2004 and NBR 10151 (ABNT, 2000), for attenuation of ambient noise, was considered the possibility of placing noise barriers, combined with resistive muffler system and subsequently conducted a new study of displacement from the condensers to another place of the property boundary, opposite to the building of the complainant, given the parameters of the Zoning Law of São Paulo and NBR 10151 (ABNT, 2000), considering the cost benefit, it was concluded that this latest study was the most favorable for the situation.

Keywords: Urban noise. Ambient noise. Barrier acoustics. Resistive muffler.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização	24
Figura 2 – Escala Linear versus escala logarítmica	27
Figura 3 – Variação da pressão ambiente em função do tempo	28
Figura 4 – Comprimento de Onda	30
Figura 5 – Vetores intensidade sonora a duas distâncias da esfera pulsante.....	32
Figura 6 – Limite de audibilidade.....	33
Figura 7 - Anatomia da orelha humana	35
Figura 8 - Limiar de audibilidade e de dor	36
Figura 9 - Reflexão, absorção, transmissão e difração	38
Figura 10 - Difração.....	41
Figura 11 - Difração de ondas sonoras	42
Figura 12 - Trajetória do ruído na barreira	44
Figura 13 - Trajetória da onda sonora através da barreira acústica	46
Figura 14 - Estimativa de potência sonora - equipamentos em campo semi livre.....	48
Figura 15 – Ciclo frigorífeno	52
Figura 16 – Ventilador radial	55
Figura 17 - Axial	55
Figura 18 – Fluxo misto ou helicoidal	56
Figura 19 – Compressor Scroll.....	57
Figura 20 - Silenciador resistivo retangular	58
Figura 21 – Silenciador resistivo circular.....	59
Figura 22 – Condensadores	69
Figura 23 – Prédio do vizinho reclamante ao lado esquerdo dos condensadores	69
Figura 24 – Sonômetro na posição frontal	71
Figura 25 – Sonômetro e suas conexões	72

Figura 26 – Demonstração dos locais dos pontos medidos	75
Figura 27 - Medição nº 1, entre os condensadores 2 e 3	75
Figura 28 - Medição nº 2, entre os condensadores 1 e 3	76
Figura 29 - Medição nº 3, entre o muro de divisa e o condensador 3	76
Figura 30 - Medição nº 4, projeção da marquise sobre o condensador 2	76
Figura 31 – Localização dos pontos em torno da fonte sonora.....	77
Figura 32 - Medição nº 5, a 20m da fonte em diagonal.....	77
Figura 33 - Medição nº 6, a 10m da fonte entre condensador 2 e 3.....	78
Figura 34 - Medição nº 7, a 15m da fonte de frente ao condensador 2.....	78
Figura 35 - Medição nº 8, no térreo do prédio, no limite da propriedade da reclamante.....	79
Figura 36 - Localização da medição no 4º andar	80
Figura 37 - 1º medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta	81
Figura 38 - 2ª medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta	81
Figura 39 – 3ª medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta	82
Figura 40 – 4º medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada.....	82
Figura 41 – 5º medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada.....	83
Figura 42 - 6ª medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada.....	83
Figura 43 – Localização da medição no 11º andar	84
Figura 44 - 1º medição do 11º andar, janela aberta	85
Figura 45 - 2ª medição do 11º andar, janela aberta	85
Figura 46 - 3ª medição do 11º andar, janela aberta	85
Figura 47 - 4ª medição do 11º andar, janela fechada	86
Figura 48 – 5ª medição do 11º andar, janela fechada.....	86
Figura 49 – 6ª medição do 11º andar, janela fechada.....	87
Figura 50 – Barreira sonora para todo o prédio.....	89
Figura 51 – Barreira sonora para atender só o 4º andar	90

Figura 52 – Diferença de altura do equipamento em relação à marquise	95
Figura 53 – Localização dos condensadores próximos ao almoxarifado	96
Figura 54 – Detalhes da exaustão.....	97
Figura 55 – Condensadores – vista dos requadros de cantoneiras	97
Figura 56 – Distância da fonte para o 4º andar	98
Figura 57 – Vista em 3D.....	99
Figura 58 - Chapa perfurada expandida (SAE 1060 20x50 c.2).....	100
Figura 59 – Perfil da parede com material absorvente.....	100
Figura 60 – Painel do silenciador	101
Figura 61 – Detalhamento do distanciamento dos perfis	102
Figura 62 – Posicionamento do painel sobre os condensadores	103
Figura 63 – Planta dos perfis e painéis resistivos, sem escala	104
Figura 64 – Barreira para todo o prédio	115
Figura 65 – Barreira para o 4º andar.....	118
Figura 66 – Esquema da mudança da fonte sonora.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Eq	equação
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira Registrada
NCA	Nível Crítico de Avaliação
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial de Saúde
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
SEE	Secretaria de Estado de Educação
SILÊNCIO	Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).	49
Tabela 2 – Emissão de Ruído	49
Tabela 3 - Comparação da Lei de zoneamento com a NBR	107
Tabela 4 - Tabela de correção utilizando o NCA.....	108
Tabela 5 - Média aritmética em bandas de oitava dos pontos a 1 m da fonte.....	108
Tabela 6 – Nível de potência sonora da fonte de ruído.....	109
Tabela 7 – Pontos mais distantes da fonte atual nos limites da propriedade em bandas de oitava	109
Tabela 8 - Média aritmética no térreo do condomínio reclamante em bandas oitava	110
Tabela 9 - Comparação com a norma da medição do piso térreo do reclamante ...	110
Tabela 10 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 4º andar com a janela aberta	111
Tabela 11 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 4º andar com a janela fechada	112
Tabela 12 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 11º andar com a janela aberta	113
Tabela 13 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 11º andar com a janela fechada	113
Tabela 14 – Média aritmética das medições no 4º e 11º andar em bandas de oitava	114
Tabela 15 – Perda de inserção da barreira de 40 m para o 11º andar.....	116
Tabela 16 – Perda de inserção da barreira de 40 m para o 4º andar.....	116
Tabela 17 – Perda de inserção da barreira de 12 m para o 4º andar.....	119
Tabela 18 – Absorção sonora do silenciador resistivo	121
Tabela 19 – Índice de redução sonora gerada pela aplicação da lã de rocha nas paredes da barreira	121
Tabela 20 - Inserção da barreira em conjunto com o silenciador resistivo	122

Tabela 21 - Inserção da barreira em conjunto com o silenciador resistivo	123
Tabela 22 – Resultado do nível sonoro reduzido com a instalação do conjunto silenciador + barreira.....	123
Tabela 23 – Redução sonora relacionada ao deslocamento dos equipamentos (fonte sonora)	124
Tabela 24 – Tabela comparativa de valores para implantação do sistema	126
Tabela 25 – Níveis de Conforto Acústico da NBR 10152.....	146
Tabela 26 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB estabelecidas por Beranek.....	147

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas de Fletcher e Munson.....	34
Gráfico 2 - Curvas de Compensação A, B, C e D	37
Gráfico 3 - Absorção sonora.....	39
Gráfico 4 - Perda na inserção através do número de Fresnel.....	45
Gráfico 5 - Velocidade de superfície	61
Gráfico 6 - Isolação sonora da parede de concreto com 14cm.	92
Gráfico 7 – Velocidade de superfície.....	94

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz	Hertz (unidade de medida de frequência)
PA	Pressão Atmosférica
T	Período
MS	Milesegundos
Ms	Microsegundos
P_{max}	Variação da pressão máxima
P_{min}	Variação da pressão mínima
A	Absorção Total em metros quadrados
$P_{ambiente}$	Variação da pressão ambiente
F	Frequência
m/s	Metros por segundo
Λ	Comprimento de onda
C	Velocidade do som em metros por segundo
I	Intensidade sonora
W	Largura da Parede
m^2	Metro quadrado
Pc	Impedância característica do meio de propagação
I_r	Intensidade sonora
p_{eficaz}	Valor eficaz da pressão sonora
r	Coordenada esférica
dB	Decibéis
Fon	Unidade de sensibilidade
N/m ²	Newton por metro quadrado
dB(A)	Decibéis relativos à curva A de ponderação
dB(B)	Decibéis relativos à curva B de ponderação
dB(C)	Decibéis relativos à curva C de ponderação
dB(D)	Decibéis relativos à curva D de ponderação
P	Coeficiente de reflexão sonora
A	Coeficiente de absorção sonora

$I_{absorvida}$	Intensidade sonora absorvida
$I_{incidente}$	Intensidade sonora do som incidente
$I_{refletida}$	Intensidade sonora do som refletido
T	Coeficiente de transmissão sonora
$I_{transmitida}$	Intensidade sonora transmitida
Δ	Diferença de caminho percorrido pela onda sonora
IL	Perda na inserção
N	Número de Fresnel
ΔL	Atenuação proporcionada pela barreira
L_w	Nível de pressão sonora dos equipamentos
L_p	Média dos níveis de pressão sonora
CA	Condicionamento de ar
PT	Perda de transmissão
L	Comprimento
P	Perímetro
S	Área
VS	Velocidade na superfície
Vf	Vazão do ventilador
B	Largura total do silenciador
BA	Largura total de passagem de ar
Ω	Ângulo de livre propagação do sólido
DI	Diretividade do som
$A_{combinada}$	Combinação de atenuação sonora
TR	Tonelada de refrigeração
L_{Aeq}	Nível de Pressão Sonora em dB(A) equivalente
DL_	Índice de absorção da barreira acústica

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
1.2	OBJETIVO	23
1.3	JUSTIFICATIVA	24
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1	CONCEITO DE SOM E RUÍDO	25
2.2	LIMIAR DE AUDIBILIDADE E LIMIAR DE DOR.....	26
2.3	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO AMBIENTE.....	28
2.4	VELOCIDADE (C).....	29
2.5	COMPRIMENTO DE ONDA (λ).....	29
2.6	INTENSIDADE SONORA (I).....	30
2.7	POTÊNCIA SONORA (W).....	31
2.8	EFEITOS DO RUÍDO NO SER HUMANO	32
2.9	CURVA DE COMPENSAÇÃO	36
2.10	BARREIRAS ACÚSTICAS	37
2.10.1.	Reflexão.....	38
2.10.2.	Absorção.....	39
2.10.3.	Transmissão	40
2.10.4.	Difração.....	41
2.11	PERDA NA INSERÇÃO DA BARREIRA.....	42
2.12	PRESSÃO SONORA EM TORNO DA FONTE	47
2.13	IMPACTO AMBIENTAL E A LEGISLAÇÃO	48
2.14	SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E SEU FUNCIONAMENTO	51

2.15	VENTILADORES.....	54
2.16	COMPRESSOR	56
2.17	SILENCIADORES RESISTIVOS E ABSORÇÃO SONORA	57
2.18	RUÍDO DE FUNDO	62
2.19	CÁLCULO DO NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA AO AR LIVRE, A PARTIR DO AFASTAMENTO DA FONTE EM RELAÇÃO AO RECEPTOR	63
2.20	REBAIXAMENTO DO RUÍDO PELA APLICAÇÃO DE MATERIAL ABSORVENTE (R_{RR}) EM DB	65
2.21	PERDA DE TRANSMISSÃO DE PARTIÇÃO COMPOSTA	66
3.	METODOLOGIA.....	68
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL	68
3.1.1	Exposição dos parâmetros da lei de Zoneamento lei 13.885 e NBR 10.151 (ABNT, 2000)	70
3.1.1.1	EMISSÃO DE RUÍDO PARA ZONA - ZCPB-05 (ZONA DE CENTRALIDADE POLAR).....	70
3.2	CONFRONTAÇÃO ENTRE A LEI E NORMA	71
3.3	DESCRÍÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	71
	Foram utilizados alguns acessórios para complementar o processo de medição:....	72
3.4	MÉTODO DE COLETA DE DADOS E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO.....	73
3.4.1	Etapa 1 – Medições próximas ao equipamento para determinação de ordem prática da potência sonora	74
3.4.2	Etapa 2: Medições do ruído de pontos mais distantes do equipamento, dentro dos limites da propriedade do edifício gerador de ruído.....	77
3.4.3	Etapa 3 – Medição do ruído no condomínio reclamante	78
3.5	ESTUDO DA ATENUAÇÃO E CONTROLE DO RUÍDO	87
3.5.1	ESTUDO DA INSERÇÃO DE BARREIRA.....	88
3.6	CONSTRUÇÃO DA BARREIRA	91

3.7 ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE UM SILENCIADOR RESISTIVO COM CÉLULAS DE ABSORÇÃO	93
3.8 CÁLCULO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA EM DB.	93
3.9 DESCRIÇÃO DO SILENCIADOR RESISTIVO	95
3.10 DESCRIÇÃO DO LOCAL E FORMA DE POSICIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS ENTRE ELES.....	95
3.11 DESCRIÇÃO DO SILENCIADOR RESISTIVO.....	98
3.12 CONSTRUÇÃO DA BARREIRA EM FUNÇÃO DO SILENCIADOR.....	99
3.13 CONSTRUÇÃO DO SILENCIADOR.....	101
3.14 REMANEJAMENTO DOS EQUIPAMENTOS CONDENSADORES	104
3.15 ESTIMATIVA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	106
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	107
4.1.1 Confrontação da Norma com a Lei de zoneamento de São Paulo.	107
4.2 MEDIÇÃO DA FONTE SONORA.....	108
4.3 MEDIÇÃO NO TÉRREO DO RECLAMANTE	110
4.4 MEDIÇÃO NA RESIDÊNCIA DOS RECLAMANTES	111
4.4.1 Residência da reclamante do 4º andar	111
4.4.2 Residência do reclamante do 11º andar	112
4.5 PLANEJAMENTO PARA REDUZIR O RUÍDO EMITIDO PELO CONDENSADOR	114
4.6 CÁLCULO DO SILENCIADOR RESISTIVO	119
4.7 CÁLCULO DA ATENUAÇÃO DA BARREIRA REVESTIDA COM MATERIAL ABSORVENTE	121
4.8 REMANEJAMENTO DOS EQUIPAMENTOS CONDENSADORES	124
4.9 ESTIMATIVA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	125

5.	CONCLUSÃO	127
6.	REFERÊNCIAS.....	129
	APÊNDICE A.....	134
	APÊNDICE B.....	135
	ANEXO A	140
	ANEXO B - NBR 10.152.....	146
	ANEXO C - LEI 13.885/2004.....	148
	ANEXO D	149
	ANEXO E - DESENHOS DO EQUIPAMENTO CONDENSADOR	150
	ANEXO F.....	151
	ANEXO G	152

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O tema ruído, hoje em dia, é de suma importância, pois afeta o meio ambiente e a qualidade de vida do ser humano, principalmente, nos grandes centros urbanos, conforme Fernandes (2010); bem como, deve ser considerado como um direito do cidadão já que é considerado como questão de saúde pública.

A Resolução Conama nº 01/90, considera que “níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente.”

Existe um programa nacional de educação e controle da poluição sonora, chamado “Silêncio”. Foi instituído pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 2, de 08.03.90.

Segundo o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente), este programa tem como objetivo principal o controle do ruído excessivo, tendo em vista que este é prejudicial à saúde e bem-estar da população, bem como, ao meio ambiente. Para isto se faz necessário estabelecer normas, métodos e ações controladoras, cuja coordenação é de responsabilidade do próprio IBAMA.

Poluição sonora é todo e qualquer “ruído capaz de produzir incômodo ao bem-estar ou malefícios à saúde,[...].” (MACHADO, 2010) Neste sentido, podemos caracterizar poluição sonora como o conjunto de ruídos advindos de uma ou mais fontes sonoras, tendo elevado nível de ruído ao mesmo tempo em um determinado local, gerando prejuízos à saúde e ao meio ambiente.

A emissão de ruído em decorrência de qualquer atividade deve estar dentro dos níveis aceitáveis pela Norma Brasileira Registrada (NBR) 10.151 (ABNT, 2000) – “avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade”, NBR 10.152 (ABNT, 1987) – “níveis de ruído para conforto acústico” e, principalmente, da legislação específica da região avaliada, no caso do Município de São Paulo,

obedece a legislação de uso e ocupação do solo, Lei 13.885 (de 25 de agosto de 2004).

Segundo Neto (2009), os danos provocados à saúde pelo ruído dependem da intensidade e do tempo de exposição aos quais as pessoas são submetidas. Esses danos vão desde distúrbios físicos a psicológicos, como por exemplo: distúrbios do sono, agravamento de doenças cardiovasculares, stress, zumbido no ouvido, perda de acuidade auditiva, dentre outros.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), aponta o ruído como o terceiro agente causador de poluição, perdendo espaço somente pela poluição do ar e da água, isto é, o ruído é um agente tão poluente quanto os demais, pois ainda que imperceptível, provoca consequências negativas à saúde, por vezes, irreversíveis como é o caso da perda auditiva.

O ruído excessivo é aquele que está acima dos níveis de conforto, dados pela NBR 10.152 (ABNT, 1987) em confrontação com a Lei de Zoneamento de cada município, no nosso caso, de São Paulo/SP, comprovado através das medições com base na NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Segundo Zwirtes (2006), o ruído urbano envolve desde o som de veículos automotores, aeronaves, trens, equipamentos, escolas, bares, construções civis, templos religiosos, entre outros, que ultrapassem os níveis de conforto acústico – o que é subjetivo, também, tendo em vista que o que é ruído para um, pode não o ser para outro.

Para controle do ruído, se faz necessária a identificação da fonte poluidora, sua trajetória e do receptor, segundo Bistafa (2006), para posterior identificação do melhor meio para atenuá-lo.

Sobre a questão ambiental tem havido um rápido crescimento quanto a preocupação do meio ambiente e do bem estar social. Esta preocupação é assistida pelos órgãos regulamentadores e fiscalizadores como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a Secretaria do Meio Ambiente (SMA), o IBAMA e Prefeituras Municipais.

O equipamento de ar condicionado de grande porte, normalmente, se divide em duas partes, ficando o evaporador na parte interna e o condensador na externa, em local arejado. (informação verbal)¹.

A instalação de dispositivos de atenuação de ruído em equipamentos se faz necessária quando for comprovada, através de medições de pressão sonora, que os mesmos encontram-se acima dos parâmetros previstos em lei específica.

Segundo Lagemann (2008), atualmente, vem aumentando o número de processos judiciais relacionados a ruídos ambientais, que normalmente prejudicam os vizinhos próximos de fontes sonoras.

É por este motivo que iniciamos a discussão sobre a avaliação de ruído ambiental gerado por um equipamento de ar condicionado.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a avaliação e medição do Nível de Pressão Sonora (NPS), do ruído gerado pelo equipamento de ar condicionado que incomoda o prédio vizinho, seguindo o nível de critério da Lei de Zoneamento de São Paulo, Lei 13.885, (2004) e as diretrizes da NBR 10.151, (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2000); posteriormente, propor estudos de atenuação de ruído do aparelho de ar condicionado, através de um método misto de barreira acústica e silenciador resistivo, bem como, o estudo de deslocamento dos equipamentos para outro limite da propriedade, oposto ao prédio da reclamante.

¹ Informação fornecida pelo fabricante do equipamento de ar condicionado – condensador (TRANE do Brasil), através do gerente Jean-Michel Wankenne - São Paulo, em 25 de novembro de 2.010.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa a avaliação do ruído ambiental gerado por um equipamento de ar condicionado de um prédio comercial, localizado no bairro da Consolação, área central do Município de São Paulo, que possui três condensadores, equipamentos que compõem o conjunto do sistema de ar condicionado.



Figura 1 - Localização
Fonte: Autor

O prédio vizinho é um condomínio residencial, lindeiro ao prédio comercial, conforme se nota na figura 1. A maioria de seus moradores é de aposentados, permanecendo mais tempo em suas residências e, por este motivo, ficam mais expostos ao ruído. A maior queixa contra os equipamentos de ar condicionado é quando estes são esquecidos ligados, após o período de expediente comercial da empresa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITO DE SOM E RUÍDO

A parte da Física que estuda os sons é chamada de Acústica e, envolve o estudo das vibrações e ondas mecânicas nos meios materiais. Segundo Silva (2005), tem sua origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir.

- O que é som?

Segundo Bistafa (2006), som é a sensação produzida no sistema de audição humano.

“Som também é definido como a variação da pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e banda de frequência as quais o ouvido humano responde”. (GERGES, 2000).

- O que é ruído?

Ruído é um som de conotação negativa, segundo Bistafa (2006).

Gerges (2000) acrescenta que o ruído é associado a som desagradável e indesejável.

O som é a percepção no sistema auditivo humano; e ruído é um som sem consonância, em geral de conotação negativa, porém subjetiva, dependendo de pessoa para pessoa - o som, denominado ruído, é considerado como desagradável e indesejável. (informação pessoal).²

² Módulo Didático: PRODUÇÃO E PERCEPÇÃO DE SONS - Currículo Básico Comum - Ciências Ensino Fundamental - Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-Minas Gerais - MG / março 2009 - Autores: Arjuna C. Panzera e Dácio G. Moura.

2.2 LIMIAR DE AUDIBILIDADE E LIMIAR DE DOR

O som pode ser definido como a variação de pressão ambiente, detectável pelo sistema auditivo do ser humano, conforme explica Bistafa (2006).

A menor variação de pressão detectável pelo ouvido humano é de 2×10^{-5} Pa, na frequência de 1 kHz, que corresponde a pressão de limiar da audibilidade, que equivale a, aproximadamente, 1 (dB).

Bistafa (2006) orienta que o limiar de dor no ouvido humano é de 60 Pa, o qual equivale a, aproximadamente, 130 (dB).

2.2.1 Origem do decibel

Conforme Bistafa (2006), o bel (B) é unidade relativa que depende da escolha “ P_0 ” chamado de Potência arbitrária de referência. É calculado, dividindo o nível de potência do sistema “P” sob a potência de referência “ P_0 ”. O bel possui o símbolo (B), que é igual a $\log(P/P_0)$; possui valores positivos quando forem maior que a potência de referência e, negativos quando assumirem valores menores que a potência de referência. Quando $P = P_0$, neste caso, o bel (B) equivale a zero. O dB é submúltiplo do bel (B) assim, “1B equivale a 10 dB”. O decibel é usado na escala logarítmica.

2.2.2 Pascal é utilizado para que?

A simbologia de Pascal é Pa, utilizado como unidade de pressão no Sistema Internacional de Unidades de Medidas. Equivale 1 Newton por metro quadrado (N/m^2). que é semelhante a $0,10 \text{ kg}/m^2$.

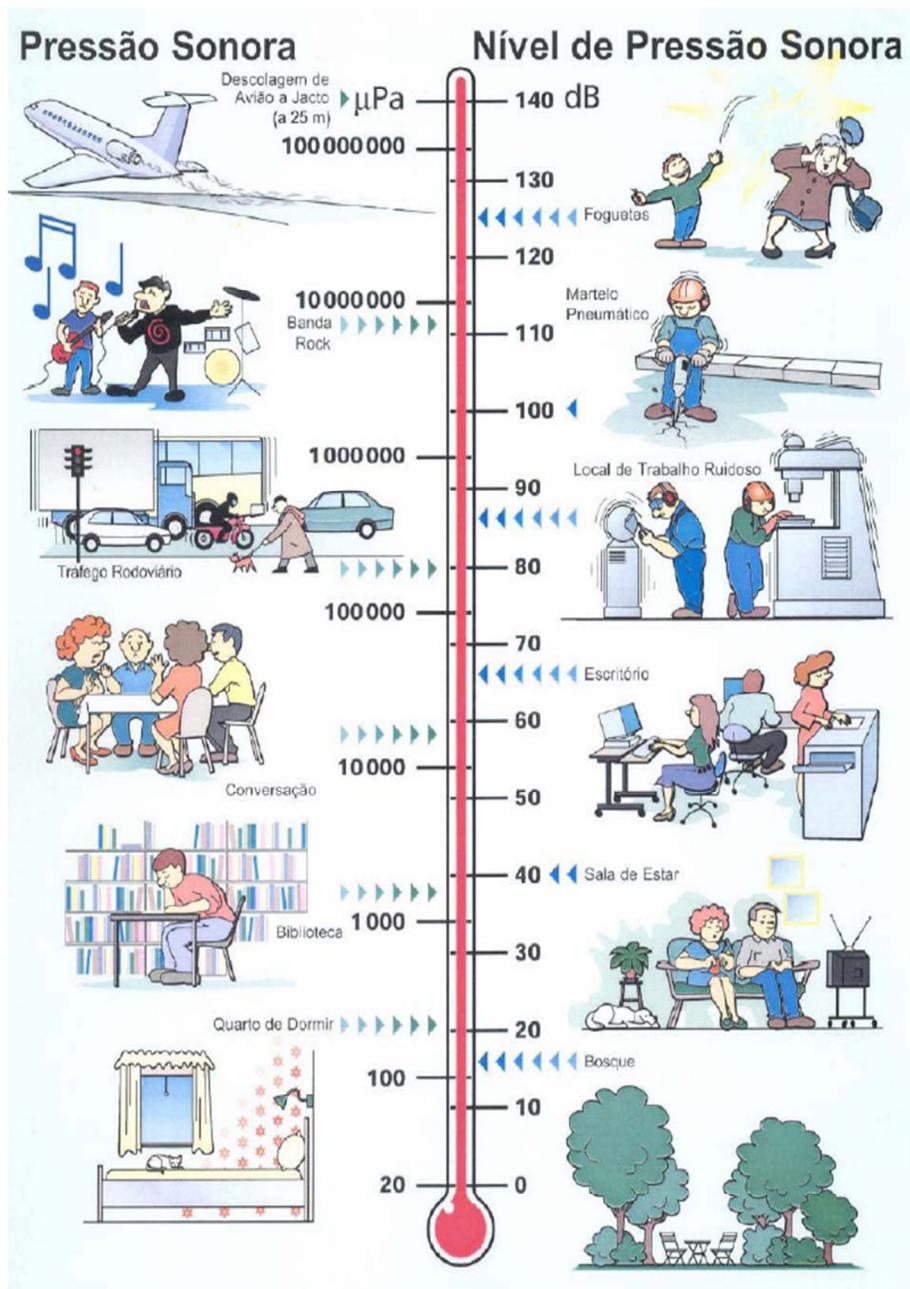


Figura 2 – Escala Linear versus escala logarítmica

FONTE: Brüel & Kjaer, 2007 apud Lisot, 2008

A pressão ambiente diminui com a altitude e, ocorre de forma cíclica para que a variação seja percebida como som.

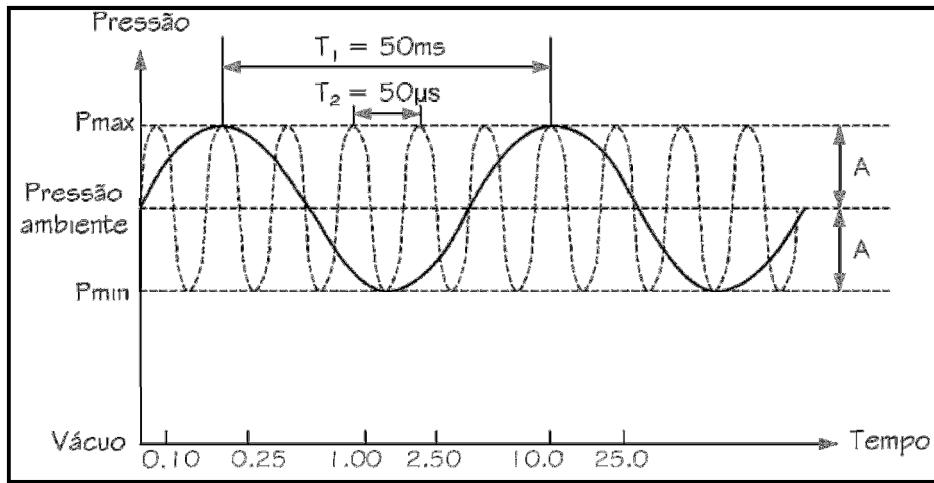


Figura 3 – Variação da pressão ambiente em função do tempo
Fonte: Bistafa (2006)

A figura 3 mostra a variação da pressão ambiente entre o valor máximo (p_{max}) e o mínimo (p_{min}), devido a presença do som no ambiente, segundo Bistafa (2006).

2.3 AMPLITUDE DE VARIAÇÃO AMBIENTE

Conforme Bistafa (2006), a amplitude de variação ambiente da onda sonora (A), conforme figura 3, é dada por:

$$A = p_{\text{max}} - P_{\text{ambiente}} = P_{\text{ambiente}} - p_{\text{min}}. \quad (\text{Equação 1})$$

Exemplo:

O ciclo se completa, na linha contínua, em 50ms e, na linha tracejada, em 50 μs.

O intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo é definido como período (T).

$T_1 = 50\text{ ms}$ para variação de pressão ambiente – linha contínua.

$T_2 = 50\mu\text{s}$ para variação de pressão ambiente – linha tracejada.

O sistema auditivo detectará som quando a amplitude (A) for maior que o limite de audibilidade entre T_1 e T_2 .

O inverso do período recebe o nome de frequência (f), que indica o número de períodos existentes em um segundo, portanto definido pela expressão:

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz} \quad (\text{Eq. 2})$$

Hertz (Hz) é a unidade de frequência em ciclos por segundo.

O som de frequência f é percebido pelo ser humano como grave e, a frequência f_2 , como agudo.

2.4 VELOCIDADE (C)

“A velocidade com que a onda sonora se propaga é chamada de velocidade do som. A velocidade do som no ar, à temperatura ambiente, é da ordem de 340 m/s.” (BISTAFÁ, 2006, p. 9).

2.5 COMPRIMENTO DE ONDA (λ)

A distância a partir de um dado valor de pressão sonora, que completa um ciclo na curva de pressão versus distância, é definida como comprimento de onda (λ), conforme Bistafa (2006).

A relação entre o comprimento de onda e a frequência é dada pela expressão:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo que:

c = velocidade do som em metros, 340 m/s no ar.

f = frequência em Hz

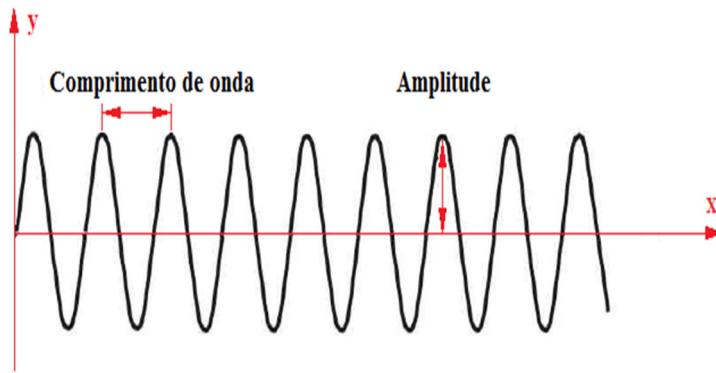


Figura 4 – Comprimento de Onda
Fonte: adaptado de Bisquolo (2011)

2.6 INTENSIDADE SONORA (I)

Intensidade sonora (I) é a quantidade média de energia por unidade de tempo, que atravessa uma única área perpendicular na direção da onda. A unidade é dada por watts por metro quadrado (W/m^2), segundo Bistafa (2006).

Para ondas esféricas progressivas, a intensidade sonora da esfera pulsante com a distância r é dada por:

$$I_r = \frac{(A/r)^2}{2\rho c} \quad \text{W/m}^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo (A/r) a amplitude da pressão sonora à distância r .

ρc = impedância característica do meio de propagação

Valor eficaz da pressão sonora:

$$I_r = \frac{p_{\text{eficaz}}^2}{\rho c} \quad \text{W/m}^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

p_{eficaz} é o valor eficaz da pressão sonora à distância r da esfera pulsante.

2.7 POTÊNCIA SONORA (W)

Segundo Gerges (2000), a potência sonora, depende da própria fonte, independente do meio que estiver.

Exemplo: Quando for medido o NPS de uma máquina que está em “campo livre” e retirando esta e colocando-a em uma “sala pequena”, a pressão acústica mudará provavelmente, em função da absorção e reflexão, mas a potência sonora continuará inalterada.

2.7.1 Potência sonora sobre esfera pulsante

Para se obter a potência sonora W da esfera pulsante, deverá ser multiplicada a intensidade sonora, com distância “r” pela sua área $4\pi r^2$ de superfície, que está sendo irradiada pela esfera pulsante.

$$W = I_r \cdot 4\pi r^2 \text{ (em watts)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Para onda esférica progressiva a equação é:

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2_{\text{eficaz}_r}}{\rho c} \quad (\text{Eq. 7})$$

Os componentes da equação são:

I = intensidade sonora;

W = Potência sonora;

$p^2_{\text{eficaz}_r}$ = Valor eficaz da Pressão Sonora.

Através da “Lei do inverso do quadrado da distância”, verifica-se que a equação nº 7, segue a inversão de proporcionalidade.

Assim, quando uma fonte sonora irradia uma potência sonora W , constante, ao dobrar a distância da fonte, a mesma potência sonora passará por uma superfície esférica que ficará 4 vezes maior, tornando sua intensidade sonora inversamente menor em 4 vezes. Quando isto ocorre, o valor eficaz da pressão sonora para a mesma distância, fica 2 vezes menor, segundo BISTAFÁ (2006). Veja figura 5, que segue:

Vetores intensidade sonora a duas distâncias da esfera pulsante.

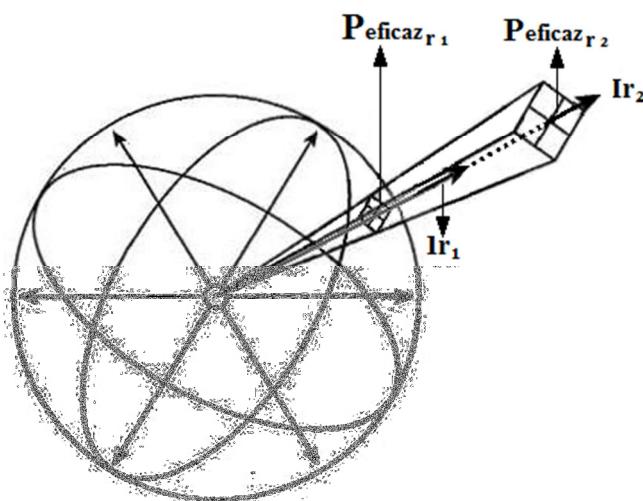


Figura 5 – Vetores intensidade sonora a duas distâncias da esfera pulsante

Fonte: Bistafa (2006)

2.8 EFEITOS DO RUÍDO NO SER HUMANO

Segundo o site de verbetes da língua portuguesa, audibilidade é a “propriedade que tem o som de ser percebido pelo ouvido³”.

Segundo Netto (2011), a unidade do nível de audibilidade é denominada fon.

O som é produzido por corpos que vibram, mas nem toda vibração é capaz de gerar um som que vá excitar o nosso tímpano. Para que tenhamos a

³ Conteúdo extraído do site de verbetes da língua portuguesa. Disponível em: <http://www.verbetes.com.br/def:24683:Audibilidade>. Acesso em: 20 mar. 2011

sensação auditiva é necessário que a onda sonora esteja numa faixa de freqüência bem definida. Para o ouvido humano, essa faixa de freqüência vai de 20 Hz a 20000 Hz. Fora desses limites, o ouvido humano não é capaz de perceber a onda como som. Abaixo de 20 Hz, as ondas são conhecidas como infra-sons e acima de 20000 Hz elas são conhecidas como ultra-sons. (Bisquolo, 2011)⁴

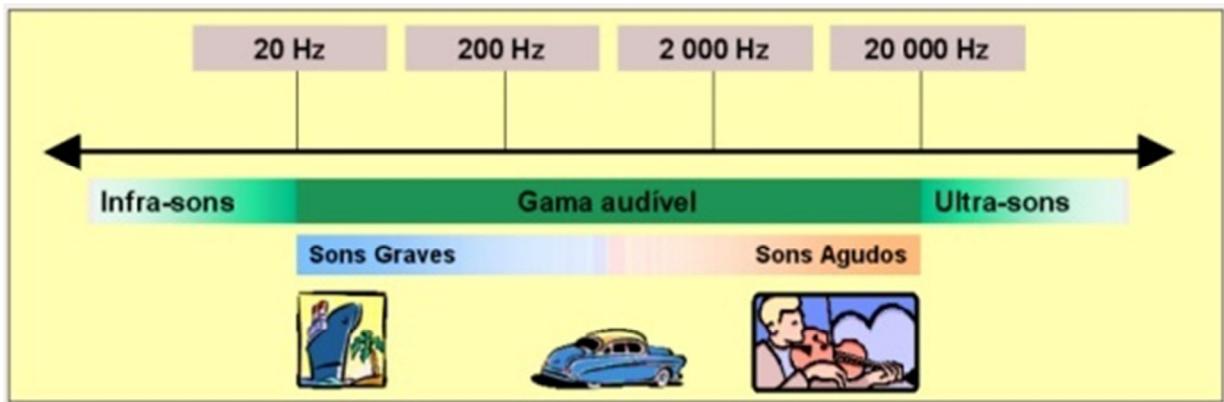


Figura 6 – Limite de audibilidade

Fonte: Bisquolo (2011)

Fletcher e Munson foram os primeiros, através de experimentos, a medir o nível de audibilidade para tons puros em várias frequências, segundo Bistafa (2006).

Conforme a experiência de Fletcher e Munson, verificamos que, na curva limiar de percepção auditiva na 1^a curva inferior, as faixas de freqüência abaixo de 1000 Hz são consideradas negativas pois, estão abaixo de “0” dB, conforme gráfico 1.

Exemplo: Um nível de audibilidade de 100 fons equivale a 100 dB na freqüência 1000 Hz.

O ouvido humano tem baixa sensibilidade nas baixas freqüências, abaixo de 200 Hz aproximadamente, porém nas altas freqüências, na faixa de 3500, Hz tem maior sensibilidade.

A curva inferior do ábaco representa a quantidade inicial de sensação e percepção auditiva.

⁴ Nota explicativa extraída do site: <http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u56.jhtm>. Acesso em: 21 mar. 2011.

A curva de 130 fons é conhecida como limiar de dor, o que pode ser verificado na figura 8.

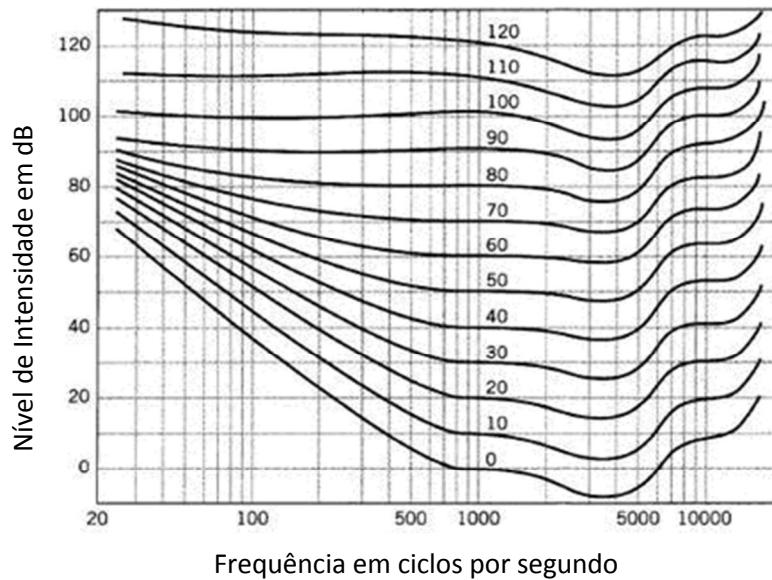


Gráfico 1 - Curvas de Fletcher e Munson
Fonte: CARAMONA (2011)

Os danos provocados à saúde pelo ruído dependem da intensidade e do tempo de exposição aos quais as pessoas são submetidas (NETO, 2009).

A pressão acústica mínima que um ouvido humano detecta é 20×10^{-6} N/m², na frequência de 1000 Hz.

Segundo Lisot (2008), sabe-se que, quando um som é gerado, ele é propagado até a aurícula e, de lá, conduzido para o interior do conduto auditivo externo. Nesta hora, o tímpano e, em seguida, os ossículos da orelha média (martelo, bigorna e estribo) vibram. Ondas de pressão são transmitidas para o líquido no interior da cóclea, onde o som é codificado e transmitido para o cérebro via nervo auditivo, conforme figura 7. Da mesma forma ocorre com a percepção do ruído.

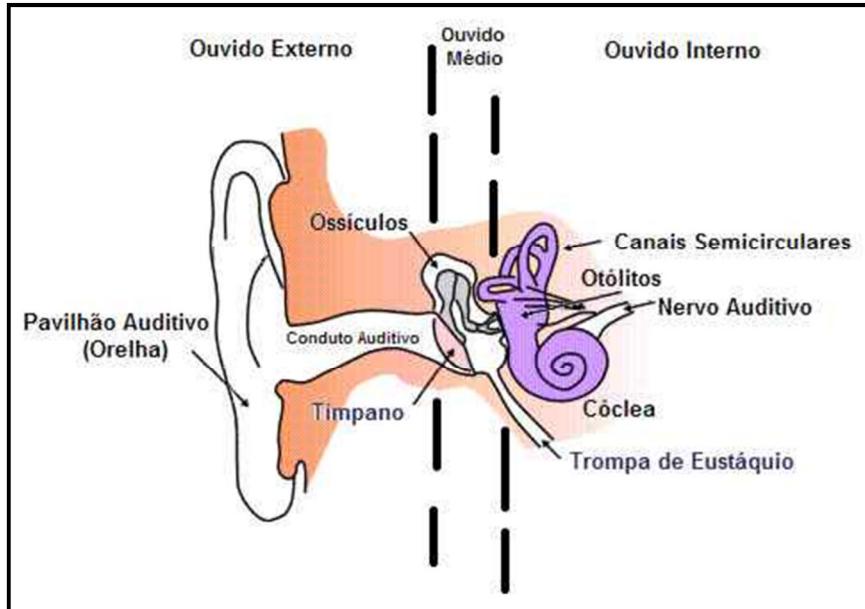


Figura 7 - Anatomia da orelha humana
Fonte: Gircoreano e Pacca (2011)

Ruído em excesso pode provocar uma série de prejuízos para o ser humano. Entre os mais frequentes estão:

- Aumento de pressão arterial;
- Perturbação do sono, como insônia;
- Cansaço;
- O ruído também diminui o nível de atenção e aumenta o tempo de reação;
- Favorece o crescimento do número de erros cometidos e de acidentes que repercutem negativamente na qualidade e produtividade.
- Stress;
- Tensão muscular;
- Ritmo respiratório alterado, como reflexo;
- Alteração no padrão dos batimentos cardíacos;
- Alteração do diâmetro dos vasos sanguíneos, principalmente, dos mais próximos à superfície da pele;
- Queda de desempenho e produtividade;
- Irritabilidade e nervosismo;
- Dor de cabeça;
- Prejuízo na tomada de decisão;
- Redução da capacidade de concentração e da atenção;
- Interferência na comunicação oral;

- Fadiga auditiva;
- Zumbido;
- Danos e falhas estruturais, como a perda da audição, que pode ser condutiva (lesões antes e fora da cóclea) ou neurosensorial (lesão na cóclea ou nervo auditivo).

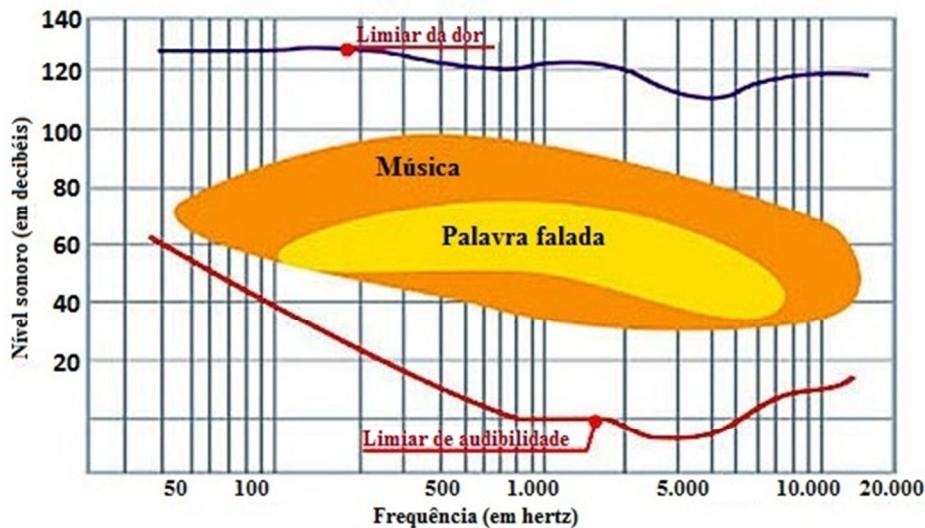


Figura 8 - Limiar de audibilidade e de dor
Fonte: Oliveira (2011)

O incômodo do ruído depende da noção de audibilidade de cada um, do grau de aceitação do mesmo, do seu potencial intrusivo e da perturbação que ele causa. Ou seja, a reação a um mesmo ruído ocorre de uma forma diferente de pessoa para pessoa, o que incomoda uma pode não ser perceptível para a outra.

2.9 CURVA DE COMPENSAÇÃO

Conforme Bastos (2007), a pressão sonora em decibéis necessita da frequência em relação à sensibilidade humana.

O ser humano percebe a forma de som menos intensa de 100 dB na frequência de 100 Hz, do que 100 dB na frequência de 1000 Hz.

Para compensar estas variações de sensibilidade com a frequência foram criadas curvas padrão (A, B, C e D).

Valores em decibéis indicam atenuações em relação à frequência de referência de 1000 Hz. Os valores atenuados referenciados em dB, seguidos pela letra dB(A) ou dB(B), dB(C) e dB(D), correspondem a cada curva.

Exemplo: Para a curva “A” uma fonte sonora de 25 Hz correspondente a 50 dB de nível de pressão sonora, será subtraído 44,7 dB(A) do gráfico 2 tendo como resultado 5,3 dB(A) de compensação sonora que é o NPS (Nível de pressão sonora), que o ouvido humano pode perceber na frequência de 1000 Hz.

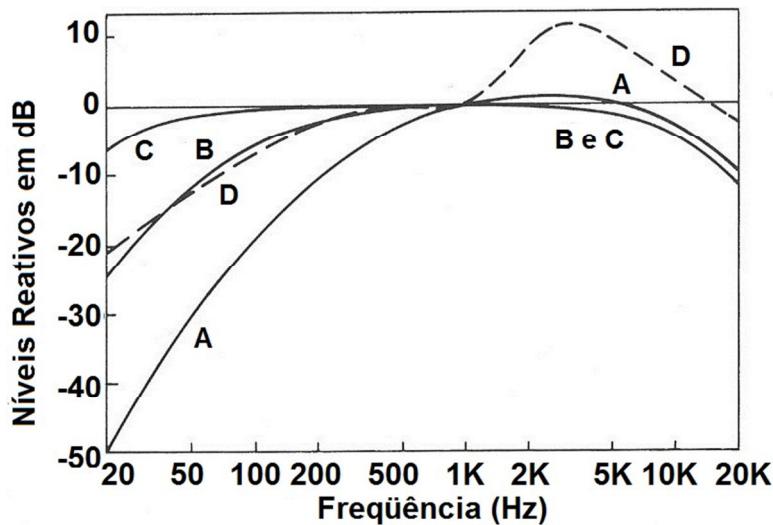


Gráfico 2 - Curvas de Compensação A, B, C e D
Fonte: Gerges (2000)

2.10 BARREIRAS ACÚSTICAS

Aguilera (2007) esclarece que as barreiras acústicas são formadas por dispositivos que possuam massa e altura mínimas para que ocorra a redução do nível de pressão sonora em decibéis. Estas são colocadas entre a fonte geradora de ruído e o receptor; com isto, quando a onda sonora entrar em contato com o obstáculo, esta se fragmentará em várias parcelas, ocorrendo a atenuação por difração em decibéis, segundo Gerges (2000).

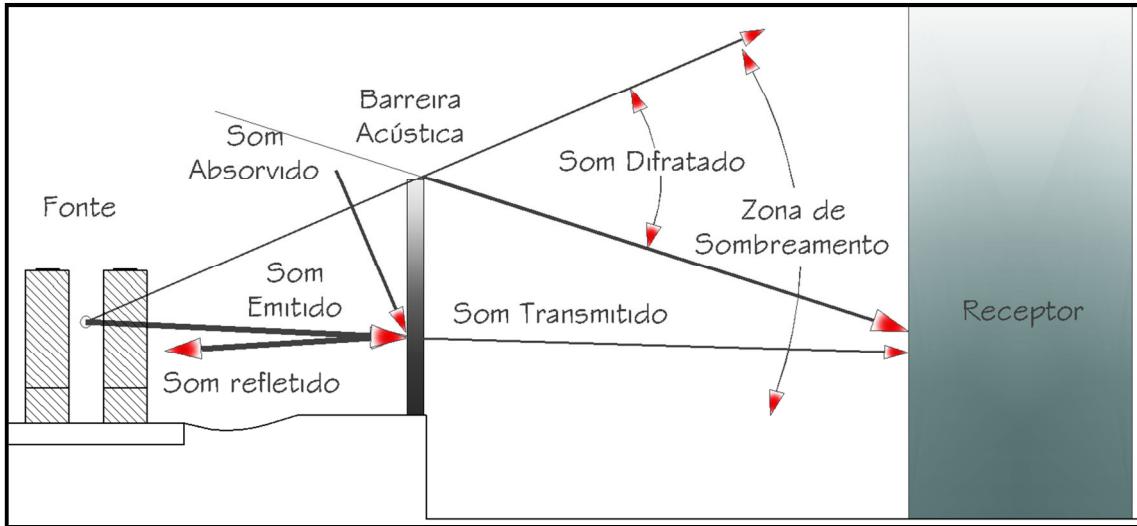


Figura 9 - Reflexão, absorção, transmissão e difração
Fonte: Adaptado de Hendriks, 1998 apud Lisot, 2008

Os fenômenos físicos que promovem a fragmentação da onda sonora, que podem ser verificados na figura 9, são: reflexão, absorção, transmissão e difração.

2.10.1. Reflexão

“A reflexão ocorre quando a onda sonora ao se propagar no ar, encontra-se com uma superfície sólida.” (AGUILERA, 2007). Esta reflexão será diretamente proporcional à dureza do material, refletindo quase que cem por cento do som incidente. Um exemplo disto, são as paredes de concreto, mármore, azulejos e vidro. (BERTULANI, 2004 apud LISOT, 2008).

A equação que representa o coeficiente de reflexão sonora é:

$$\rho = \frac{I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Sendo que:

“ ρ ” é o coeficiente de reflexão sonora,

“ $I_{\text{refletida}}$ ” é a intensidade sonora do som refletido,

“ $I_{\text{incidente}}$ ” é a intensidade sonora do som incidente.

2.10.2. Absorção

Absorção é representada pela letra alfa (α) e “[...] é a propriedade que possuem alguns materiais em não permitir que as ondas sonoras sejam refletidas” (AGUILERA, 2007, p. 68).

A absorção varia, fundamentalmente, com a frequência do som incidente.

A curva do coeficiente de absorção versus frequência ajudará a extrair (α), conforme gráfico que segue:

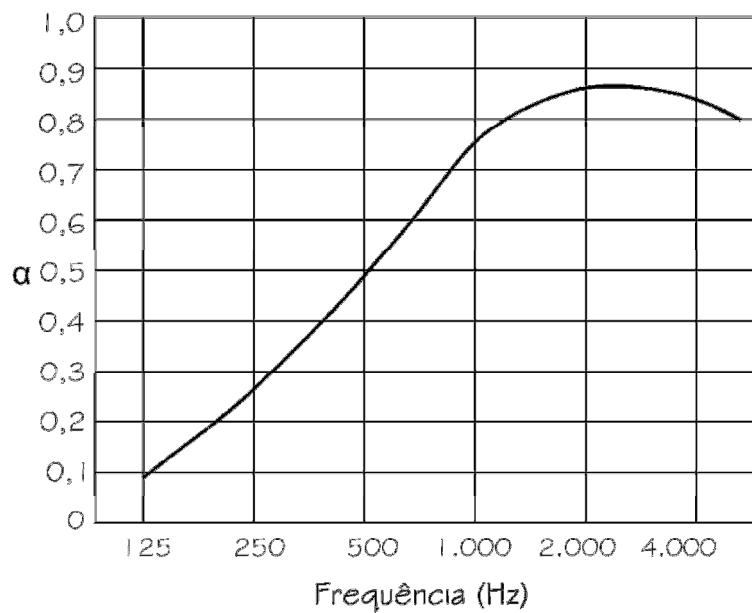


Gráfico 3 - Absorção sonora
Fonte: Bistafa (2006)

Quanto aos materiais utilizados para absorção, os mesmos serão melhor detalhados no capítulo referente aos silenciadores resistivos e absorção sonora.

A capacidade de uma superfície em absorver o som é dada pelo coeficiente de absorção sonora definido:

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorvida}}}{I_{\text{incidente}}} = \frac{I_{\text{incidente}} - I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} = 1 - \frac{I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Sendo que:

- “ α ” é o coeficiente de absorção sonora,
- “ $I_{absorvida}$ ” é a intensidade sonora absorvida,
- “ $I_{refletida}$ ” é a intensidade sonora do som refletido,
- “ $I_{incidente}$ ” é a intensidade sonora do som incidente.

O coeficiente de absorção sonora pode ser obtido, experimentalmente, em uma câmara reverberante e é denominado Sabine. Seu valor varia entre 0 e 1, sendo que, quando $\alpha = 1$ tem-se toda energia absorvida e, quando $\alpha = 0$ toda a energia é refletida. (HENRIQUE, 2002 apud LISOT, 2008).

2.10.3. Transmissão

Segundo Bertulani, 2004 apud Lisot, 2008 a transmissão é definida como a propriedade sonora que permite que o som passe de um lado para o outro de uma superfície, continuando sua propagação. Quanto mais rígida e densa for a superfície, menor será a energia transmitida.

O coeficiente de transmissão sonora é representado pela letra grega tau (τ) e definido conforme a Equação 10.

$$\tau = \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}} \quad (\text{Eq. 10})$$

onde:

- “ τ ” é o coeficiente de transmissão sonora,
- “ $I_{transmitida}$ ” é a intensidade sonora transmitida,
- “ $I_{incidente}$ ” é a intensidade sonora do som incidente.

2.10.4. Difração

Segundo Aguilera (2007), na difração a propagação ocorre quando o movimento ondulatório contorna o obstáculo, ou seja, é a curvatura que uma onda faz ao passar por um obstáculo.

Assim, conclui-se que o som pode se propagar por todo o ambiente através de uma abertura, conforme figura que segue:

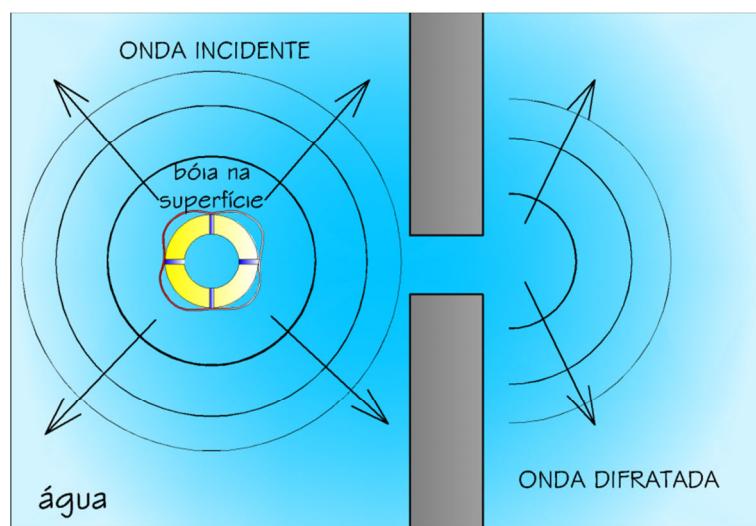


Figura 10 - Difração
Fonte: Adaptado de Bertulani, 2004 apud Lisot, 2008

Pode-se definir os seguintes coeficientes que caracterizam o obstáculo:

- Coeficiente de absorção: $a = \frac{\text{Energia Absorvida}}{\text{Energia Incidente}}$
- Coeficiente de reflexão: $r = \frac{\text{Energia Refletida}}{\text{Energia Incidente}}$
- Coeficiente de transmissão: $t = \frac{\text{Energia Transmitida}}{\text{Energia Incidente}}$

Hendricks, 1998 apud Lisot, 2008 faz três afirmações de que o fenômeno da difração depende de três pontos críticos: a fonte, o topo da barreira e o receptor.

A difração crescerá conforme for o comprimento de onda. Quanto maior o ângulo de difração, maior é a atenuação; sendo que, os sons graves “passam” mais facilmente na barreira do que os agudos, conforme figura que segue:

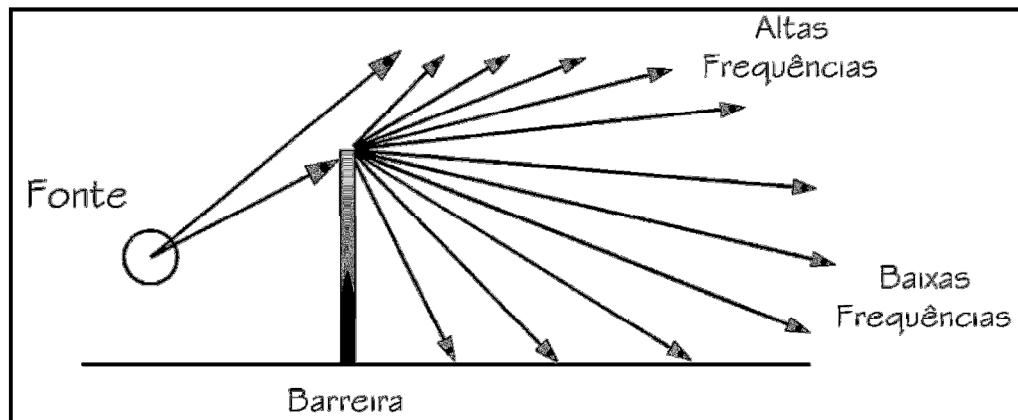


Figura 11 - Difração de ondas sonoras
Fonte: Adaptado de Hendriks, 1998 apud Lisot, 2008

2.11 PERDA NA INSERÇÃO DA BARREIRA

Conforme Bistafa (2006), barreira é qualquer estrutura que impeça a visão da fonte ao receptor. A perda na inserção (IL) é obtida pela diferença dos níveis sonoros, no receptor, antes e depois da colocação da barreira, observando a mesma trajetória de transmissão.

Segundo Klingner, McNerney, Busch-Vishniac, 2003 apud Lisot, 2008, a perda na inserção é obtida pela diferença entre o nível sonoro medido na ausência de barreira e o nível sonoro resultante após a inserção da barreira no receptor.

O valor da perda por inserção de uma barreira depende de vários parâmetros, entre eles a sua altura, posição, localização e, principalmente, o comprimento de onda acústica incidente, dimensões estas, que são incorporadas no cálculo do número de Fresnel (N). (MORAIS, 2008).

Quanto maior a altura da barreira, maior será a zona de sombra acústica, dependendo das características espectrais da onda incidente, sendo mais eficaz para as altas frequências, segundo Morais (2008).

Na barreira finita, as ondas sonoras curvam-se por difração, não só na borda superior da barreira como, também, nas duas bordas laterais, diminuindo assim a atenuação, segundo Gerges (2000).

Uma barreira para ser eficiente deve ter sua densidade superficial de 10 a 20 kg/m².

Segundo Bistafa (2006), a atenuação da barreira aumenta a medida que:

- A altura efetiva da barreira aumenta;
- A barreira está mais próxima da fonte ou do receptor.

A zona de Fresnel é localizada no topo da barreira, gerando a zona de sombra acústica, atrás da barreira.

A onda sonora que penetra na zona de sombra tem seu nível reduzido por difração.

Considera-se que o receptor está fora da sombra quando ele é capaz de visualizar a fonte.

O cálculo da perda na inserção será aqui apresentado de acordo com os experimentos realizados por Maekawa e as formulações apresentadas por Kurze e Anderson, 1971 apud Lisot, 2008.

De acordo com Ferreira Neto, 2002 apud Lisot, 2008, no desenvolvimento dos cálculos da atenuação por difração, Maekawa aplicou a teoria da difração de Fresnel-Kirchhoff e obteve empiricamente um gráfico da atenuação em função do número de Fresnel.

O número de Fresnel é utilizado para calcular a atenuação sonora por perda na inserção da barreira.

O número de Fresnel é a relação entre a diferença de caminho percorrido pela onda sonora (diferença entre a distância, em linha reta, entre a fonte e o receptor e a distância percorrida pela onda difratada, ou seja, a distância da fonte sonora até o topo da barreira somada à distância do topo da barreira até o receptor) e metade do comprimento de onda. (LI e WONG, 2005 apud LISOT, 2008).

Segundo Morais (2008), o número de Fresnel será considerado:

- Igual a zero, para todas as frequências, se a onda sonora passar pelas extremidades da barreira;

- Maior que zero, se a onda sonora for interrompida pela barreira;
- Menor que zero, se a onda sonora não encontrar a barreira.

Na Figura 12, ilustram-se a diferença de caminhos percorridos pela onda sonora, conforme equação 11.

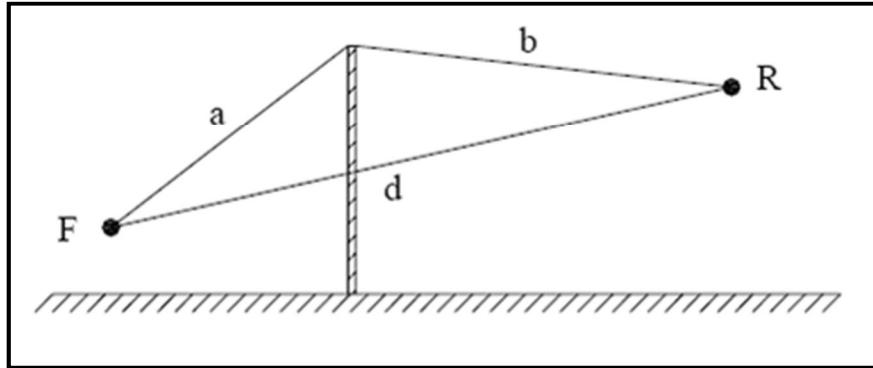


Figura 12 - Trajetória do ruído na barreira
Fonte: Josse, 1975 apud Lisot, 2008

Segundo Lisot (2008), o caminho percorrido pela onda sonora “ δ ”, será calculada em duas etapas:

- Somam-se, primeiramente, as distâncias obtidas da fonte ao topo da barreira (a) e do topo da barreira até o receptor (b);
- Com o resultado, subtrai-se a distância entre a fonte e o receptor, em linha reta (d), conforme equação que segue:

$$\delta = (a + b) - d \quad (\text{Eq. 11})$$

onde:

“ δ ” é a diferença de caminho percorrido pela onda sonora [m],
“a” é a distância entre a fonte e o topo da barreira [m],
“b” é a distância entre o topo da barreira e o receptor [m],
“d” é a distância em linha reta da fonte até o receptor [m].

O número de Fresnel é adimensional, que consiste na relação do caminho percorrido pela onda sonora “ δ ”, multiplicado por 2, com esta resultante deverá ser dividido pelo comprimento da onda “ λ ”, conforme equação que segue:

$$N = \frac{2 * \delta}{\lambda} \quad (\text{Eq. 12})$$

onde:

“ λ ” o comprimento de onda [m],

Kurze e Anderson, 1971 apud Lisot, 2008, apresentam a Equação 13 para a estimativa da perda na inserção.

$$IL = 5dB + 20\log \left(\frac{\sqrt{2\pi^*N}}{\tanh \sqrt{2\pi^*N}} \right) \quad (\text{Eq. 13})$$

onde:

“IL” é a perda na inserção [dB],

“N” é o número de Fresnel [adimensional].

A Equação 13 é válida para N menor ou igual a 12,5. Quando N é maior que 12,5 a perda na inserção é de 20 dB.

O gráfico 4 apresenta as curvas obtidas a partir da Equação 13 e de dados empíricos.

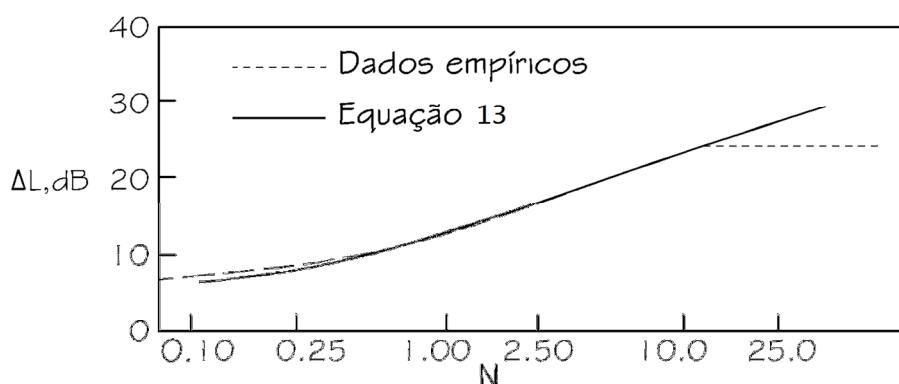


Gráfico 4 - Perda na inserção através do número de Fresnel
Fonte: Adaptado de Klingner, McNerney, Busch-Vishniac, 2003 apud Lisot 2008

Segue exemplo de estimativa da perda na inserção efetuada por Klingner, McNerney, Busch-Vishniac, 2003 apud Lisot, 2008. A situação de cálculo é ilustrada

na Figura 13, sem escala, onde a barreira acústica tem 3,60m de altura e está a 3,60m da fonte sonora. Há um edifício posicionado no lado da barreira oposto ao da geração do ruído a uma distância de 4,50m da barreira acústica. O edifício tem uma janela a uma altura hipotética de 1,20m. Nesta figura, "a", "b" e "d" são as distâncias representadas na Figura 13 e utilizadas na solução da Equação 14.

O comprimento da trajetória da onda sonora em linha reta da fonte sonora até o receptor, conforme o gráfico 4.

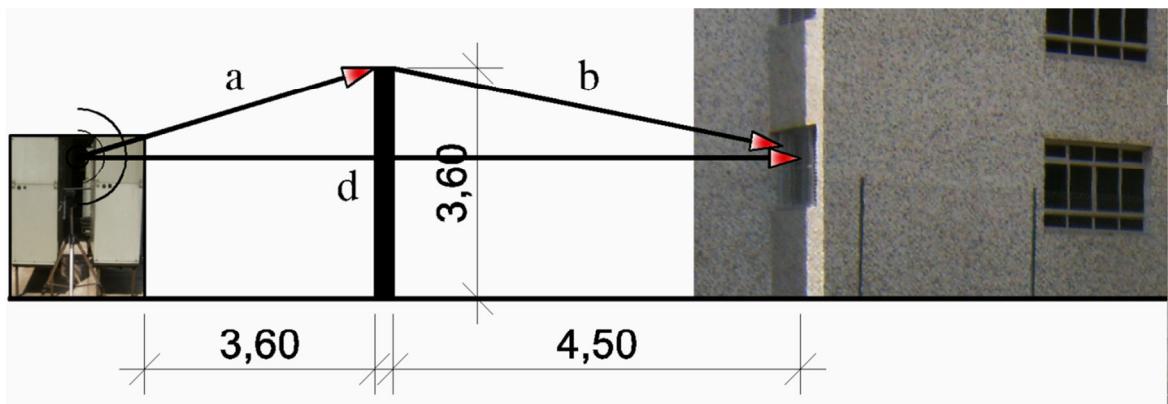


Figura 13 - Trajetória da onda sonora através da barreira acústica
Fonte: Autor

$$d = (8,10)^2 + (1,20)^2 = 8,18m \quad (\text{Eq. 14})$$

Os comprimentos dos segmentos que compreendem o trajeto modificado são:

$$a = \sqrt{(3,60)^2 + (3,60)^2} = 5,09m \quad (\text{Eq. 15})$$

$$b = \sqrt{(4,50)^2 + (3,60-1,20)^2} = 5,10m \quad (\text{Eq. 16})$$

Tem-se:

$$\delta = (a + b) - d = (5,09 + 5,10) - 8,18 = 2,01m$$

Calcula-se então o número de Fresnel para a frequência de 100 Hz:

$$N = \frac{2^*2,01}{\frac{340}{100}} = 1,18 \quad (\text{Eq. 17})$$

Logo, a perda na inserção calculada por meio das Equações 18 ou 19 é:

$$IL=5+20 \log \frac{\sqrt{2\pi*1,18}}{\tanh \sqrt{2\pi*1,18}} \approx 13,8 \text{ dB} \quad (\text{Eq. 18})$$

A perda na inserção calculada pode ser comparada com o valor obtido no gráfico 4.

Segundo Rathe, 1969 apud Josse, 1975 apud Lisot, 2008, a atenuação pode ser calculada, também, pela equação 19:

$$\Delta L=13+10 \log N \quad (\text{Eq. 19})$$

onde:

“ ΔL ” é a atenuação proporcionada pela barreira [dB].

Através da equação 19 pode-se atingir valores próximos aos obtidos com a equação 18; neste caso, é válida quando “N” for muito maior que 1, o “ ΔL ” será fornecido em dB, segundo Lisot (2008).

Na prática, a atenuação máxima por difração é por volta de 24 dB, segundo Gerges (2000).

Quando $N=0$, a atenuação será igual a 6dB, segundo Lisot (2008).

2.12 PRESSÃO SONORA EM TORNO DA FONTE

Conforme Bistafa (2006), é uma equação utilizada para atender fabricantes de máquinas em casos diversos e, é utilizada em campos livres; porém, a medição deve ser feita a 1,5m de altura do piso para evitar interferências de reflexão, conforme figura 14. Este método deverá ser utilizado para fontes omnidirecionais, não se aplicando a fontes direcionais.

A equação permite relacionar o nível de potência sonora com o nível de pressão sonora. A equação tem sido útil para atender fabricantes de máquinas em casos diversos, é utilizada em campo semi livre, como exemplo, colocando a máquina que

será avaliada ao ar livre, sobre um piso duro e reflexivo. Nesta condição, será representada pelo ângulo sólido para livre propagação ($\Omega=2\pi$) acrescendo ao segundo membro da equação: $-10\log(2\pi/4\pi) = 3\text{dB}$, resultando em:

$$L_W = \bar{L}_p + 8\text{db} \quad (\text{Eq. 20})$$

Sendo:

L_W – Nível de potência sonora dos equipamentos

\bar{L}_p – Média dos níveis de pressão sonora

São recomendadas várias medições de níveis de pressão sonora, em torno da fonte e, posteriormente, a realização da média aritmética ou energética.

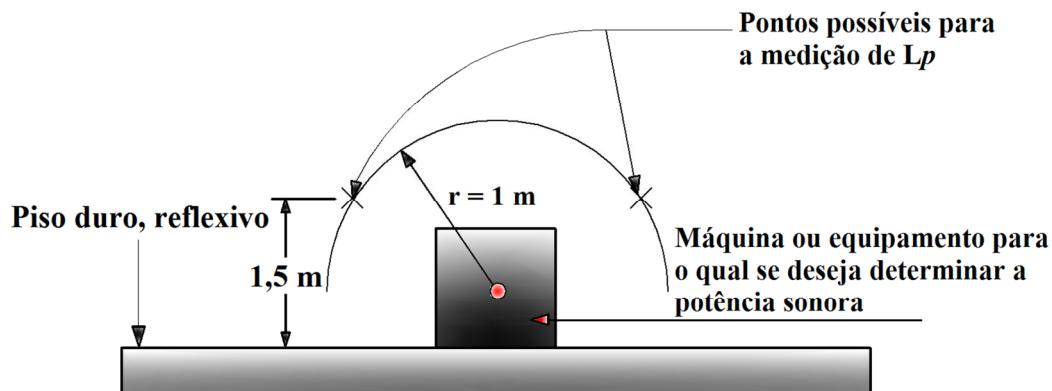


Figura 14 - Estimativa de potência sonora - equipamentos em campo semi livre
Fonte: Adaptado de Bistafa (2006)

2.13 IMPACTO AMBIENTAL E A LEGISLAÇÃO

Os critérios para medição e avaliação do ruído em ambientes são determinados pelas Normas Brasileiras Registradas, da Associação Brasileira de Normas Técnicas e outras legislações. As principais são:

- **NBR 7.731 (ABNT, 1983)** - Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem;

- **NBR 10.151 (ABNT, 2000)** - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto e aceitabilidade do ruído em comunidades, fixando as condições exigíveis para tal avaliação, conforme tabela a seguir:

Tabela 1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de 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

Fonte: NBR 10.151 (ABNT, 2000)

Maiores informações vide norma, no anexo A;

- **NBR 10.152 (ABNT, 1987) (NB-95)** - Níveis de ruído para conforto acústico. Nesta norma, a fixação dos limites de ruído, para a finalidade de cada ambiente, é feita de duas formas: pelo nível de ruído encontrado em medição normal em dB(A), ou com o uso das curvas NC ou NCB, vide tabela no anexo B;

Temos, ainda, os instrumentos legais, como:

- **Lei de Zoneamento Municipal de São Paulo nº 13.885**, de 25 de agosto de 2004, mais precisamente do local onde está localizada a fonte geradora e a residência dos reclamantes, conforme tabela 2, vide tabela completa no anexo C;

Tabela 2 – Emissão de Ruído

1.a - PARÂMETROS DE INCOMODIDADE A SEREM OBSERVADOS:

EMISSÃO DE RUÍDO:

Diurno, NCA* ≤65 decibéis e noturno NCA* ≤55 decibéis, considerados como períodos diurno e noturno aqueles compreendidos entre as 7:00 e 22:00 horas e entre 22:00 e 7:00 horas respectivamente.

Fonte: Lei Municipal de São Paulo nº 13.885 (2004)

- **Constituição Federal** – que visa a garantia do sossego público, resguardado pelo artigo 225;

- **Lei 7.347/85** – ação civil pública, ação judicial coletiva para tratar problema social difuso, como no caso da poluição sonora;
- **Lei 6.938/81** – legislação ambiental que define a poluição no seu artigo 3, parágrafo III; bem como, da degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- **Lei 9.605/98** – trata de crimes ambientais, mais precisamente em seu artigo 54, configurando crime o ato de “causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar danos à saúde humana [...]”;
- **Lei 8.078/90** do Código do Consumidor – trata da proibição ao fornecimento de produtos e serviços que sejam potencialmente nocivos ou prejudiciais à saúde, em seu artigo 10, considerando-se nestes casos, também, os que geram poluição sonora;
- **Resolução CONAMA 01/1986** – inclui os problemas dos níveis de ruído excessivo no controle da poluição ambiental, fixando que são prejudiciais à saúde e ao sossego público, os níveis de ruído superiores aos estabelecidos na Norma NBR 10.151 (ABNT, 2000); para edificações, os limites são estabelecidos pela NBR 10.152 (ABNT, 1987);
- **Resolução CONAMA 02/1990** – reconhece que o ruído excessivo causa danos à saúde física e mental e afeta, particularmente, a audição;
- **Programa Silêncio** – coordenado pelo IBAMA, visa controlar os equipamentos fabricados para que não ultrapassem os limites de níveis de ruído permitidos;
- **ISO/DIS 9613-A** – Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – part 2: A general method of calculation 1998 – Norma que dispõe sobre os métodos para modelar a propagação do ruído em ambientes externos e sua parte 2 trata da atenuação sonora em propagações ao ar livre.

2.14 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E SEU FUNCIONAMENTO

Conforme Silva (2005), o condicionamento de ar (CA) visa o conforto das pessoas que ocupam o ambiente, ou a necessidade de manter certas temperaturas padronizadas de um processo.

2.14.1 Ideia geral do sistema de ar condicionado

De uma forma geral o ar condicionado funciona como uma geladeira sem gabinete. O objetivo principal é abaixar a temperatura dentro do equipamento, de maneira que o ar do ambiente passando por ele se resfria e retorne frio novamente. O processo consiste em mudança do estado gasoso para líquido para atingir o objetivo de abaixar a temperatura, utiliza gás refrigerante mais atual, que muda seu estado gasoso mais facilmente. Todo o sistema é projetado para que no fim, haja uma temperatura muito baixa, dentro de um trocador de calor. Estando frio dentro da serpentinas ou seja que a temperatura, esteja mais bem baixo que a temperatura ambiente, a ventilação vinda do ambiente interno mais quente, passará pelo trocador de calor, passando pela serpentina gelada, se resfria novamente, em uma certa velocidade e pressão, possível de fazer a troca de temperatura desejada, retornando ao ambiente interno novamente.

Existe ar condicionado que aquece a temperatura do ambiente, neste caso, é o mesmo processo, no entanto, dentro do trocador de calor estará quente para fazer a troca do ar frio vindo do ambiente interno.

O ar condicionado para uso comercial, por ser de maior porte, são divididos em duas partes: condensadores e evaporadores.

Os condensadores ficam normalmente do lado de fora da edificação, são barulhentos em função do compressor e ventiladores que fazem parte do seu sistema interno; sua principal função é controlar o sistema retirando o calor do ambiente, transformando em frio.

O evaporador fica dentro do ambiente, succiona o ar quente do ambiente e envia ar frio.

A figura a seguir demonstra esquema de funcionamento básico de um ar condicionado.

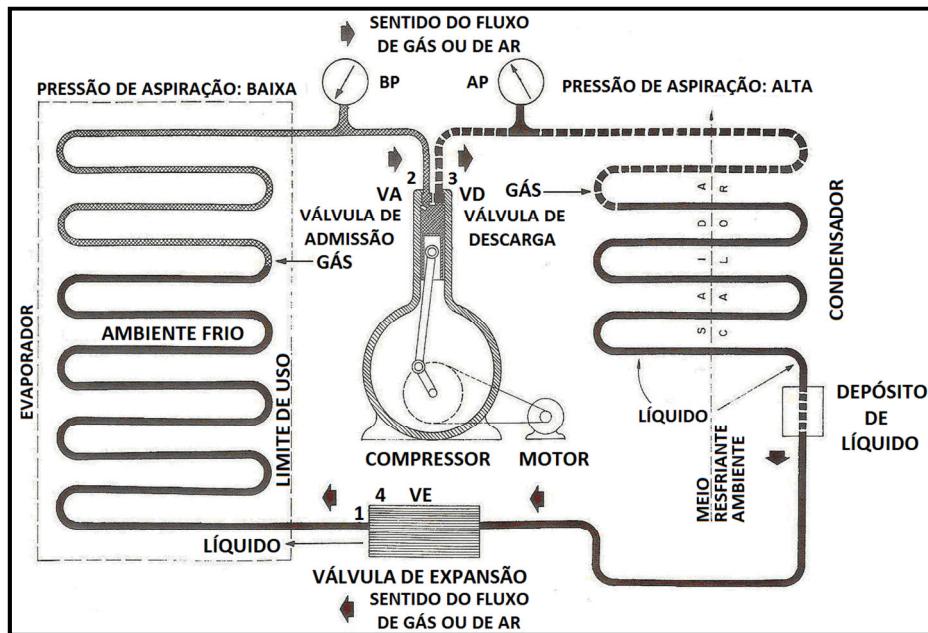


Figura 15 – Ciclo frigorífico
Fonte: Adaptado de Silva (2005)

2.14.2 Descrição de funcionamento do ar condicionado, conforme figura 15

O circuito fechado deste gás é dividido em duas partes: sendo a primeira em baixa pressão e a segunda em alta pressão. No circuito fechado o líquido refrigerante depara com um dique, limitador da secção do tubo, que se chama válvula de expansão que gera um diferencial de pressão.

No circuito fechado, a parte da alta pressão, chamamos de condensador⁵; nesta área, num meio externo circulante passa água ou ar, dependendo do tipo do equipamento, é neste momento que ocorre o resfriamento externo. O líquido refrigerante perdendo energia condensa, segue em frente com o líquido quente até chegar a outra parte do circuito fechado chamado válvula de expansão restritora que tem a função restringir mais ainda, permitindo que o líquido passe por ela através de

⁵ Segundo o site Wikipédia, condensador é a transformação da matéria, do estado gasoso para o estado líquido.

espirro ou esguicho para outra parte do circuito, chamado evaporador, espaço de baixa pressão, retirando o calor do seu próprio meio.

O fluido refrigerante na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão (restrição), é submetido a uma queda de pressão brusca, onde passa a ter dois estados, o líquido e o gasoso. O fluido refrigerante, nesse ponto, é denominado de *flash gás*. Então o fluido é conduzido pelo evaporador, onde absorverá calor do ar do ambiente a ser refrigerado, vaporizando-se, passando pela última etapa, sendo succionado pelo compressor novamente, reiniciando um novo ciclo operacional ou refrigeração, segundo Silva (2005).

O sistema básico de refrigeração possui quatro componentes:

Compressor - conforme 2 – 3, do esquema do ciclo frigorígeno;

Condensador - conforme 3 – 4, do esquema do ciclo frigorígeno;

Expansor - conforme 4 – 1, do esquema do ciclo frigorígeno;

Vaporizador - conforme 1 – 2, do esquema do ciclo frigorígeno.

O trecho de tubulação que contém o gás refrigerante, conforme esquema do ciclo frigorígeno é 1 – 2 e 3 – 4.

Os gases refrigerantes estão sendo substituídos por gases alternativos no lugar do *Freons* – NH³ - amônia pelo uso desordenado no passado, consumindo ozônio da troposfera, não só a este mais a outros gases halogenados. Atualmente substituídos pelos gases alternativos – os hidrofluorcarbono ecológicos como HFC.

Nos locais onde há necessidade de refrigerar locais maiores, instalam-se equipamentos de refrigeração de maior capacidade onde poderá separar as unidades condensadoras da unidade evaporadora.

A unidade condensadora, que é muito ruidosa, é deslocada para fora do edifício, distante do usuário. Internamente coloca-se a unidade vaporizadora, onde pode ser utilizado o ventilador (circulador) de ar que é mais silencioso, ficando mais fácil de atingir níveis sonoros recomendados, segundo Silva (2005).

Os equipamentos que mais fazem barulho são os ventiladores e o compressor. Quanto maior a capacidade dos equipamentos, maior será o seu barulho.

O Condensador e o Evaporador são extremamente barulhentos. Há necessidade de se tomar cuidado com o local de instalação para não ter problemas com os vizinhos, principalmente com o condensador que fica externamente.

O Chiller é normalmente dividido em duas unidades: externa (condensador) e interna (evaporador) que é adequado para ser interligado a diversos ambientes interiores. Uma das grandes vantagens do Chiller é que apesar de funcionar a eletricidade, o seu consumo é extremamente baixo, tanto na função de arrefecimento (abaixamento da temperatura) como do aquecimento, segundo Silva (2005).

A capacidade destes equipamentos em média é de 40 TR⁶ que podem ser resfriados a ar ou água; acima de 20 TR é comumente refrigerado a água, mas existe equipamentos superiores a esta capacidade refrigerado a ar.

2.15 VENTILADORES

Segundo Gama e Mesquita (2007), ventiladores são máquinas de fluxo que transferem energia a gases, através de um rotor⁷.

Seu funcionamento é devido a rotação do rotor constituído com pás, através de um motor, que ao realizar este trabalho, permite a conversão em energia mecânica do rotor em energia potencial e cinética que é dada pelo fluido.

Os ventiladores podem ser divididos em duas classificações de escoamento:

- ventiladores centrífugos – são aqueles onde o escoamento, através do rotor é essencialmente radial⁸ ao eixo de rotação do rotor, ou seja, a trajetória da partícula do gás se realiza em forma de espiral, conforme figura 16. Sua utilização é mais frequente em indústrias tendo em vista que são usados, mais comumente, para pressões estáticas altas e grandes velocidades de fluxo. Suas

⁶ TR: significa tonelada por refrigeração, 1TR equivale a 12.000 BTU/h = 3.024Kcal/h = 3.516,8W

⁷ Rotor: são máquinas que possuem movimentos de rotação, possuindo um eixo que gira em torno de si mesmo. Exemplo: turbinas, compressores e ventiladores.

⁸ Radiais ou Puras: quando a direção do fluido bombeado é perpendicular ao eixo de rotação.

pás tanto podem ser radiais retas, inclinadas para frente ou inclinadas para trás planas ou curvas, seu material pode ser de chapa lisa ou com perfil aerodinâmico, segundo Gama e Mesquita (2007).

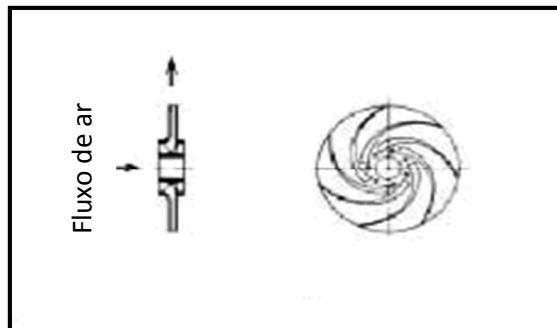


Figura 16 – Ventilador radial
Fonte: Adaptado de Ignácio (2011)

- ventiladores axiais⁹ – o escoamento deste ocorre na direção axial ao eixo do rotor, ou seja, paralelamente, conforme figura 17. Sua utilização está voltada para baixas pressões estáticas, visando o conforto térmico em indústrias, segundo Gama e Mesquita (2007).

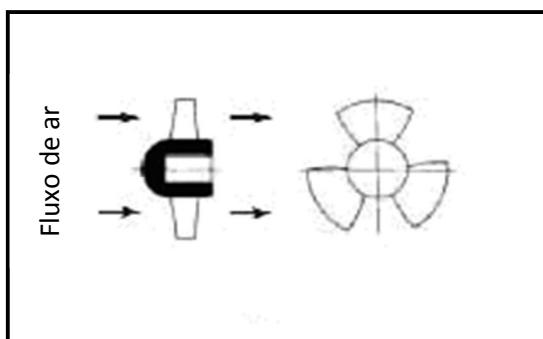


Figura 17 - Axial
Fonte: Adaptado de Ignácio (2011)

Obs.: segundo Gama e Mesquita (2007), existe um tipo de ventilador, conhecido como helicoidal¹⁰, cujo escoamento deriva da combinação das direções axial e radial, conforme figura 18.

⁹ Fluxo Axial: quando a direção do fluido bombeado é paralela em relação ao eixo de rotação.

¹⁰ Fluxo misto ou helicoidal: quando a direção do fluido bombeado é inclinada em relação ao eixo de rotação.

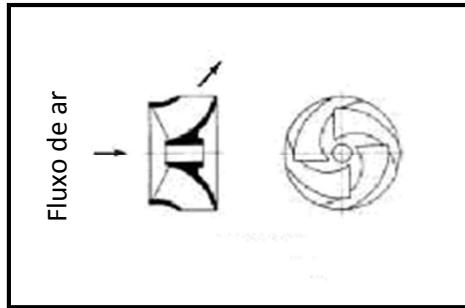


Figura 18 – Fluxo misto ou helicoidal
Fonte: Adaptado de Ignácio (2011)

Os ventiladores que trabalham longe da eficiência à qual são especificados pelo produtor ou, por falta de um critério de engenharia, gerarão altos níveis de ruído e vibração, os quais causarão inúmeras perturbações às pessoas próximas desta fonte, o qual já vimos em outro capítulo deste estudo.

Problemas mecânicos nos ventiladores causam as vibrações; enquanto que, os problemas mecânicos juntamente com problemas na aerodinâmica dos ventiladores causam o ruído.

2.16 COMPRESSOR

Conforme Gerges (2000), um compressor é basicamente uma máquina projetada para comprimir algum tipo de fluido, aumentando a pressão em seu interior. O fluido é liberado com grande força, proveniente dessa pressão.

São divididos em duas partes, as fixas e as rotativas.

A fonte de ruído é mais comum nos compressores centrífugos e axiais, devido a fatores como:

- Na turbulência do fluido;
- Choque do fluido nas partes rotativas e fixas;
- E, fluxos irregulares nas pás dos rotores.

A função do compressor, conforme modelo da figura 19, é succionar o fluido refrigerante que sai do evaporador elevando a temperatura e pressão e enviando para o condensador, realizando o ciclo de refrigeração do compressor.



Figura 19 – Compressor Scroll
Fonte: Danfoss América Latina (2011)

2.17 SILENCIADORES RESISTIVOS E ABSORÇÃO SONORA

Conforme Gama e Mesquita (2007), os silenciadores resistivos, também chamados dissipativos, são dispositivos que permitem a passagem do ar, mas, absorvendo parte da energia sonora incidente, transformando-a em calor.

O material usado para absorção do ruído pode ser fibroso (lã de vidro ou lã de rocha) ou poroso (espuma de polipropileno, do tipo esponja utilizada em limpeza doméstica).

A absorção do ruído acontece pela dissipaçāo por atrito, essencialmente, quando da passagem da onda sonora. A absorção é mais eficiente nas médias e altas frequências, segundo Gama e Mesquita (2007).

Para que sejam eficazes, o material tem que ser absorvente, ou seja, este tem que permitir “respirar”, para que o ar penetre e se movimente; porém, se torna ineficaz quando o tecido possui trama muito estreita ou muito esparsa. A propriedade fundamental dos materiais absorventes é a capacidade de ter resistência ao fluxo do ar.

Os silenciadores podem ser acoplados aos dutos de saída e/ou entrada de ventiladores, exaustores, turbinas ou em outros equipamentos que necessitem de silenciadores, pela emissão de ruído indesejável.

Segundo Bistafa (2006), quando o material fibroso ou poroso for utilizado como silenciador nas paredes e tetos, o afastamento do material da superfície aumentará a absorção sonora nas baixas frequências.

Quando os materiais fibrosos e porosos estão em locais onde existe corrente de ar, a velocidade das partículas é maior, entende-se que a pressão sonora é mínima e a velocidade das partículas é máxima; ao contrário, a velocidade das partículas será mínima e a pressão sonora será máxima, quando os materiais forem colocados por exemplo, entre paredes sólidas, segundo Bistafa (2006).

Segundo Gerges (2000), as dificuldades encontradas com este tipo de atenuador são:

- queda de pressão do equipamento;
- velocidade de escoamento.

Para evitar essas dificuldades é necessário conhecer o tipo de silenciador resistivo.

A forma dos silenciadores pode ser:

- seção transversal retangular – possui comprimentos e seção transversal variados. As chapas são preenchidas com material fibroso, conforme a figura a seguir:

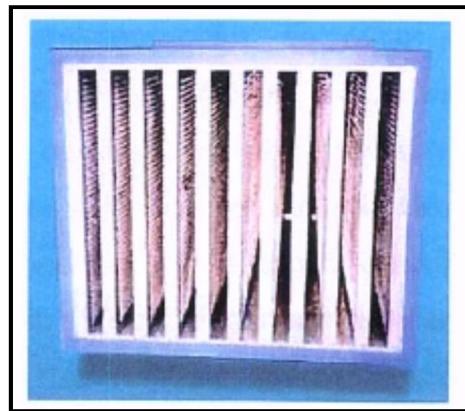


Figura 20 - Silenciador resistivo retangular
Fonte: Grotta (2009)

- circular – seu corpo central é cilíndrico e, possui vários diâmetros e comprimentos, vide figura 21. Sua superfície metálica é perfurada e preenchida com material fibroso. Ela geralmente possui parede dupla em sua estrutura externa,

sendo a interna de chapa perfurada e a externa sólida, sendo que o material fibroso preenche o espaço entre elas.

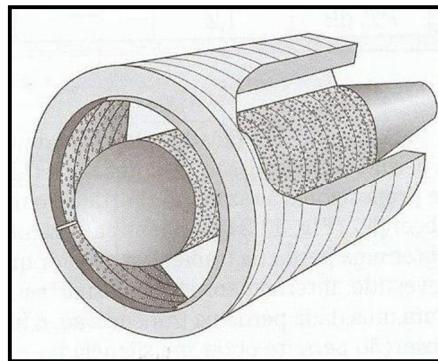


Figura 21 – Silenciador resistivo circular
Fonte: Adaptado de Bistafa (2006)

2.17.1 Dutos revestidos

Segundo Gerges (2000), o duto revestido é usado como atenuador do ruído em ventiladores e ar condicionado, através de dutos de ventilação.

Nas paredes internas do duto, coloca-se o material absorvente, de forma que fique preso por fixadores especiais; podendo ser montados, também, em painéis fono absorventes rígidos de lã de vidro ou de rocha, ver figuras 20 e 21.

A equação que representa a perda da transmissão sonora, dada por Sabine é:

$$PT = 1,05 \times \alpha^{1,4} \times \left(\frac{P}{S}\right) \times L \rightarrow \text{resultado em db} \quad (\text{Eq. 21})$$

Sendo que:

α – coeficiente de absorção sonora de Sabine, do material de revestimento;

L – comprimento do duto em metros (m);

P – perímetro da seção transversal do duto em metros (m);

S – área da seção transversal do duto em metros quadrados (m^2)

Restrição da equação supra:

- a menor largura / deve ter valores entre 15cm e 50cm;

- a razão entre a largura e altura deve ficar entre 1 e 2;
- a velocidade do fluxo de ar deve ser $\leq 15 \text{ m/s}$;
- o coeficiente de absorção tem que ser $\alpha \leq 0,8$;
- precisão do resultado da equação em torno de 10% em relação ao valor de atenuação.

Verificação da perda de pressão na saída do condensador, devido a presença do silenciador na passagem de ar, calcula-se primeiramente a velocidade na superfície para verificação do resultado no gráfico, afim de encontrar a variação de pressão para $\Delta P_{1200}(\text{N/m}^2)$ a um comprimento de 1200 mm.

Velocidade na superfície:

$$V_s = \frac{V_f}{S} \times \frac{b}{ba} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

V_s = velocidade na superfície;

V_f = vazão do ventilador em metros cúbicos por hora (m^3/h);

S = área de entrada em metro quadrado (m^2);

b = largura total do silenciador;

ba = largura total de passagem de ar.

Com o resultado da velocidade superficial verifica-se a correspondência da pressão ΔP_{1200} para 1200mm de comprimento, conforme gráfico:

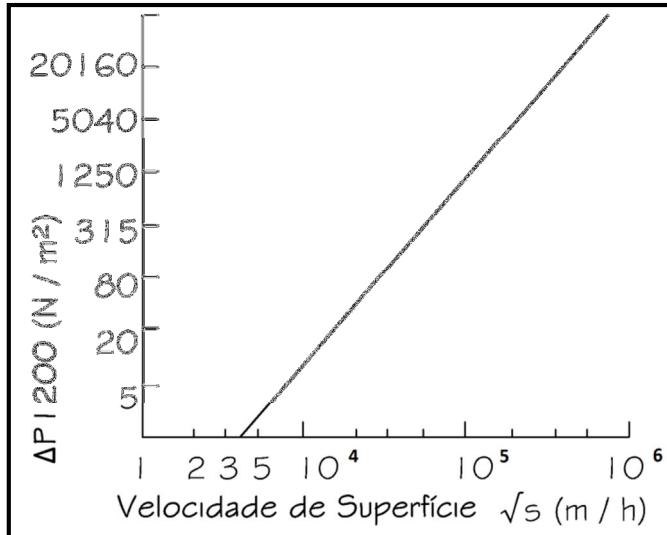


Gráfico 5 - Velocidade de superfície

Fonte: Gerges (2000)

Após o resultado do gráfico para obtenção de ΔP_{1200} , será aplicada na fórmula diretamente para verificação de qualquer outro comprimento:

$$\Delta P_t = \Delta P_{1200} \left(0,49 + \frac{0,425l}{1000} \right) \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

l = para qualquer outro comprimento l (mm);

ΔP_t = Perda de pressão;

ΔP_{1200} = perda de pressão para um comprimento de 1200 mm.

Após os cálculos das equações, deverão ser verificadas as restrições dadas por Sabine.

O espectro sonoro medido utiliza a metodologia para o projeto do silenciador para este ventilador. Várias configurações para a disposição do material absorvente são analisadas com o intuito de se obter o melhor formato do silenciador em relação à eficácia da atenuação sonora, perda de pressão e custo de fabricação.

2.18 RUÍDO DE FUNDO

O ruído de fundo se caracteriza como sons vindos de várias fontes, a ser detectado durante o período da perícia, com exceção da fonte de interesse, que deve estar pelo menos 10 dB(A) abaixo do nível da fonte, objeto da medição. (Moore, 1978 apud Ferreira, 2006). Este ruído pode não estar incomodando ninguém, passando despercebido pelo consciente, mas certamente está presente. (Bistafa, 1998 apud Ferreira, 2006). Em outras palavras, como diz Renner (2007), “ruídos de fundo são considerados os ruídos do ambiente, que não fazem parte dos sons produzidos pelo equipamento”.

O ruído é a média dos ruídos mínimos, no local e no tempo previamente agendado, não estando presente o objeto de outras medições, do estudo em questão; a observação é muito importante, sendo que avalia outros níveis sonoros que poderão interferir na medição.

O nível de ruído deve ser excedido em 90% do tempo de medição em 5 minutos. Deve ser considerada a localização da medição, tempo metereológico, horário, bem como, se as janelas estão abertas ou fechadas. (Borba, 2010).

Losso, 2003 apud Ferreira, 2006 diz que, o ruído de fundo está presente em todos os lugares e, tem origem das mais variadas. Qualquer perturbação acústica cooperará para o ruído de fundo.

A NBR 10.151 (ABNT, 2000), fornece várias informações sobre o ruído de fundo, como segue:

- O ruído de fundo é, também, denominado como ruído ambiente;
- A simbologia do ruído ambiente é (*Lra*): que significa Nível de Pressão Sonora equivalente ponderado na escala “A”;
- Deverá ser observado: local, horário e ausência da fonte em avaliação;
- Tomar cuidado com efeito do vento sobre o microfone que esteja sem o protetor, conforme instruções do fabricante;
- Não realizar as medições em dias que ocorram interferências com fenômenos da natureza, como trovões e chuvas fortes;

- Atentar para que as medições não sofram interferências com superfícies refletoras:
 - No exterior da edificação: o equipamento deve estar afastado pelo menos 1,20m do piso e 2,0m dos limites da propriedade, como muros e paredes;
 - No interior de ambientes: a medição deverá estar a 1m de qualquer superfície refletora, como piso, teto, móveis e parede.

Se o nível de ruído ambiente Lra , for superior ao valor da tabela 1 para a área e horários em avaliação, o Nível de Critério de Avaliação (NCA), assumirá o valor do Lra .

Caso não se consiga atender a alguma das exigências da NBR 10.151 (ABNT, 2000), deve relatar em relatório.

2.19 CÁLCULO DO NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA AO AR LIVRE, A PARTIR DO AFASTAMENTO DA FONTE EM RELAÇÃO AO RECEPTOR

Considerando, conforme Bistafa (2006), segue:

Uma fonte sonora de potência (P) em Watts e a Intensidade sonora (I_1) em watts por metro quadrado a uma distância r_1 em metros, dada por:

$$I_{p1} = P/4\pi r_1^2 \quad (\text{Eq. 24})$$

Se alterar a distância entre a fonte e o receptor a uma distância r_2 , obtém-se uma nova intensidade sonora I_2 , dada por:

$$I_{p2} = P/4\pi r_2^2 \quad (\text{Eq. 25})$$

A relação entre a I_2 e I_1 , se dará da seguinte forma:

$$I_{p2}/I_{p1} = (r_1/r_2)^2 \quad (\text{Eq. 26})$$

Esta relação, expressa pela equação 26 também é conhecida como lei do inverso do quadrado da distância.

Se relacionar a equação nº 26 com o nível de intensidade em dB, obtém-se:

$$L_{p2} \text{ (dB)} = L_{p1} + 20 \log (r_1 / r_2) \quad (\text{Eq. 27})$$

A equação 27 permite a dedução que, todas as vezes que dobrar a distância, o nível de ruído cairá 6 dB. Esta equação é aplicada para campo aberto.

De acordo com Bistafa (2006), o nível sonoro também poderá ser calculado a partir da equação básica de propagação sonora ao ar, compartilhando seus componentes: nível de potência sonora de uma fonte, distância da fonte ao receptor, diretividade do som, ângulo sólido que se relaciona com o posicionamento da fonte e da atenuação sonora, entre a fonte e o receptor, de diferentes formas.

A equação que relaciona os itens acima mencionados é dada por:

$$L_p(r, \emptyset) = L_w - 20 \log r + DI_\emptyset - 10 \log \Omega / 4\pi - A_{combinada} - 11 \quad (\text{Eq. 28})$$

Sendo:

r = distância entre a fonte e o receptor;

L_w = Potência sonora da fonte;

Ω = ângulo sólido;

DI = diretividade do som;

$A_{combinada}$ = é a combinação de atenuação sonora

Segundo Bistafa (2006), o ângulo sólido, variará conforme a disposição da fonte sonora, sendo que:

Quando o ângulo sólido (Ω) for igual a 4π , será considerado quando a fonte estiver suspensa no espaço, em torno de um ponto.

Ângulo sólido (Ω) for igual a 2π , deverá se considerado quando a fonte estiver em um semi espaço, ou seja, em um espaço livre, em um piso sólido.

Ângulo sólido (Ω) for igual a π , deverá se considerado quando a fonte estiver em um espaço livre, entre um piso sólido e uma barreira.

Ângulo sólido (Ω) for igual a $\pi/2$, deverá se considerado quando a fonte estiver, em um espaço livre entre um piso sólido e duas barreira.

Para uma fonte ser considerada omnidirecional, deverá considerar a propagação do som em todas as direções; neste caso, o índice de diretividade “DI” será igual a zero.

Acombinada é a atenuação sonora provocada por vários fatores, como: absorção sonora do ar, absorção do solo ou outro obstáculo na direção do som.

2.20 REBAIXAMENTO DO RUÍDO PELA APLICAÇÃO DE MATERIAL ABSORVENTE (R_{rr}) EM DB

Segundo Silva (2005), a aplicação de materiais absorventes em uma superfície reduz a energia do ruído pela expressão:

$$R_{rr} = 10 \log A_{superfície.tratada} / A_{superfície.não.tratada} \quad (\text{Eq. 29})$$

Onde:

R_{rr} = rebaixamento do ruído pela aplicação de material absorvente - dB

$A_{superfície.tratada}$ = absorção sonora da superfície que recebeu o tratamento - m^2 (Sabine)

$A_{superfície.não.tratada}$ = absorção sonora da superfície sem tratamento - m^2 (Sabine)

2.21 PERDA DE TRANSMISSÃO DE PARTIÇÃO COMPOSTA

Segundo Bistafa (2006), a perda na transmissão de uma superfície poderá sofrer alterações quando esta não for homogênea, ou seja, composta de diferentes materiais, como por exemplo, um vão de paredes, portas, janelas, abertura de ventilação. Quando isto ocorre, há necessidade de calcular a perda de transmissão, individualmente, por meio da equação:

$$\tau_C = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (\text{Eq. 30})$$

Onde:

τ_C = coeficiente de transmissão sonora da partição composta

τ_i = coeficiente de transmissão sonora do componente da partição

S_i = área da superfície do recinto

Gerges (2000) afirma que aberturas e frestas provocam uma redução muito grande na perda de transmissão em uma parede.

Quando a transmissão sonora ocorrer em dois ambientes, ela poderá se propagar por via ar e/ou via sólido, segundo Gerges (2000). Para que um material possa ser considerado como isolante sonoro, deve ter condições de isolamento aéreo e estrutural.

Segundo Bistafa (2006), a capacidade de transmissão de uma parede é conhecida pelo coeficiente de transmissão (τ). Quanto menor for " τ ", mais isolante será a parede. Entretanto, o fator determinante da isolação sonora é a perda na transmissão (PT), dada por:

$$PT = 10 \log 1/\tau \quad (\text{Eq. 31})$$

Uma parede proporcionará maior isolamento sonoro, quando for composta de materiais de alta densidade ou com grandes espessuras. Quanto maior a massa do material utilizado, maior será a resistência ao movimento do elemento e, menor a

quantidade de energia transmitida. A perda de transmissão é dependente da frequência do som incidente, quanto menor a frequência, menor será o tratamento para isolação de uma estrutura. (BISTAFA, 2006).

3. METODOLOGIA

Será apresentado o método para avaliação ambiental relativo ao ruído gerado pelo equipamento de ar condicionado (condensador) no prédio comercial, bem como, no prédio dos reclamantes, utilizando equipamentos de medição sonora e estudo de um sistema para controle e atenuação do ruído e, ainda, o deslocamento dos equipamentos, visando o custo benefício.

A proposta é apresentar etapas como seguem:

- Caracterização da área de estudo para avaliação ambiental;
- Descrição dos equipamentos utilizados para verificação do nível de ruído;
- Método de coleta de dados e localização dos pontos de medição;
- Estudo da atenuação e controle do ruído;
- Estimativa para implantação do sistema.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O local para avaliação da fonte de ruído se encontra no bairro da Consolação, área central do município de São Paulo.

O ruído emitido pelo decibelímetro se caracteriza por três equipamentos iguais de ar condicionado, tipo Chiller da TRANE, modelo TRCE100, com capacidade nominal de 10 TR (tonelada de refrigeração), vide anexo F.

Este equipamento de ar condicionado é composto de duas partes: vaporizador e condensador.

O vaporizador é um equipamento localizado nas áreas internas, que fará a refrigeração do ambiente.

O condensador é a parte do sistema responsável pelo ciclo operacional do processo de refrigeração. Dois tipos de equipamentos, compressor e dois ventiladores, fazem parte integrante do condensador, estes geram ruídos causadores das principais reclamações. A figura 22 mostra os três condensadores, dois paralelos (nº 2 e 3) e o outro nos fundos (nº 1), tendo sobre ele uma telha que foi retirada para maior ventilação.

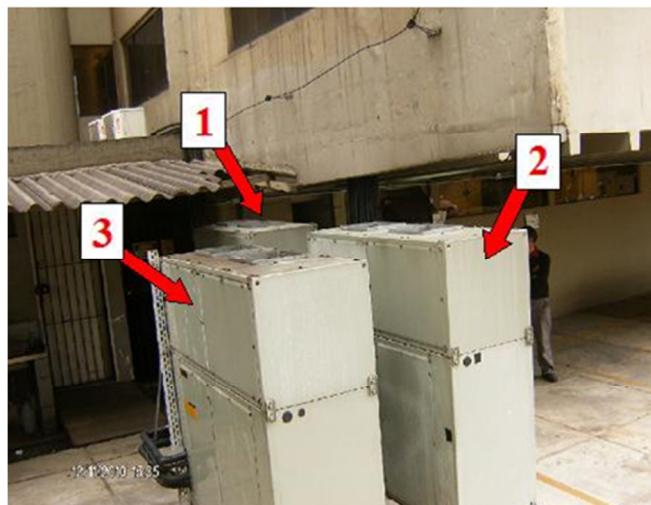


Figura 22 – Condensadores
Fonte: Autor

O condensador, por ser um sistema resfriado a ar, necessita obrigatoriamente estar localizado em áreas externa, descoberta e ventilada.

Os vizinhos reclamantes residem no condomínio que confronta com os fundos do estabelecimento que emite o ruído, conforme verifica-se na figura 23.



Figura 23 – Prédio do vizinho reclamante ao lado esquerdo dos condensadores
Fonte: Autor

3.1.1 Exposição dos parâmetros da lei de Zoneamento Lei 13.885 e NBR 10.151 (ABNT, 2000)

O prédio que contém o gerador de ruído está dentro de uma zona ZCpb-05 (Zona de Centralidade Polar) que pertence à Subprefeitura da Sé, em São Paulo.

A PMSP - Prefeitura do Município de São Paulo, estabelece na Lei nº 13.885, de 25 de agosto de 2004, de uso e ocupação do solo, parâmetros de incomodidade para os estabelecimentos de uso não residencial, sendo determinados de acordo com a zona de cada local. Para a zona do estabelecimento avaliado, a Prefeitura do Município de São Paulo, estabelece os parâmetros, conforme segue:

3.1.1.1 Emissão de Ruído para Zona - ZCpb-05 (Zona de Centralidade Polar)

O NCA (Nível Critério de Avaliação), conforme Lei de zoneamento 13.885/2004, possui seus limites compreendidos em:

- diurno: NCA ≤ 65 decibéis para o período das 7:00 às 22:00 horas;
- noturno: NCA ≤ 55 decibéis para o período das 22:00 às 7:00 horas.

O NCA (Nível Critério de Avaliação), conforme tabela 1, da NBR 10.151 (ABNT, 2000), possui seus limites compreendidos em:

- diurno: NCA ≤ 60 decibéis para o período das 7:00 às 22:00 horas;
- noturno: NCA ≤ 55 decibéis para o período das 22:00 às 7:00 horas.

Analizando a região, conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2000), esta pode ser classificada como: área mista, com vocação comercial e administrativa, tendo como critério de avaliação (NCA) para diurno 60 dB(A) e para noturno 55 dB(A).

3.2 CONFRONTAÇÃO ENTRE A LEI E NORMA

Os pontos medidos em L_{Aeq} serão confrontados com a Lei 13.885/2004, de Zoneamento de São Paulo e, a NBR 10.151 (ABNT, 2000).

O critério de comparação envolverá o ruído de fundo.

3.3 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS



Figura 24 – Sonômetro na posição frontal
Fonte: Autor

O equipamento utilizado para realização das medições foi um sonômetro, conforme figura 24 e 25, com filtros em bandas 1/3 de oitava, devidamente calibrado, obedecendo a NBR 10.151 (ABNT, 2000), conforme descrição que segue:

- Fabricante: Phonic
- Modelo: PAA3 – PERSONAL AUDIO ASSISTANT
- Analisador de terças de oitava
- 31 bandas com faixas de frequência 20 Hz a 20.000 Hz
- Tempo de resposta 35ms; 125ms (FAST); 1s (SLOW)
- Ponderações A, C e FLAT
- Classe 2



Figura 25 – Sonômetro e suas conexões
Fonte: Autor

- Calibrador
- Tipo do calibrador do decibelímetro BRÜEL & KJAER
- Modelo: 4.230
- Fabricante: BRÜEL & KJAER
- Classe: 1
- nº de série: 1.276.052

Foram utilizados alguns acessórios para complementar o processo de medição:

- Tripé para posicionamento do sonômetro, fixado a 1,50m de altura em relação ao piso.
- Câmera digital HP, modelo R742, para registro das medições.
- Trena digital, fabricante Bosh, modelo DLE 50.

Para representação gráfica dos pontos e local de medição foram utilizados os softwares para confecção de projetos:

- Auto CAD 2010.
- Sketchup para desenho.

3.4 MÉTODO DE COLETA DE DADOS E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA

A medição foi realizada no dia 25 de novembro de 2010, iniciando às 8 horas e finalizando às 16 horas, retornando dia 26, no mesmo período, para complementação dos dados.

Durante a medição, os devidos cuidados foram tomados para que, no momento da gravação no aparelho, não ocorressem intercorrências externas abusivas, interferindo no resultado das medições, como também as mesmas foram realizadas sem interferências de fenômenos da natureza, como chuvas e trovões.

Conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2000), procurou-se medir não só na casa do reclamante, onde mais o incomodava, indicado por ele, mas também nas áreas externas aos limites da propriedade.

Para realizar as medições, o equipamento foi programado em modo FAST, com fornecimento dos dados em L_{Aeq} utilizando a ponderação de frequências “A”. A faixa de sensibilidade do sonômetro selecionada foi de 30 a 90 dB(A).

Os níveis sonoros medidos foram registrados em bandas de 1/3 de oitava, no intervalo de 20 Hz a 20.000 Hz, em valores globais expressos na curva de ponderação A.

Posteriormente durante os estudos, os valores em 1/3 de oitava foram aproximados para valores nas bandas de oitava no intervalo 63 Hz a 8.000 Hz, com valores expressos na curva de ponderação A.

O ruído do equipamento é contínuo e, por este motivo, as medições sonoras tiveram duração de 1 (um) minuto por ponto.

O medidor de pressão sonora, foi calibrado antes e após as medições.

Durante a medição, os pontos foram fotografados para permitir a visualização do posicionamento do sonômetro em relação ao local de medição e, posterior confecção do lay-out.

Para caracterização do ruído gerado pelo equipamento de ar condicionado (condensador), foram realizadas medições em 3 (três) etapas:

- Etapa 1 – Medições próximas ao equipamento para determinação de ordem prática da potência sonora;
- Etapa 2 – Medições do ruído de pontos mais distantes do equipamento, dentro dos limites da propriedade do edifício gerador;
- Etapa 3 – Medição do ruído no condomínio reclamante.

3.4.1 Etapa 1 – Medições próximas ao equipamento para determinação de ordem prática da potência sonora.

Nesta etapa, o método de avaliação aproximada dos níveis de potência sonora do equipamento de ar condicionado (condensador), seguiu o procedimento técnico de ordem prática, de acordo com Bistafa (2006), fazendo medições a 1m de distância em torno da fonte (vide figuras 26 e 14) e, posterior realização da média aritmética dos níveis de pressão sonora coletados, podendo determinar aproximadamente o nível de potência sonora da fonte, através da equação 20.

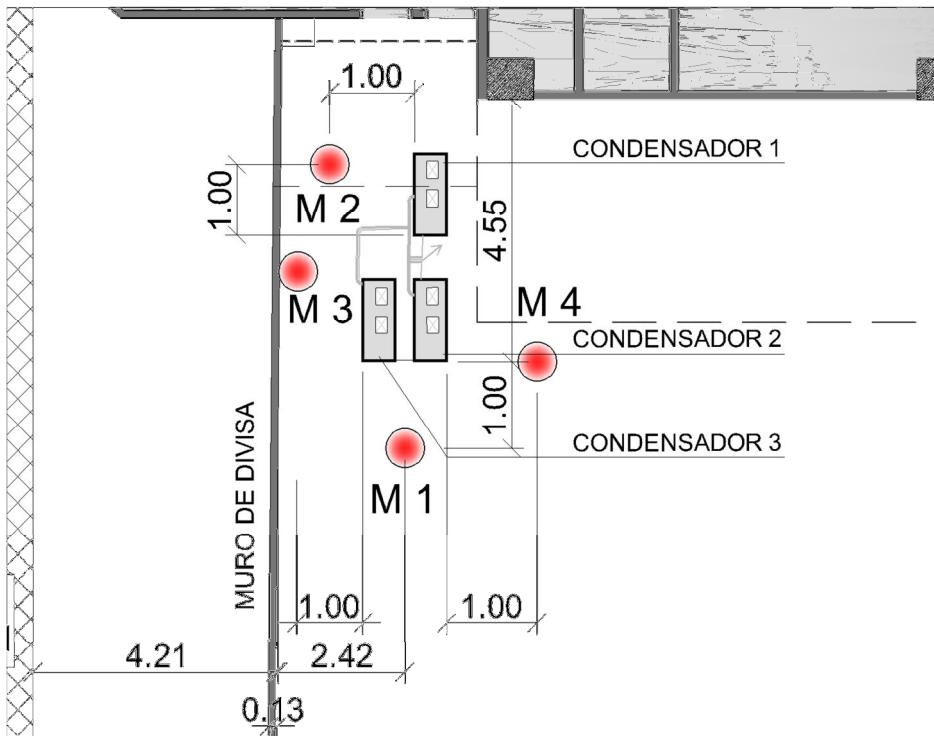


Figura 26 – Demonstração dos locais dos pontos medidos
Fonte: Autor

Para aplicação deste método a fonte deve ser considerada como omnidirecional, estar sobre piso duro e campo aberto. As devidas precauções foram tomadas para aplicação do método, bem como no momento da medição foi posicionado o tripé a 1,5m de altura para posicionamento do sonômetro, a fim de se evitar eventuais interferências do som refletido pelo piso.

A coleta dos dados foi efetuada em 4 (quatro) pontos, conforme indicados a seguir:



Figura 27 - Medição nº 1, entre os condensadores 2 e 3
Fonte: Autor



Figura 28 - Medição nº 2, entre os condensadores 1 e 3

Fonte: Autor



Figura 29 - Medição nº 3, entre o muro de divisa e o condensador 3

Fonte: Autor



Figura 30 - Medição nº 4, projeção da marquise sobre o condensador 2

Fonte: Autor

3.4.2 Etapa 2: Medições do ruído de pontos mais distantes do equipamento, dentro dos limites da propriedade do edifício gerador de ruído.

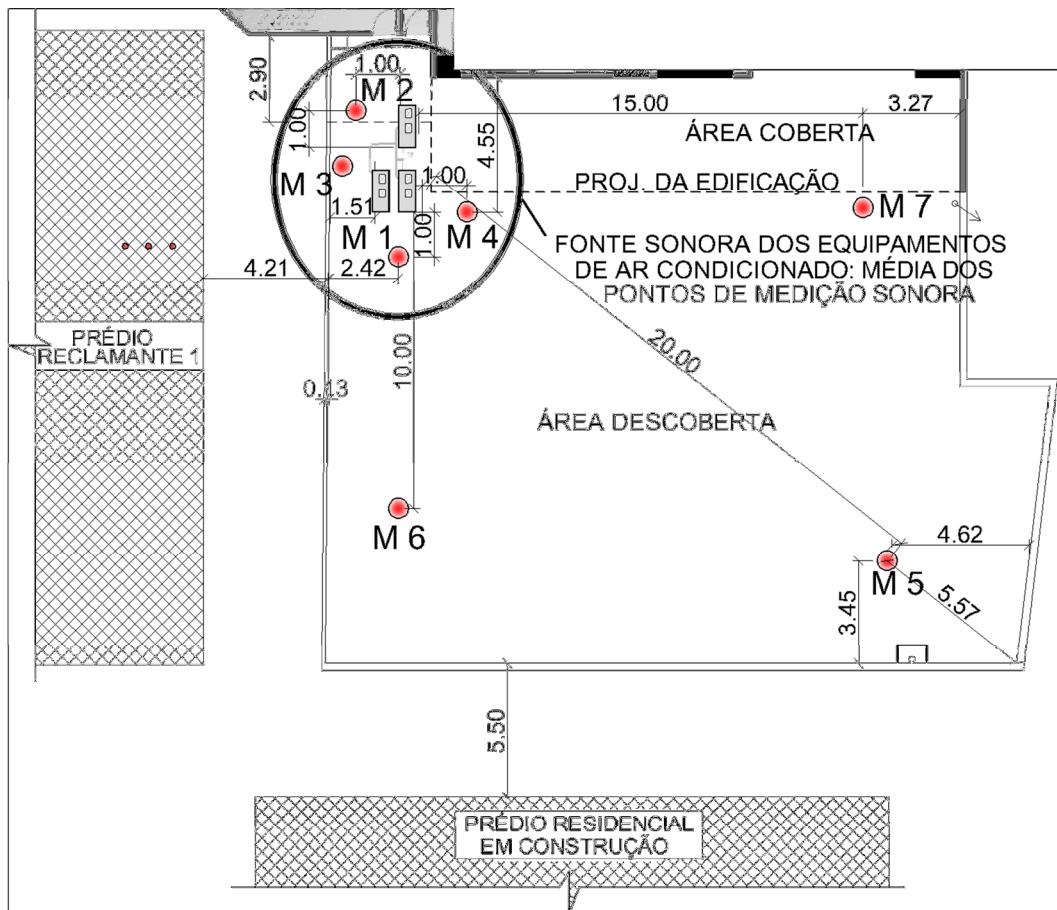


Figura 31 – Localização dos pontos em torno da fonte sonora
Fonte: Autor

Nesta etapa, a coleta de dados do NPS (Nível de Pressão Sonora) dos pontos mais distantes, nos limites da propriedade, está representada nas figuras 31 a 34:



Figura 32 - Medição n° 5, a 20m da fonte em diagonal
Fonte: Autor



Figura 33 - Medição n° 6, a 10m da fonte entre condensador 2 e 3
Fonte: Autor



Figura 34 - Medição n° 7, a 15m da fonte de frente ao condensador 2
Fonte: Autor

A medição foi realizada posicionando o sonômetro a 1,5m do piso sobre o tripé e distante a 2m de qualquer superfície refletora.

3.4.3 Etapa 3 – Medição do ruído no condomínio reclamante

Para medição no condomínio reclamante, foi solicitada a liberação para entrada no prédio. O condomínio, através do síndico, forneceu a liberação para acessar o pavimento térreo e o apartamento da principal reclamante, no 4º andar.

Para melhor caracterização do nível de ruído que incomodava o condomínio, foi solicitado o acesso também no 11º andar, que foi concedido após alguma insistência.

3.4.3.1 A medição do pavimento térreo

Posicionou-se o aparelho na área externa, descoberta, lindeiro a fonte, conforme figura 35, distante do muro de divisa 3,45m aproximadamente na direção da fonte, “amarrando” o ponto a 15,61m na outra face do muro adjacente.



Figura 35 - Medições n° 8, no térreo do prédio, no limite da propriedade da reclamante
Fonte: Autor

A medição foi realizada posicionando o sonômetro a 1,5m do piso sobre o tripé e distante a 2m de qualquer superfície refletora.

3.4.3.2 A medição no 4º andar (apartamento do reclamante)

Neste pavimento foi efetuada a medição do ruído de fundo, ou seja, com a fonte de ruído desligada (condensador). A medição foi realizada na sala, local de maior incômodo, indicado pela reclamante.

Posteriormente, após ter coletado os dados do ruído de fundo, foi religada a fonte para início da coleta de dados do ruído, no mesmo ambiente.

Foram efetuados dois métodos de medição, um com a janela aberta e outro com a janela fechada, conforme figura 36.

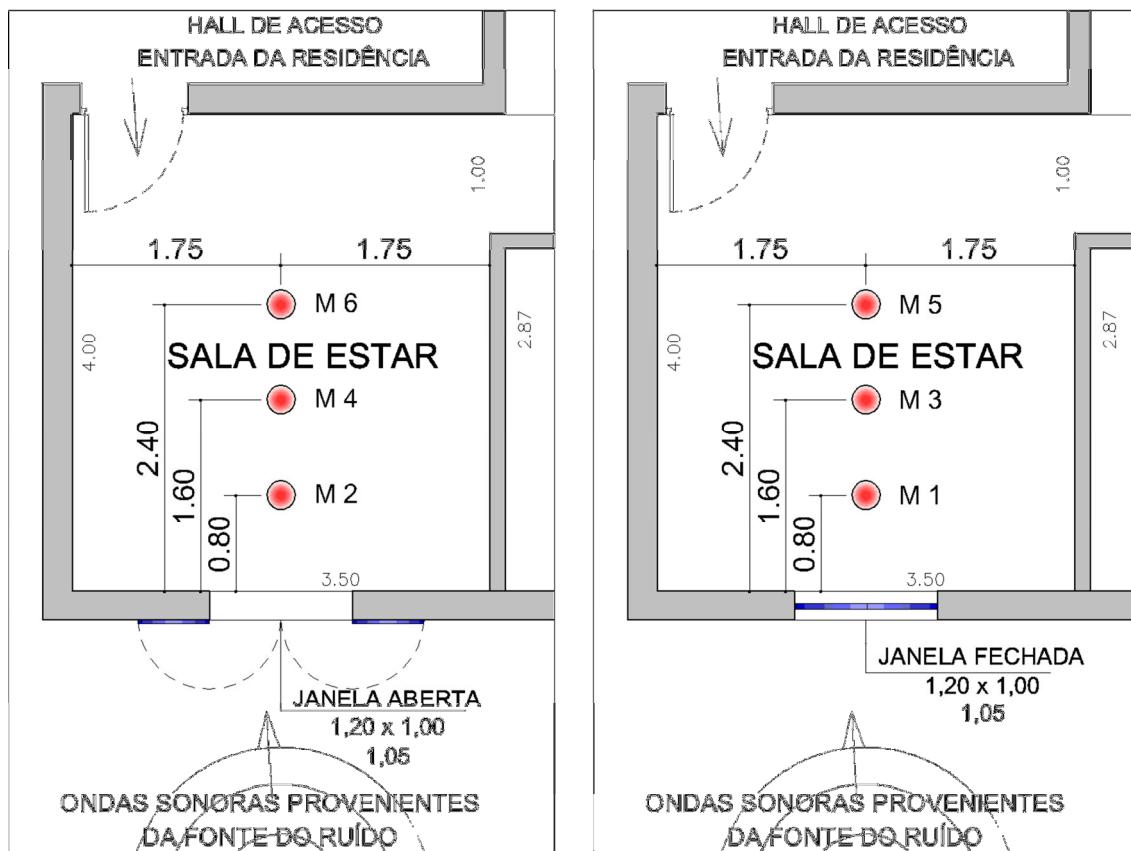


Figura 36 - Localização da medição no 4º andar
Fonte: Autor

Para cada método de medição foram efetuadas 3 (três) medidas em posições distintas, com afastamento entre si superior a 0,50m. Com o resultado das 3 (três) medições com a janela aberta foram realizadas a média aritmética, com a janela fechada foi realizado o mesmo procedimento.

- Primeira medição M2 para janela aberta, distante 0,80m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Segunda medição M4 para janela aberta, distante 1,60m da janela de frente virada para a fonte de ruído;

- Terceira medição M6 para janela aberta, distante 2,40m da janela de frente virada para a fonte de ruído.

Seguem fotos, demonstrando o posicionamento do sonômetro no 4º andar, com as janelas abertas, na sala do reclamante:



Figura 37 - 1º medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta
Fonte: Autor



Figura 38 - 2ª medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta
Fonte: Autor



Figura 39 – 3^a medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela aberta
Fonte: Autor

Com as janelas fechadas se projetou da mesma forma:

- Quarta medição M1 para janela fechada, distante 0,80 m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Quinta medição M3 para janela fechada, distante 1,60m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Sexta medição M5 para janela fechada, distante 2,40m da janela de frente virada para a fonte de ruído.



Figura 40 – 4^o medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada
Fonte: Autor



Figura 41 – 5° medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada
Fonte: Autor



Figura 42 - 6ª medição do 4º andar, sala da reclamante com a janela fechada
Fonte: Autor

Os cuidados necessários foram tomados na realização da medição posicionando o sonômetro a 1,5m do piso, sobre o tripé, e com distância maior que 1m de qualquer superfície refletora, como também durante as medições foram afastados alguns móveis para viabilizar a coleta de dados.

3.4.3.3 A medição no 11º andar

A medição neste pavimento foi realizada para caracterizar o nível de ruído da fonte em estudo, procurando avaliar sua real influência sobre os apartamentos. Com o resultado das 3 (três) medições com a janela aberta foi realizada a média aritmética, com a janela fechada foi realizado o mesmo procedimento.

Para determinação do nível de ruído no local foram efetuadas 3 (três) medidas em posições distintas, com afastamento entre si superior a 0,50m; sendo o resultado das medições, a média aritmética das três medidas.

O sonômetro foi posicionado a 1m, aproximadamente, de uma das faces da parede da sala e os pontos de medição foram colocados de acordo com a figura 43, sendo:

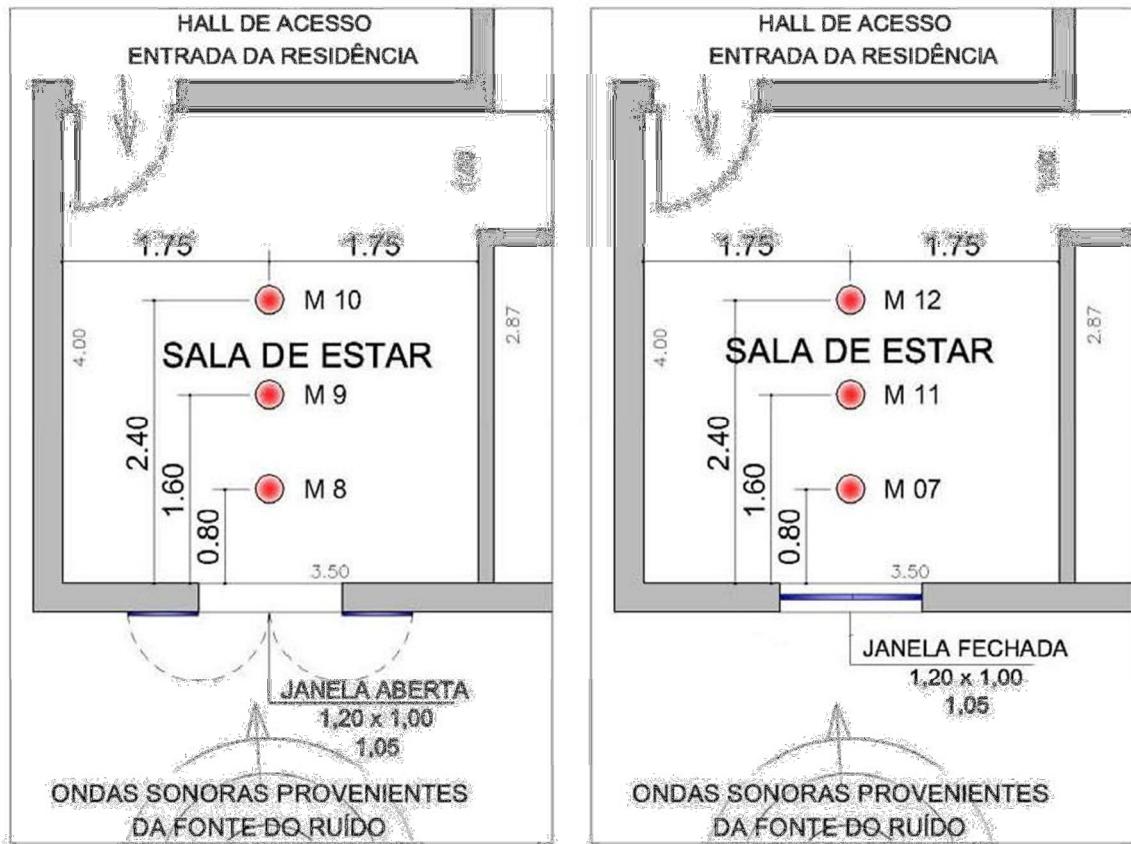


Figura 43 – Localização da medição no 11º andar

Fonte: Autor

- Primeira medição M8 para janela aberta, distante 0,80m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Segunda medição M9 para janela aberta, distante 1,60m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Terceira medição M10 para janela aberta, distante 2,40m da janela de frente virada para a fonte de ruído.



Figura 44 - 1^o medição do 11º andar, janela aberta
Fonte: Autor



Figura 45 - 2^a medição do 11º andar, janela aberta
Fonte: Autor



Figura 46 - 3^a medição do 11º andar, janela aberta
Fonte: Autor

Com as janelas fechadas se projetou da mesma forma:

- Quarta medição M7 para janela fechada, distante 0,80m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Quinta medição M11 para janela fechada, distante 1,60m da janela de frente virada para a fonte de ruído;
- Sexta medição M12 para janela fechada, distante 2,40m da janela de frente virada para a fonte de ruído.



Figura 47 - 4^a medição do 11º andar, janela fechada
Fonte: Autor

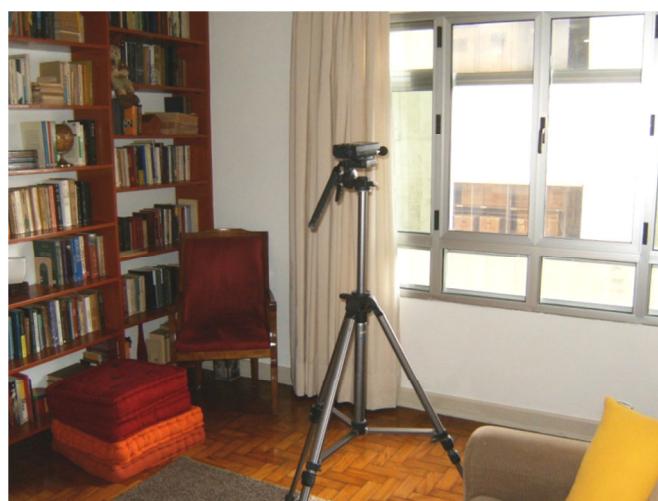


Figura 48 – 5^a medição do 11º andar, janela fechada.
Fonte: Autor



Figura 49 – 6^a medição do 11º andar, janela fechada
Fonte: Autor

Foram tomados os devidos cuidados na realização da medição posicionando o sonômetro a 1,5m do piso sobre o tripé e com distância maior que 1m de qualquer superfície refletora, como também durante as medições foram afastados alguns móveis para viabilizar a coleta de dados.

3.5 ESTUDO DA ATENUAÇÃO E CONTROLE DO RUÍDO

Após a coleta de dados e seus valores obtidos foram feitos estudos para o controle do ruído.

Tomando por base as características da fonte de ruído, sendo este um equipamento de ar condicionado tipo Chiller e o seu condensador, equipamento que necessita de troca de ar, precisando ficar em local externo/ventilado.

Para redução de ruído no condomínio reclamante estudou-se, primeiramente, a inserção de barreira acústica e, posteriormente, instalação de um silenciador resistivo com células de absorção.

Após a realização das medições, foram desligados os condensadores para a coleta de dados, referente ao ruído de fundo.

3.5.1 ESTUDO DA INSERÇÃO DE BARREIRA

Conforme mencionado na revisão de literatura, a barreira deve ser um obstáculo que impeça a visão da fonte pelo receptor e vice-versa, tendo a sua principal redução de ruído por difração para baixo, no topo da barreira, chamada zona de Fresnel, fazendo a sombra acústica.

Neste caso, para criação da barreira visando reduzir o ruído atingindo os níveis ambientais prescritos pela legislação, idealizou-se uma barreira que não permitisse a visualização da fonte por nenhum condômino, porém para que fosse concretizada a barreira deveria ter seu comprimento na vertical superior à altura do prédio. A altura da barreira idealizada era de aproximadamente 40m, conforme figura 50.

A barreira para atender a altura do prédio foi calculada, conforme equações 11, 12 e 13, considerando:

a= 38,09m - distância entre a fonte e o topo da barreira;

b= 5,64m - distância entre o topo da barreira e o receptor;

d = 35,17m - distância em linha reta da fonte ao receptor.

A barreira foi desconsiderada em função de sua altura, pois seria necessária uma barreira maior que o prédio para reduzir o ruído para todos os condôminos.

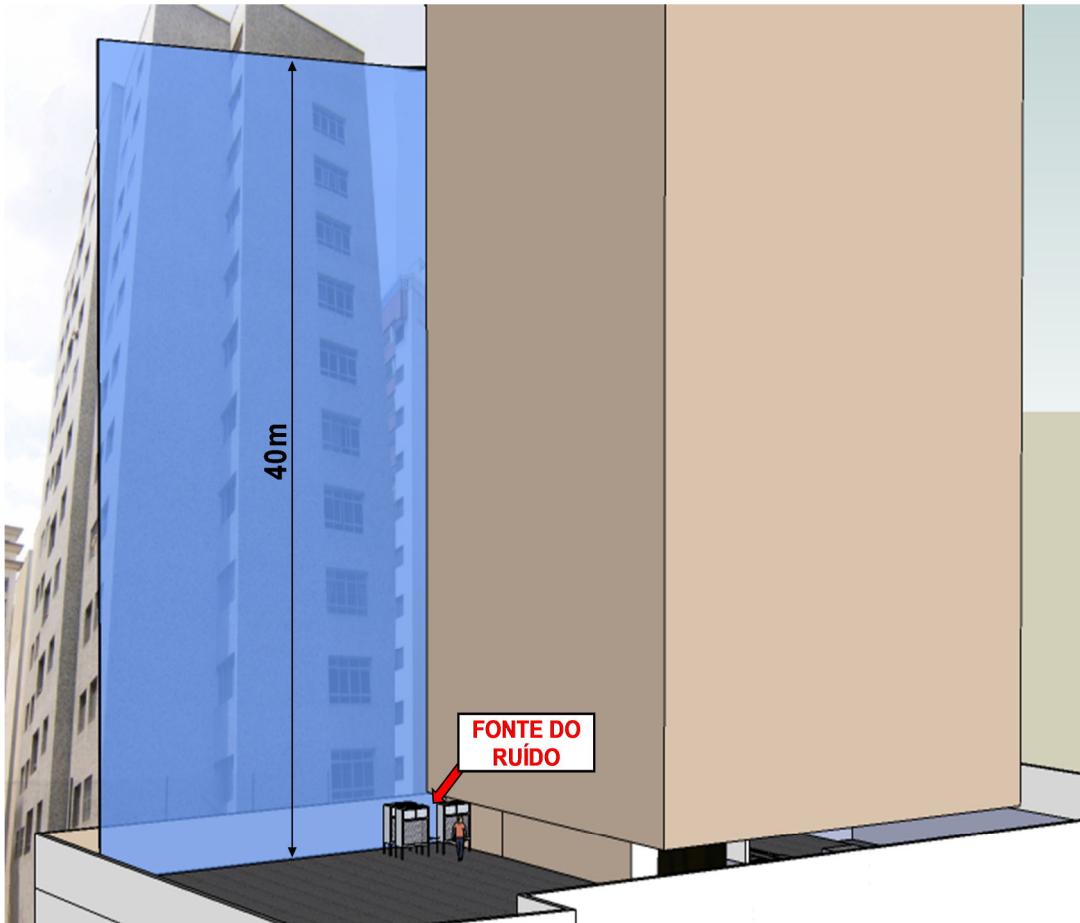


Figura 50 – Barreira sonora para todo o prédio
Fonte: Autor

Visto a inviabilidade da construção da barreira anterior, foi realizado novo estudo na tentativa de solucionar somente o problema da reclamante do 4º andar, conforme figura 51.

A barreira para atender o 4º andar foi calculada, conforme equações 11, 12 e 13, considerando:

$a = 10,32\text{ m}$ - distância entre a fonte e o topo da barreira;

$b = 4,42\text{ m}$ - distância entre o topo da barreira e o receptor;

$d = 10,92\text{ m}$ - distância em linha reta da fonte ao receptor.

O cálculo das barreiras teve por base as equações 3 e 11 e, posteriormente, foi calculado o número de Fresnel pela Equação 12.

O número de Fresnel foi calculado para as frequências de bandas de oitava de 63 Hz a 8.000 Hz.

Obtendo o número de Fresnel, segundo Rathe, 1969 apud Josse, 1975 apud Lisot, 2008, aplica-se a equação 19, determinando a perda de inserção (IL) da barreira em dB(A), porém a forma mais indicada para obtenção do número de Fresnel é a Equação 13.

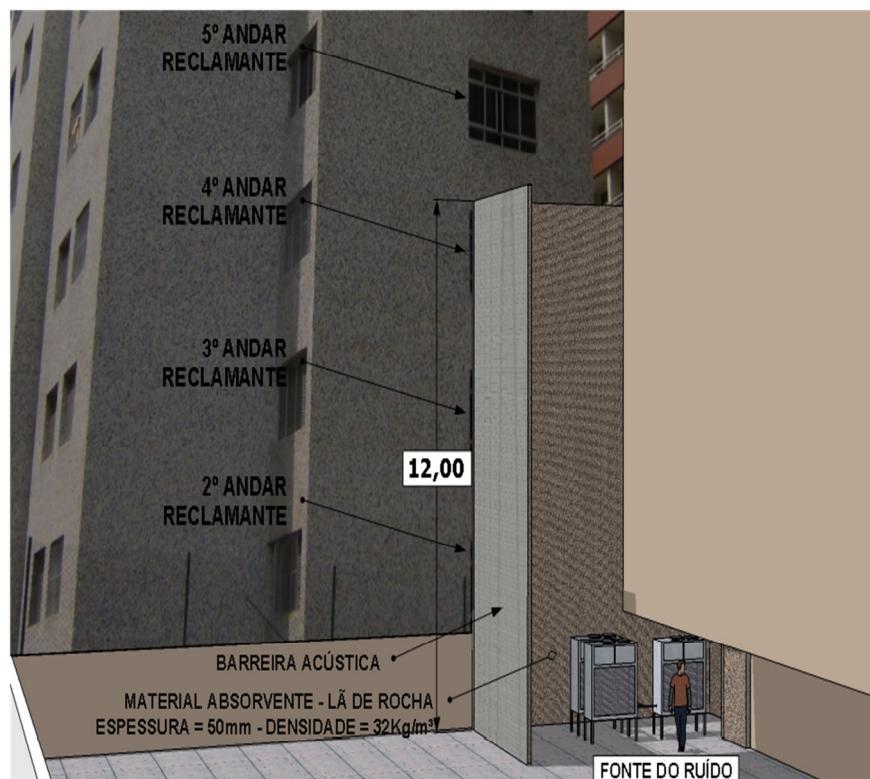


Figura 51 – Barreira sonora para atender só o 4º andar
Fonte: Autor

A viabilidade de instalação desta barreira será discutida no capítulo posterior.

3.6 CONSTRUÇÃO DA BARREIRA

Visando a construção da barreira esta, para não ter o seu desempenho comprometido por transmissão sonora através de sua estrutura, deverá ter sua densidade superficial superior a 20 kg/m². (BISTAFA, 2006).

A barreira será confeccionada em bloco de concreto estrutural de (14 x 19 x 39)cm, utilizando argamassa de assentamento com traço¹¹ de 1:5:8, argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia com granulometria média com espessura das juntas de 10mm.

A parede de vedação será revestida dos dois lados com chapisco e, posteriormente, emboçada. No chapisco¹² será utilizado traço 1:4 com cimento e areia grossa com espessura de 10mm.

O emboço¹³ terá espessura de 20mm, utilizando-se o traço de 1:2:11 empregando argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média.

A cada metro da barreira será passado uma barra de aço CA-50¹⁴ de diâmetro de 10mm, no sentido vertical e dentro dos blocos no sentido horizontal. Posteriormente,

¹¹ Traço, segundo Aguiar (2004), Silva (2006) e a NBR 13755 (ABNT, 1996), é a proporção em volume entre os componentes a ser utilizados na mistura, é mais comum sua utilização em argamassas, cujos componentes são cimento, cal hidratada e areia para execução do emboço e para o chapisco somente cimento e areia, sendo a água adicionada para dar a liga da mistura e variação da consistência desejada. Os traços variam de acordo com a utilização.

¹² Segundo Santos (2008) e Franco (2008), chapisco é a primeira camada de revestimento áspero de forma contínua com finalidade de aderência, aplicado na estrutura/alvenaria; utilizado como preparo de base para receber o emboço.

¹³ Carasek, 2007 apud Santos, 2008 apud Franco, 2008, define emboço como a camada de revestimento com a finalidade de cobrir e regularizar a superfície de base que é o chapisco, de maneira que possa uniformizar, corrigir irregularidades deixando preparado para receber outra camada de reboco ou massa fina e posterior pintura ou ainda, outro revestimento decorativo.

¹⁴ O termo CA-50 representa ser um aço confeccionado para vergalhões, para ser usado na construção civil, em concreto armado, indicando a categoria e a resistência de escoamento mínimo do aço, que é de 50 kgf/mm², segundo Pinheiro, Santos, Muzardo e Santos (2010). Estruturas de concreto – capítulo 3. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/03%20Acos.pdf>. Acesso: 21 mar. 2011

será preenchido com grout¹⁵ os furos que estarão passando a barra de aço na vertical como na horizontal até o término, estabelecido em projeto, tendo seu desempenho acústico de acordo com o gráfico 5 fornecido por Baring (2010), que segue:

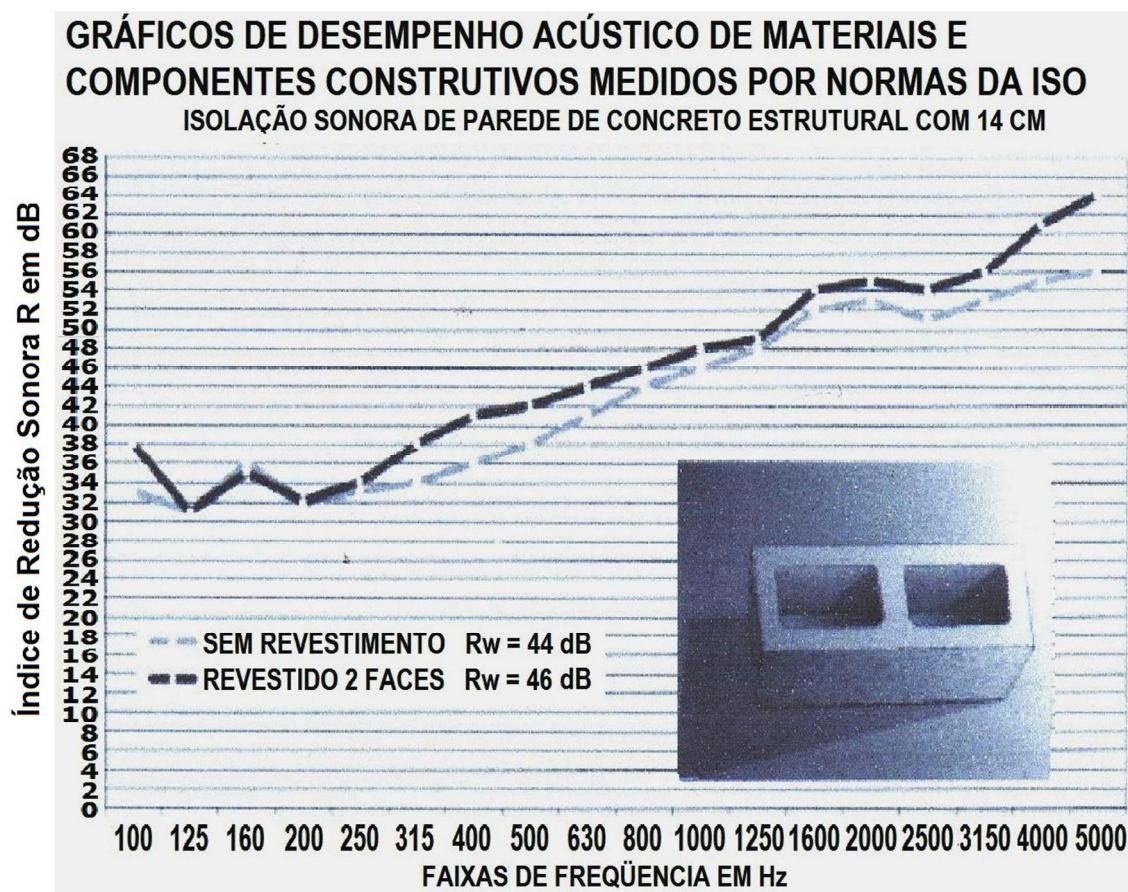


Gráfico 6 - Isolação sonora da parede de concreto com 14cm.

Fonte: Baring (2010)

¹⁵ Grout é uma argamassa pré-dosada composta de cimento Portland, areia e aditivos, possui boa trabalhabilidade; adesividade em 30 minutos a 25°C com a adição de água; elevada resistência inicial e final e cura a 0°C. ARANTES, Y.K. disponível em http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/monografia_Impermeabiliza%E7%Eo.pdf e, http://www.casadagua.com.br/produtos_ver_produto.asp?c=37229035525. Acesso em 20 mar. 2011

3.7 ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE UM SILENCIADOR RESISTIVO COM CÉLULAS DE ABSORÇÃO.

Visto a dificuldade na construção das barreiras e visando controlar o ruído para todos os condôminos do prédio, foi desenvolvido um novo projeto utilizando o sistema de silenciador resistivo com células de absorção.

Para calcular o silenciador resistivo, primeiramente, houve a necessidade de conhecer a potência sonora dos três condensadores, conforme descrição do levantamento dos mesmos, conforme figuras 31 a 34. Com a medição dos quatro pontos, realizados em torno da fonte, foi realizada a média aritmética \bar{L}_p – Nível de Pressão Sonora, e substituída na equação 20, obtendo-se o valor L_w - Nível de potência sonora dos equipamentos em dB(A).

Tendo conhecido a potência dos três equipamentos, iniciou-se o estudo do silenciador resistivo.

Verificação da potência sonora do atenuador que deverá ser fabricada com base nas medições, principalmente, as realizadas na casa da reclamante, conforme pontos coletados, em dB(A).

Para a determinação da perda de transmissão através do silenciador foi aplicada a equação Sabine e, posteriormente, calculada a influência do silenciador sobre a exaustão dos equipamentos instalados. Verificou-se a velocidade superficial através da equação 22 e, posteriormente, a perda de pressão através da equação 23, procurando atender as restrições da equação de Sabine.

3.8 CÁLCULO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA EM DB.

O cálculo da atenuação será através da equação 21.

Para atender a equação 21, de Sabine, deverá seguir as seguintes restrições:

- a menor largura l deve ter valores entre 15 a 50cm;
- a razão entre a largura e a altura deve ficar entre 1 e 2;
- a velocidade do fluxo de ar deve ser ≤ 15 m/s;
- o coeficiente de absorção tem que ser $\alpha \leq 0,8$;
- precisão do resultado da fórmula em torno de 10% em relação ao valor de atenuação.

A verificação da perda de pressão devido a presença do silenciador na passagem de ar na saída do condensador, primeiramente deve ser calculada a velocidade na superfície, conforme equação 22, com o resultado, deverá ser aplicado no gráfico 7, a fim de encontrar a variação de pressão para ΔP_{1200} para um comprimento de 1200mm.

Com o resultado da velocidade superficial, verifica-se a correspondência da pressão ΔP_{1200} para um comprimento de 1200mm, conforme gráfico 7 que segue:

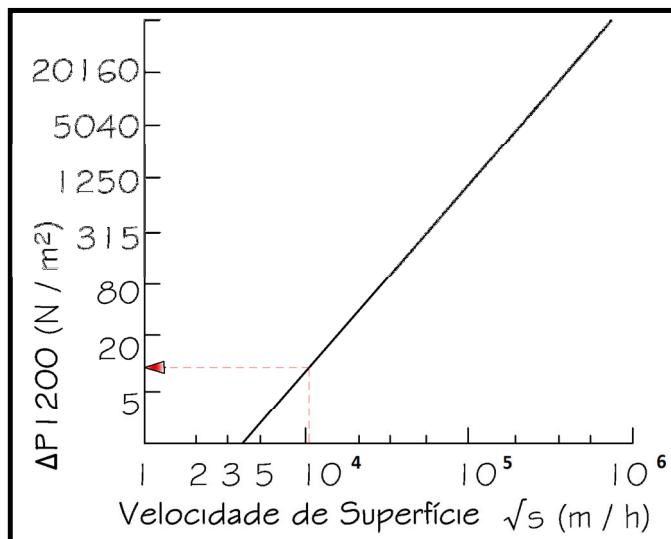


Gráfico 7 – Velocidade de superfície
Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

Com o valor correspondente do gráfico para obtenção de ΔP_{1200} (N/m^2), será aplicado na equação 23 diretamente para verificação de qualquer outro comprimento.

3.9 DESCRIÇÃO DO SILENCIADOR RESISTIVO

A proposta é passar por duas etapas principais:

- Descrição do local e forma de posicionamento dos equipamentos entre eles;
- Descrição do silenciador resistivo.

3.10 DESCRIÇÃO DO LOCAL E FORMA DE POSICIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS ENTRE ELES.

A fonte sonora (condensador tipo Chiller), está localizada no térreo e fundos do edifício onde há um pátio descoberto para estacionamento de carros e motos.

O condensador está localizado também em área descoberta, ao lado da marquise do prédio, com altura média de 2,42m na frente e 2m nos fundos, utilizada também para garagem de automóveis. A área ventilada embaixo da marquise, forma um corredor de fluxo de ar, que direciona aos equipamentos. A marquise está em média a 0,43m de altura maior que a altura dos chillers, conforme figura 52.



Figura 52 – Diferença de altura do equipamento em relação à marquise
Fonte: Autor

Os três equipamentos condensadores estão, em média, a 6,63m do centro dos condensadores até a parede do prédio dos reclamantes e, a 1,51m da face interna do muro até a face do gabinete do equipamento de ar condicionado nº 3.

O muro possui espessura de 13cm, já incluindo o revestimento dos dois lados, com chapisco e emboço.

Os três condensadores se encontram, também, longitudinalmente distantes das duas portas do almoxarifado, em 2,36m, conforme figura 53.

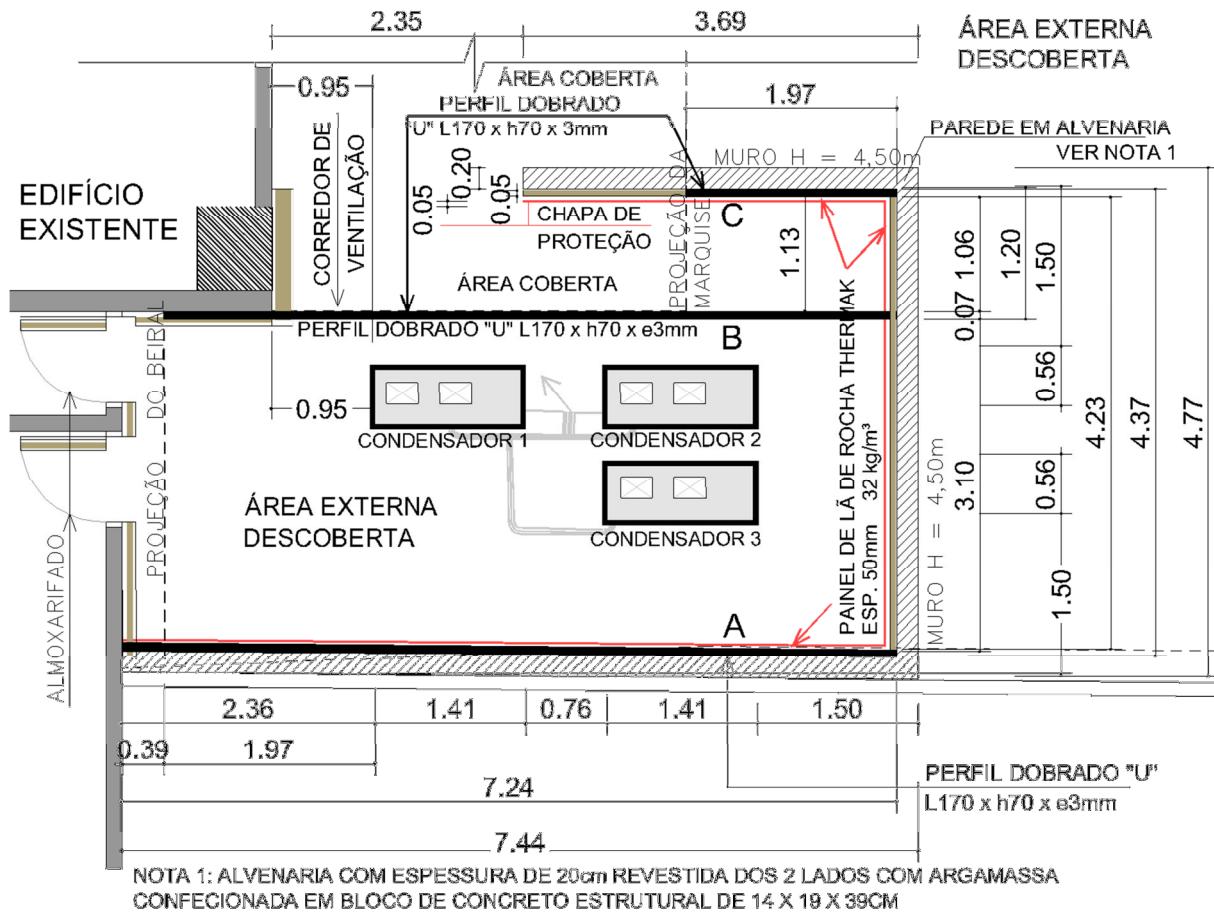


Figura 53 – Localização dos condensadores próximos ao almoxarifado
Fonte: Autor

Os equipamentos possuem forma de paralelepípedo, sendo que a maior dimensão é de 1,41m de comprimento, por 0,56m de largura e de altura 1,52m; possuindo

mais 0,02m de saliência, mais alto que o equipamento, que é o bocal de exaustão dos ventiladores, vide figura 54.



Figura 54 – Detalhes da exaustão
Fonte: Autor

Os equipamentos estão apoiados sobre requadros de cantoneiras com altura de 0,45m. Os aparelhos encontram-se dispostos, semelhante a um triângulo, com altura de 1,97m, vide figura 55 para melhor entendimento.



Figura 55 – Condensadores – vista dos requadros de cantoneiras
Fonte: Autor

A distância da fonte ao 4º andar (casa da reclamante) é de 10,65 m do piso a janela da reclamante, na projeção vertical, conforme figura 56.

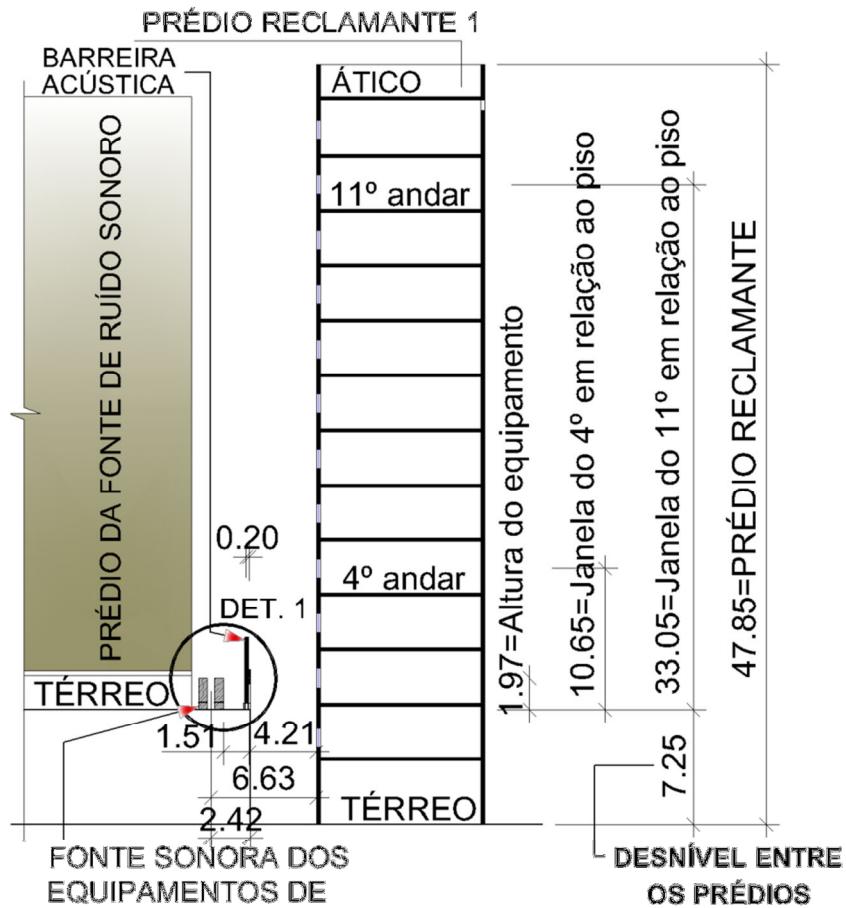


Figura 56 – Distância da fonte para o 4º andar
Fonte: Autor

3.11 DESCRIÇÃO DO SILENCIADOR RESISTIVO.

A área onde será instalado o silenciador resistivo é composta por duas partes: a primeira, fica entre a fachada lateral do prédio e o muro de divisa (7,24m por 3,10m) e, a segunda parte fica no alinhamento do prédio a 4,77m paralelo ao muro de divisa (1,13m por 1,97m), totalizando 24,67m², vide figura 53.

O silenciador resistivo deverá ser instalado acima dos condensadores, pois a saída de ar é por cima e a entrada de ar é pela lateral do equipamento. São equipamentos que necessitam estar em local descoberto e ventilado.

3.12 CONSTRUÇÃO DA BARREIRA EM FUNÇÃO DO SILENCIADOR

Para fixação do silenciador será necessária a construção de uma barreira em forma de “U”, com altura de 4,5m em bloco de concreto estrutural de (14 x 19 x 39)cm com chapisco e emboço dos dois lados.

A barreira será revestida com lá de rocha, com espessura de 50mm, com densidade de 32kg/m³, que servirá para absorver as ondas sonoras refletidas da exaustão dos equipamentos instalados que neste caso, têm o seu fluxo direcionados, para o silenciador resistivo que está posicionado acima dos mesmos.

A barreira iniciará na parede do almoxarifado, e caminhará paralelamente ao muro de divisa por 7,44m, onde no final deste, continuando à esquerda a 90°, dará continuidade por mais 4,37m. Deste ponto, um novo lance da barreira iniciará, formando um ângulo de 90° por mais 3,69m, de modo que forme um “U”, vide figura 57.

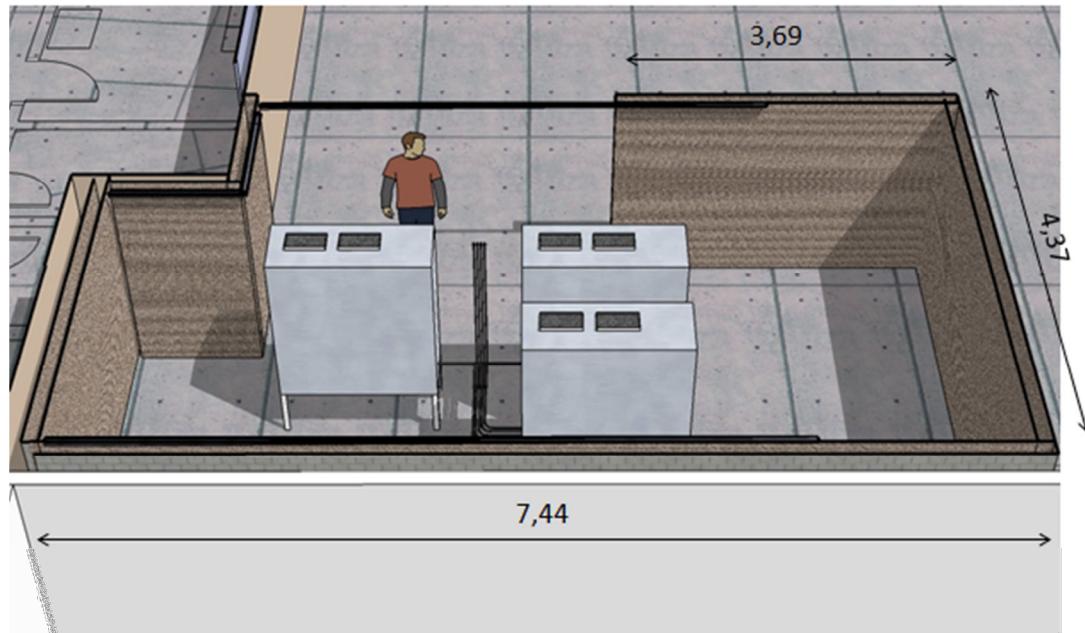


Figura 57 – Vista em 3D
Fonte: Autor

As paredes receberão painéis de lã de rocha com espessura de 50mm, com densidade de 32 kg/m³, que serão encapados com plástico polipropileno com espessura de 0,03mm e, posteriormente, será fixada a chapa perfurada expandida (SAE 1060 20x50 c.2). A cantoneira "U" em chapa dobrada (170 x 70 x 3)mm, ficará desencostada da lã em 50mm, vide figuras 58 e 59.

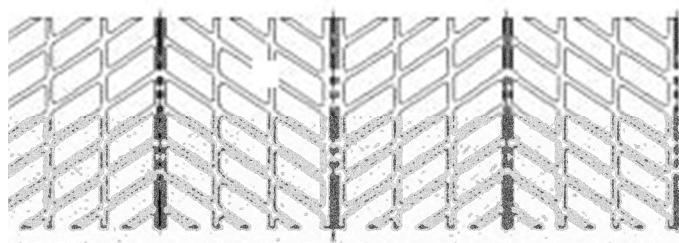


Figura 58 - Chapa perfurada expandida (SAE 1060 20x50 c.2)
Fonte: Autor

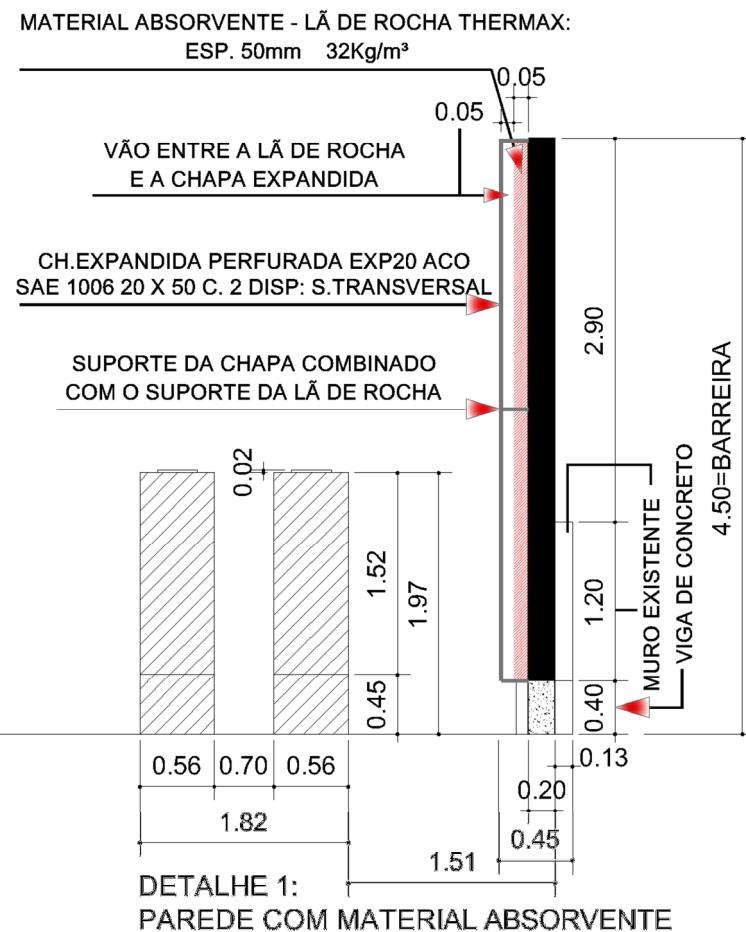


Figura 59 – Perfil da parede com material absorvente
Fonte: Autor

3.13 CONSTRUÇÃO DO SILENCIADOR

O silenciador resistivo possui formato retangular e internamente é revestido com materiais de absorção sonora.

O espaço onde serão posicionados os silenciadores resistivos terá a forma de dois retângulos, formando um “L”.

Serão fixados dois perfis tipo “U” que estarão paralelamente distantes na vertical 1,65m no sentido do fluxo de ar.

Painel em lã de rocha, com espessura de 150mm.

O perfil “U” utilizado é dobrado (170 x 70 x 3)mm, vide figura nº 60.

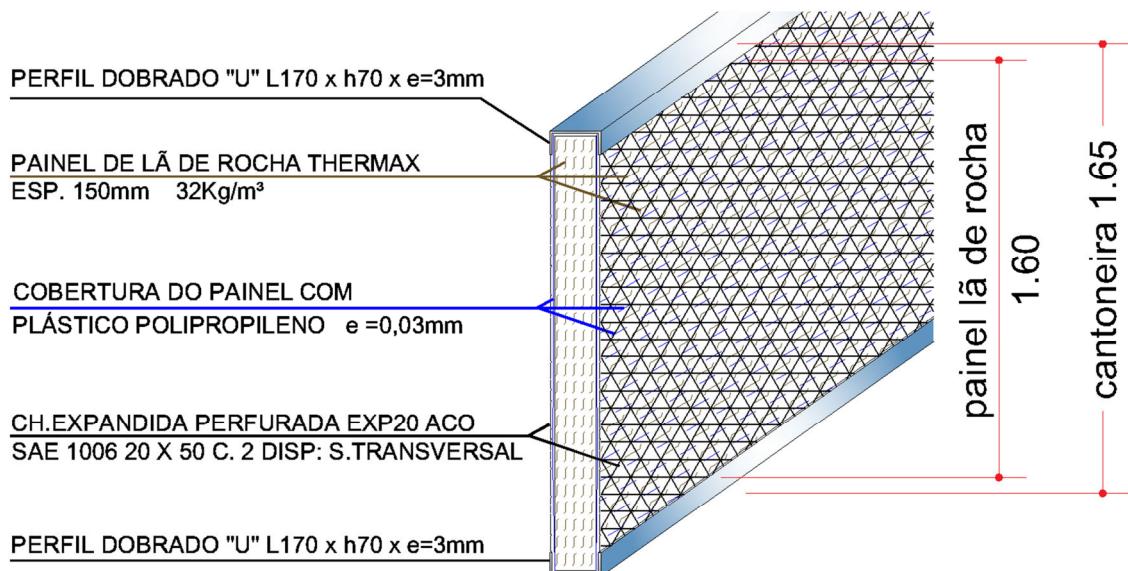


Figura 60 – Painel do silenciador
Fonte: Autor

Os perfis estarão distantes um do outro a cada 100mm.

Para fixar os painéis serão instalados outros perfis idênticos, parafusados na parede, através de parafusos e buchas metálicas nº 10, a cada 500mm de distância, para servirem de apoio aos painéis; da mesma forma será realizado na parte superior dos mesmos.

Esta passagem de 100mm permitirá a exaustão e ar emitido pelos condensadores.

Havendo dois perfis parafusados na parede, um inferior ao painel e o outro na face superior, serão fixados através de solda elétrica.

Nas duas faces do painel resistivo, serão parafusadas chapas perfuradas expandidas (SAE 1060 20x50 c.2), vide figuras 61 e 62.

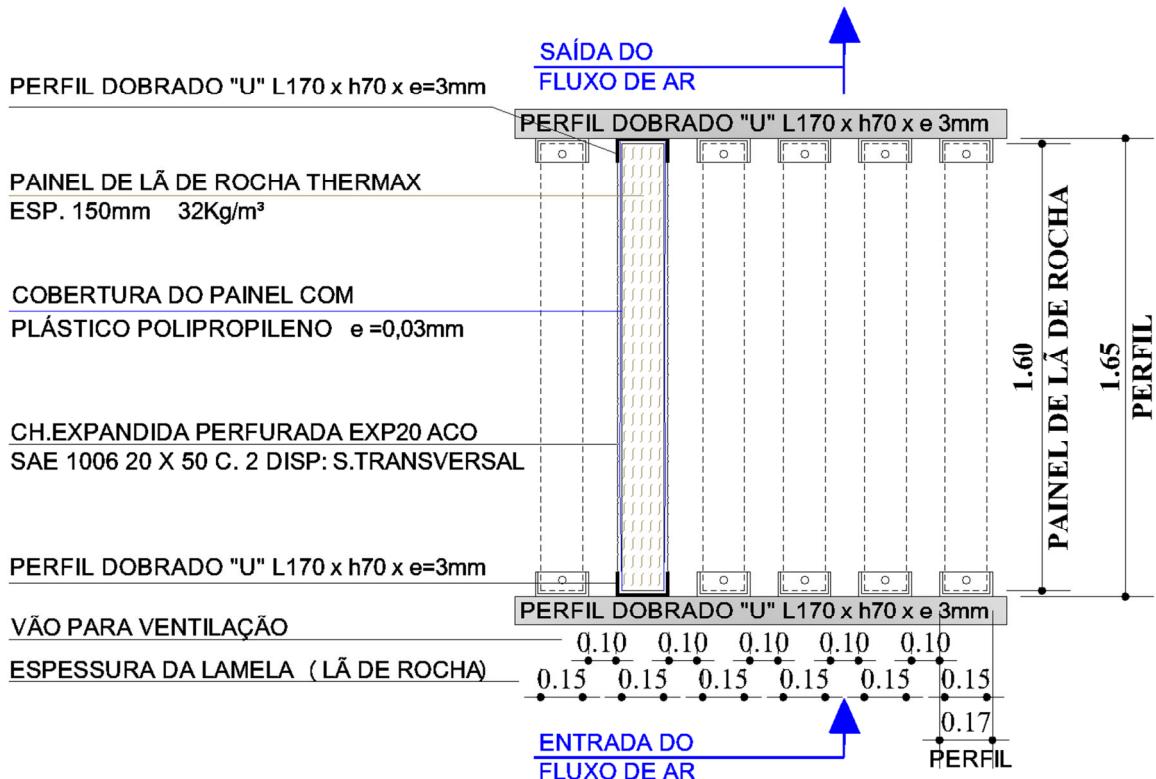


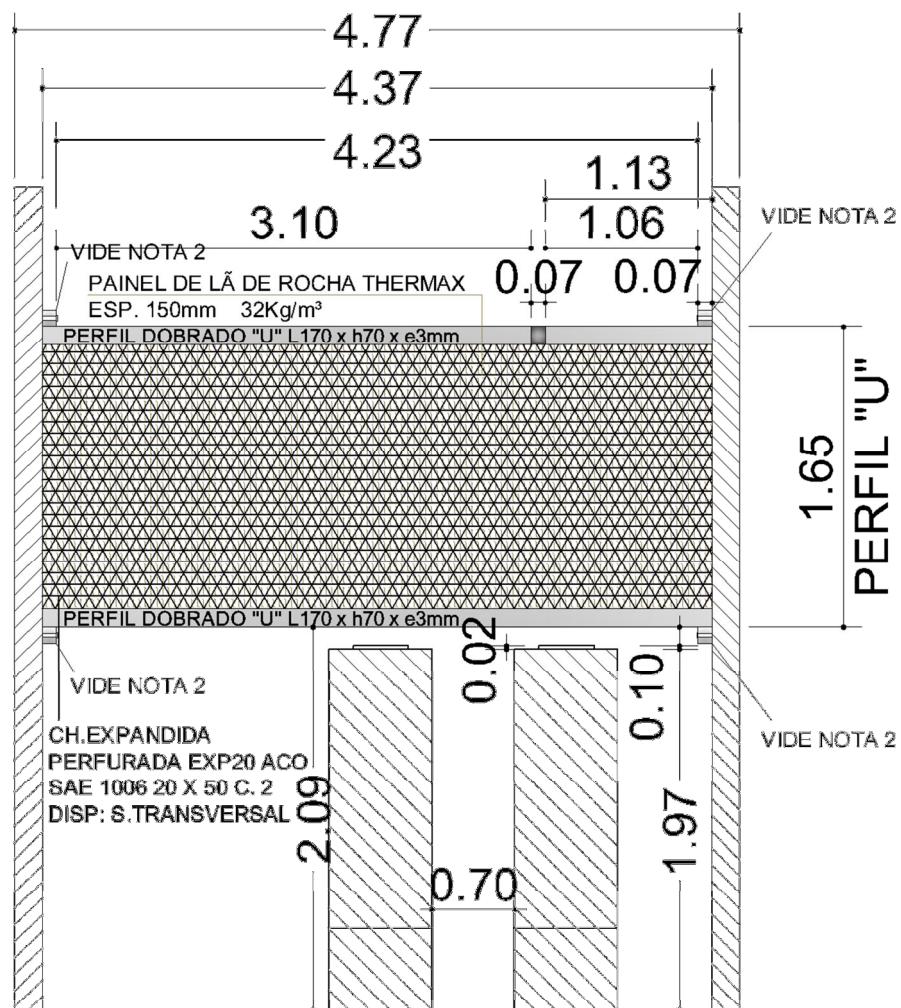
Figura 61 – Detalhamento do distanciamento dos perfis
Fonte: Autor

Para fixação dos perfis horizontais do silenciador resistivo fixados na parede, será observado o seguinte critério:

No primeiro caso (A), na barreira que caminhará junto do muro em 7,24m; no segundo caso (B), é o da edificação, o perfil caminhará em 7,24m; e, no terceiro caso (C), a barreira menor que está paralela à barreira da divisa, receberá a fixação do perfil com 1,97m, vide figura 63.

A lã de rocha, que ficará exposta às intempéries, será revestida com plástico de polipropileno de 0,03mm para a sua proteção e conservação.

Será utilizado, também, junto ao saco de polipropileno, para proteção do painel, esticadores de arame com malha de 12mm, para manter o painel esticado, permitindo a movimentação das moléculas dentro do saco, vide figuras 62 e 63.



NOTA 2:
PERFIL DOBRADO "U" L170 x h70 x e=3mm PARAFUSADO NA PAREDE E
SOLDADO NOS PERFIS DE SUSTENTAÇÃO DOS SILENCIADORES

Figura 62 – Posicionamento do painel sobre os condensadores
Fonte: Autor

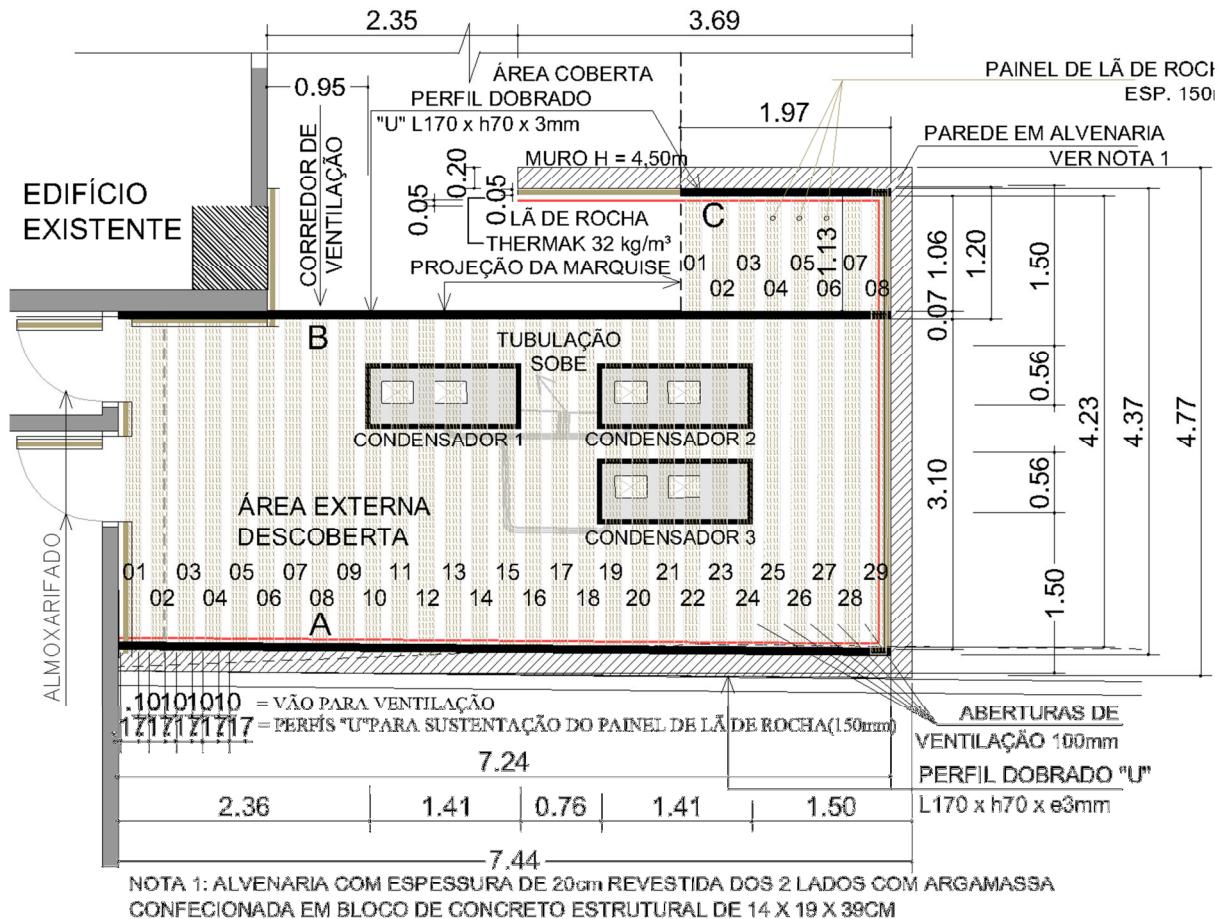


Figura 63 – Planta dos perfis e painéis resistivos, sem escala
Fonte: Autor

Os painéis com perfil tipo "U" (170 x 70 x 3)mm, terão as quantidades e as seguintes dimensões:

- 29 painéis de 1650mm de altura, 170mm de espessura e 3100mm de comprimento;
- 08 perfis de 1650mm de altura, 170mm de espessura e 1130mm de comprimento.

3.14 REMANEJAMENTO DOS EQUIPAMENTOS CONDENSADORES

Também foi estudado um outro modo para reduzir o ruído no prédio reclamante, buscando comparar os custos dos métodos de controle de ruído.

Ao calcular o remanejamento dos equipamentos-condensadores para uma posição mais distante da reclamante, ou seja, do lado oposto do conjunto residencial, no outro limite da propriedade do prédio emissor de ruído, conforme posicionamento M5 da figura 31, verificou-se as seguintes distâncias:

Nas medidas iniciais da localização da fonte:

- Distância de 6,63m, na horizontal, dos equipamentos até o prédio da reclamante;
- Distância de 10,92m, na diagonal, iniciando a 1,97m de altura na saída de exaustão, entre os equipamentos-condensadores até a janela da reclamante do 4º andar;
- Distância de 35,17m, na diagonal, iniciando a 1,97m de altura na saída de exaustão, entre os equipamentos-condensadores até a janela da reclamante do 11º andar.

Nas novas medidas:

- Distância de 26,63m, na horizontal, referente ao distanciamento da fonte em relação ao prédio da reclamante;
- Distância de 28m, na diagonal, iniciando a 1,97m de altura na saída de exaustão, entre os equipamentos-condensadores até a janela da reclamante do 4º andar;
- Distância de 43,61m, na diagonal, iniciando a 1,97m de altura na saída de exaustão, entre os equipamentos-condensadores até a janela da reclamante do 11º andar.

O distanciamento da fonte, utilizando a equação 27, permite a redução do nível sonoro em 6 dB(A), isto ocorrerá todas as vezes que dobrar a distância, entre a fonte e o receptor, através da “lei do inverso do quadrado da distância”.

3.15 ESTIMATIVA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Será verificado o valor de custo benefício dos sistemas: primeiro, do silenciador resistivo; segundo, dos custos de equipamento novo, incluindo instalação; e, em terceiro, remanejamento dos equipamentos existentes dentro dos limites da propriedade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

De acordo com o zoneamento de São Paulo, Lei 13.885/2004, a fonte geradora de ruído e o reclamante estão localizados em uma zona ZCpb-05 (Zona de Centralidade Polar) onde a classificação em relação à NBR 10.151 (ABNT, 2000), pertence a uma área mista com vocação comercial e administrativa.

4.1.1 Confrontação da Norma com a Lei de zoneamento de São Paulo.

Tabela 3 - Comparação da Lei de zoneamento com a NBR

Item	Descrição	Diurno	Noturno
		NCA	NCA
1	Zoneamento de São Paulo – Lei 13.885/2004	≤ 65	≤ 55
2	NBR 10.151 (ABNT, 2000)	≤ 60	≤ 55

Fonte: Adaptação das NBR 10.151 (ABNT, 2000) e Lei 13.885/2004

Como se trata da cidade de São Paulo, que possui limites próprios de emissão de ruído, será adotado o NCA (nível de critério de avaliação) do zoneamento dado pela Lei 13.885/2004, de São Paulo.

Para atender o NCA (nível de critério de avaliação), deverá ser feita a correção para a janela fechada e a janela aberta, seguindo as orientações da NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Tabela 4 - Tabela de correção utilizando o NCA

Tabela de correção		
Correção do NCA segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000)	Janela fechada - 15 dB(A)	Janela Aberta - 10 dB(A)
Lei 13.885/2004 – lei de zoneamento São Paulo - período diurno \leq 65dB(A)	$65 - 15 = 50$ dB(A)	$65 - 10 = 55$ dB(A)

Fonte: Autor

4.2 MEDIÇÃO DA FONTE SONORA

Para caracterização do ruído gerado pelos equipamentos de ar condicionado, foram realizadas quatro medições a 1m do condensador, posterior média aritmética dos níveis sonoros coletados, que foi utilizada na equação 20, que forneceu o nível de potência sonora do condensador.

Pontos coletados:

$$M1 = 74,5 \text{ dB(A)}$$

$$M2 = 76,1 \text{ dB(A)}$$

$$M3 = 79,5 \text{ dB(A)}$$

$$M4 = 79,0 \text{ dB(A)}$$

Média aritmética de 77 dB(A).

Tabela 5 - Média aritmética em bandas de oitava dos pontos a 1 m da fonte

Frequência (Hz)	Média aritmética da fonte sonora com a ponderação “A”
63	51
125	58
250	64
500	68
1000	73
2000	72
4000	68
8000	62

Fonte: Autor

Com a aplicação da equação 20 encontra-se o nível de potência sonora da fonte de ruído demonstrada na tabela 6.

Tabela 6 – Nível de potência sonora da fonte de ruído

Frequência (Hz)	Nível de Potência sonora da fonte de ruído ponderado em “A”
63	59
125	66
250	72
500	76
1000	81
2000	80
4000	76
8000	70
Nível sonoro em dB(A)	85

Fonte: Autor

Outras medidas mais distantes da fonte foram realizadas no estacionamento.

Pontos coletados:

M5 = 64,8 dB(A) posicionado a 10m da fonte (este ponto está do mesmo lado, próximo da casa do reclamante, portanto, este ponto será descartado).

M6 = 65,6 dB(A) posicionado a 15m da fonte

M7 = 68,5 dB(A) posicionado a 20m da fonte

Estes pontos foram coletados em função da possível retirada do condensador de lugares mais distantes do vizinho lindeiro reclamante, pois os pontos 6 e 7, estão em locais opostos, no mesmo piso dos condensadores.

Tabela 7 – Pontos mais distantes da fonte atual nos limites da propriedade em bandas de oitava

Frequência (Hz)	M5 dB(A)	M6 dB(A)	M7 dB(A)
63	45,6	46,3	50,8
125	48,4	51,2	54,9
250	51,8	52,8	54,6
500	58,8	59,2	62,7
1000	59,4	60,9	63,4
2000	58,1	58,6	61,0
4000	55,9	56,1	59,5
8000	49,4	48,4	53,7

Fonte: Autor

4.3 MEDIÇÃO NO TÉRREO DO RECLAMANTE

Tabela 8 - Média aritmética no térreo do condomínio reclamante em bandas oitava

Frequência (Hz)	Média aritmética dos níveis sonoros ponderados em “A”
63	33,7
125	44,1
250	51,8
500	56,2
1k	56,7
2K	53,4
4K	49,7
8K	39,5
Nível de ruído no térreo área externa em dB(A)	62

Fonte: Autor

Tabela 9 - Comparação com a norma da medição do piso térreo do reclamante

Lei 13.885/2004 – Lei de Zoneamento São Paulo	65 dB(A)
Média aritmética – Piso térreo do condomínio reclamante	62 dB(A)

Fonte: Autor

O nível de pressão sonora que chega ao térreo está abaixo dos padrões estabelecidos pela Lei de Zoneamento. Como a medição foi feita em área aberta, não há necessidade de correção pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) citada na tabela 4.

4.4 MEDIÇÃO NA RESIDÊNCIA DOS RECLAMANTES

4.4.1 Residência da reclamante do 4º andar

A medição foi realizada na residência do reclamante do 4º andar, conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2000). Foram realizadas três medições de janelas abertas e três de janelas fechadas, o resultado para cada situação é a média aritmética.

Pontos coletados com **janela aberta – 4ª andar**:

$$M2 = 62 \text{ dB(A)}$$

$$M4 = 63 \text{ dB(A)}$$

$$M6 = 61 \text{ dB(A)}$$

Média aritmética é de 62 dB(A).

Tabela 10 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 4º andar com a janela aberta

NCA corrigido para janela aberta	55 dB(A)
Média aritmética – Janela aberta na casa da reclamante	62 dB(A)
Lra - Ruído de fundo com a fonte desligada:	55 dB(A)

Fonte: Autor

O nível de pressão sonora que chega na residência está acima dos limites estabelecidos pela lei de zoneamento, confirmando as reclamações da moradora do 4º andar.

Pontos coletados com **janela fechada – 4ª andar**:

$$M1 = 52 \text{ dB(A)}$$

$$M3 = 47 \text{ dB(A)}$$

$$M5 = 48 \text{ dB(A)}$$

Média aritmética é de 49 dB(A).

Tabela 11 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 4º andar com a janela fechada

NCA corrigido para janela fechada	50 dB(A)
Média aritmética – Janela fechada na casa da reclamante	49 dB(A)

Fonte: Autor

O nível de pressão sonora que chega na residência está abaixo dos limites estabelecidos pela lei de zoneamento.

Visto a diferença dos resultados com a janela aberta e com a janela fechada, a medição que deverá ser considerada, segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000) é a condição utilizada com maior frequência pelo reclamante que, neste caso, é a condição com a janela aberta.

Conclusão da análise do 4º andar:

O registro do nível sonoro com a janela aberta demonstra a necessidade da aplicação de medidas de controle de ruído, buscando corrigir os 7 dB(A) que estão acima do permitido.

4.4.2 Residência do reclamante do 11º andar

A medição foi realizada na residência do outro reclamante no 11º andar. Foram realizadas três medições com as janelas abertas e três medições com as janelas fechadas, o resultado para cada situação é a média aritmética

Pontos coletados com **janela aberta – 11ª andar**:

$$M8 = 56,1 \text{ dB(A)}$$

$$M9 = 54,1 \text{ dB(A)}$$

$$M10 = 54,5 \text{ dB(A)}$$

Média aritmética é de 55 dB(A).

Tabela 12 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 11º andar com a janela aberta

NCA corrigido para janela aberta	55 dB(A)
Média aritmética – Janela aberta na casa do reclamante	55 dB(A)
Lra - Ruído de fundo com a fonte desligada:	52 dB(A)

Fonte: Autor

O nível de pressão sonora que chega na residência com a janela aberta está no limite estabelecido pela lei de zoneamento com a aplicação das correções da norma.

Pontos coletados com janela fechada – 11º andar:

M7 = 47,1 dB(A)

M11 = 47,4 dB(A)

M12 = 47,6 dB(A)

Média aritmética é de 47 dB(A).

Tabela 13 - Comparação com a lei de zoneamento de São Paulo - Medição interna do 11º andar com a janela fechada

NCA corrigido para janela fechada	50 dB(A)
Média aritmética – Janela fechada na casa da reclamante	47 dB(A)

Fonte: Autor

O nível de pressão sonora que chega na residência com a janela fechada está abaixo do limite estabelecido pela Lei de Zoneamento com a correção da norma.

Conclusão da análise do 11º andar:

Os resultados das medições, tanto com a janela aberta quanto com a janela fechada, demonstram que os níveis de ruído estão no limite da legislação; entretanto, como a questão do incômodo gerado por ruído é subjetivo, ou seja, mesmo que os níveis sonoros estejam atendendo à legislação, não significa que os mesmos não perturbam o ouvinte deste som.

As medidas de controle de ruído propostas para atenuar o nível sonoro no 4º andar, contribuirão também para o conforto acústico no 11º andar, bem como, nos demais andares onde não foi possível realizar a medição.

Tabela 14 – Média aritmética das medições no 4º e 11º andar em bandas de oitava

Frequência (Hz)	Média dos níveis de pressão sonora ponderados em "A" das 3 medições			
	4º Andar		11º Andar	
	Janela Aberta	Janela Fechada	Janela Aberta	Janela Fechada
63	-	-	-	-
125	38,2	-	34,9	-
250	44,7	36,0	42,1	-
500	51,1	42,3	45,8	40,1
1k	57,3	43,7	50,0	42,5
2K	55,7	42,2	48,7	42,3
4K	53,7	40,6	44,6	-
8K	45,0	24,8	35,1	-

Fonte: Autor

4.5 PLANEJAMENTO PARA REDUZIR O RUÍDO EMITIDO PELO CONDENSADOR

Idealizou-se uma barreira que não permitisse a visualização da fonte por nenhum condômino, porém para que fosse concretizada a barreira deveria ter seu comprimento na vertical superior a altura do prédio, aproximadamente, 40m.

Segue figura 64 da barreira idealizada, porém não concretizada.

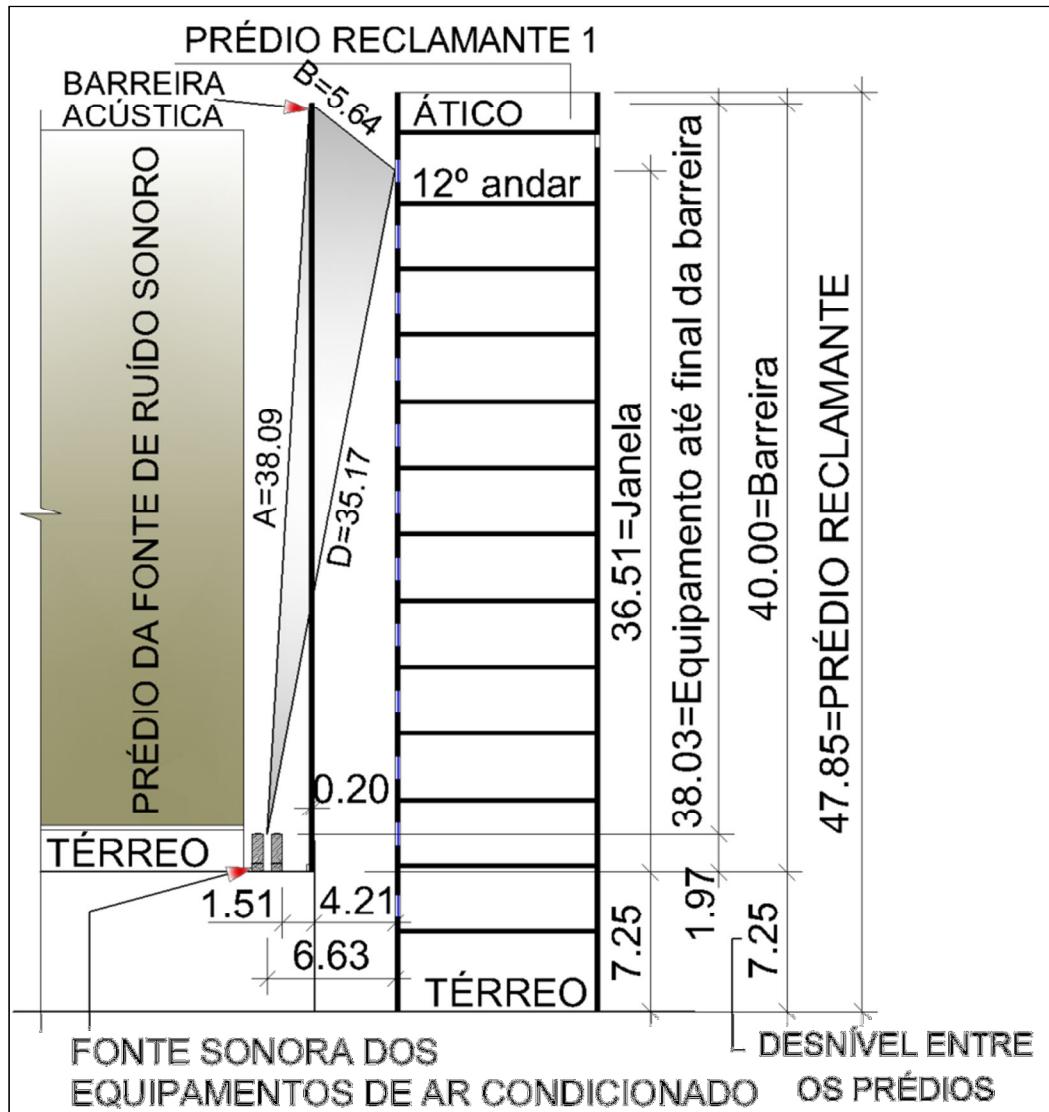


Figura 64 – Barreira para todo o prédio
Fonte: Autor

O cálculo da perda de inserção da barreira, da altura do prédio, está demonstrado nas tabelas 15 e 16.

Dados para cálculo da barreira para o 11º andar:

$a = 38,09\text{m}$ - distância entre a fonte e o topo da barreira;

$b = 5,64\text{m}$ - distância entre o topo da barreira e o receptor;

$d = 35,17\text{m}$ - distância em linha reta da fonte ao receptor.

Tabela 15 – Perda de inserção da barreira de 40 m para o 11º andar

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Nível sonoro ponderado em "A" no 11º Andar	Perda de inserção da barreira dB	Novo nível sonoro ponderado em "A", no 11º andar com a inserção da barreira
63	-	17,91	-
125	34,9	20,98	14,01
250	42,1	23,90	18,20
500	45,8	20,00	25,80
1000	50,0	20,00	30,00
2000	48,7	20,00	28,70
4000	44,6	20,00	24,60
8000	35,1	20,00	15,10
Nível sonoro dB(A)			34

Fonte: Autor

Dados para cálculo da barreira para o 4º andar:

 $a = 10,32\text{m}$ - distância entre a fonte e o topo da barreira; $b = 4,42\text{m}$ - distância entre o topo da barreira e o receptor; $d = 10,92\text{m}$ - distância em linha reta da fonte ao receptor.

O cálculo da perda de inserção na barreira, atendendo ao 4º andar, está demonstrado na tabela 16.

Tabela 16 – Perda de inserção da barreira de 40 m para o 4º andar

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Nível sonoro ponderado em "A" no 4º Andar	Perda de inserção da barreira dB	Novo nível sonoro ponderado em "A", no 4º andar com a inserção da barreira
63	-	16,78	-
125	38,2	19,75	18,45
250	44,7	22,76	21,94
500	51,1	20,00	31,10
1000	57,3	20,00	37,30
2000	55,7	20,00	35,70
4000	53,7	20,00	33,70
8000	45,0	20,00	25,00
Nível sonoro dB(A)			41

Fonte: Autor

A perda de inserção com a instalação desta barreira foi de 21 dB(A), nos apartamentos do 4º e 11º andar. Estabelecendo um novo nível de pressão sonora para o 4º andar de 41 dB(A) e 34 dB(A) no 11º andar.

Estes níveis sonoros atendem a legislação municipal de São Paulo, ficando abaixo do NCA corrigido pela norma.

Embora a barreira de 40m, tenha produzido boa atenuação, a mesma foi desconsiderada em função de sua altura, como também pelos motivos relacionados abaixo:

- Fechava a visibilidade de todos os moradores;
- Prejudicava a arquitetura do prédio;
- Estruturalmente, haveria necessidade de fazer uma base para distribuição do seu peso, porém a superfície é uma laje, onde é o estacionamento térreo e abaixo desta, existe quatro subsolos. Pensou-se em travar a barreira entre as laterais de dois prédios, porém também, ficou inviável pela dificuldade e desconhecimento da estrutura.

.Visto a inviabilidade da construção da barreira anterior, foi realizado novo estudo na tentativa de solucionar somente o problema da reclamante do 4º andar.

Pensou-se em uma barreira menor de 12 m para solucionar o problema da reclamante do 4º andar, ver figura 66.

Seguem os cálculos da barreira de 12m.

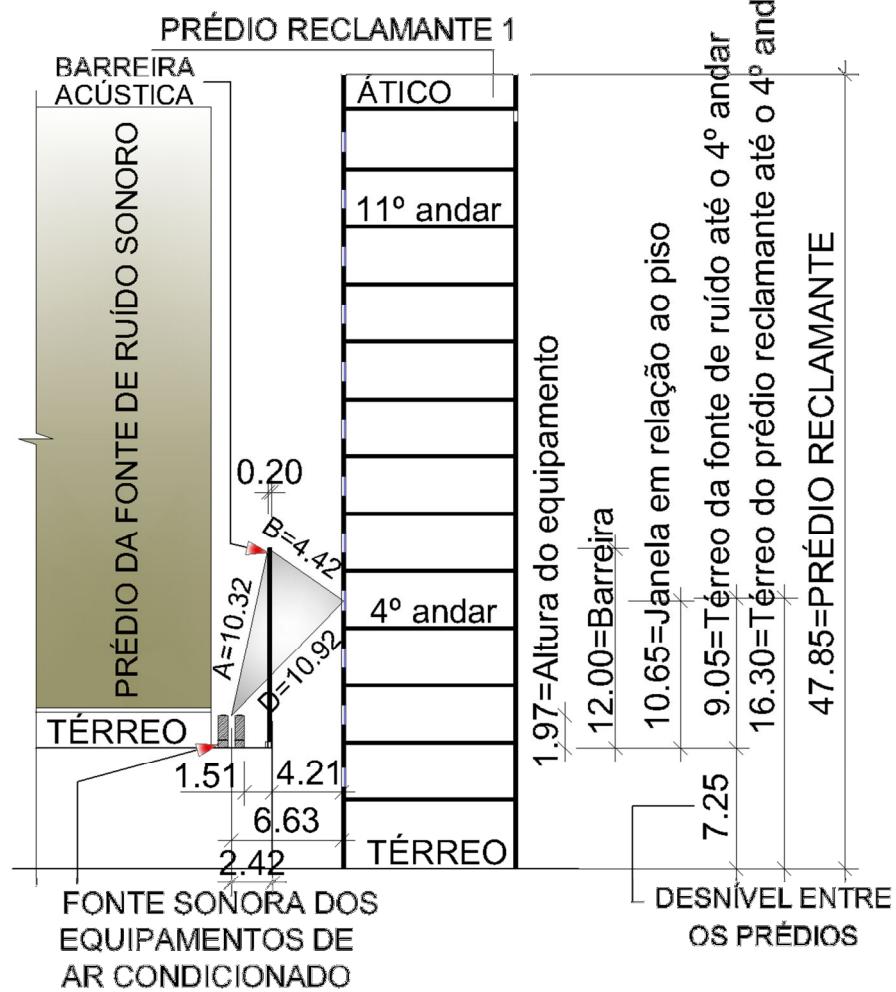


Figura 65 – Barreira para o 4º andar

Fonte: Autor

A barreira para atender o 4º andar foi calculada considerando:

- a= 10,32 m - distância entre a fonte e o topo da barreira;
- b= 4,42 m - distância entre o topo da barreira e o receptor;
- d = 10,92 m - distância em linha reta da fonte ao receptor.

O cálculo da perda de inserção na barreira de 12 m está demonstrado na tabela 17:

Tabela 17 – Perda de inserção da barreira de 12 m para o 4º andar

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Nível sonoro ponderado em "A" no 4º Andar	Perda de inserção da barreira dB	Novo nível sonoro ponderado em "A", no 4º andar com a inserção da barreira
63	-	14,53	-
125	38,20	17,47	20,73
250	44,70	20,48	24,22
500	51,10	23,49	27,61
1000	57,30	20,00	37,30
2000	55,70	20,00	35,70
4000	53,70	20,00	33,70
8000	45,00	20,00	25,00
Nível sonoro dB(A)			41

Fonte: Autor

A perda de inserção com a instalação desta barreira também foi de 21 dB(A) para o 4º andar. Estabelecendo um novo nível de pressão sonora para o 4º andar de 41 dB(A).

Este nível sonoro atende a legislação municipal de São Paulo ficando abaixo do NCA corrigido pela norma.

A barreira foi descartada em função de que não seria justo atender somente os vizinhos do 1º ao 4º andar por haver outras pessoas incomodadas pelo ruído.

Pensou-se em escolher um silenciador resistivo, pois atenuaria o ruído na fonte, resolvendo o problema de todos.

4.6 CÁLCULO DO SILENCIADOR RESISTIVO

O silenciador resistivo foi dimensionado conforme etapas descritas no capítulo anterior.

Primeiramente foi realizado o cálculo para verificação da velocidade na superfície em m/s, com aplicação da equação 22.

Valor da velocidade na superfície = 6,25 m/s

Posteriormente foi calculada a perda de pressão do equipamento em função da instalação do silenciador, utilizando a equação 23 e gráfico 6.

Perda de pressão no equipamento para um silenciador de 1600mm de comprimento:

$$\Delta P_{1600} = 0,53 \text{ mmca}$$

A perda de pressão ΔP_{1600} atende a especificação do fabricante que prescreve, em seu manual, que o equipamento não pode ultrapassar 2,5mmca na exaustão do equipamento.

Verificação da restrição da fórmula de Sabine:

- a menor largura l tem que estar entre 15 a 50cm – a menor largura do projeto ficou em 15cm;
- a razão entre largura e altura deve estar entre 1 e 2 – o projeto ficou em 1,92;
- a velocidade do fluxo de ar tem que ser menor que 15 m/s – a velocidade para o projeto foi de 6,25 m/s;
- o coeficiente de absorção deve ser $\alpha \leq 0,8$; foi utilizado $\alpha = 0,8$, especificado pelo fabricante da lã de rocha Termax 32kg/m³ com espessura de 150mm.

Atendida as restrições para o dimensionamento do silenciador, aplicou-se a equação de Sabine nº 21, encontrando a atenuação do silenciador, demonstrada na tabela 18.

Considerando, o projeto do silenciador, seguem as características:

Perímetro de revestimento interno silenciador (P) – 189,42 m

Área da secção interna aberta do revestimento (S) – 9,47 m²

Comprimento das células no sentido da passagem de ar (L) – 1,6 m

Tabela 18 – Absorção sonora do silenciador resistivo

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Coeficiente de absorção sonora da Lã de rocha Termax 32 kg/m ³ espessura de 50mm	Atenuação do Silenciador (dB)
63	-	-
125	0,35	7,7
250	0,48	12,0
500	0,74	22,0
1000	0,8	24,6
2000	0,8	24,6
4000	0,8	24,6
8000	-	-

Fonte: Autor

4.7 CÁLCULO DA ATENUAÇÃO DA BARREIRA REVESTIDA COM MATERIAL ABSORVENTE

A área das paredes que compõe a barreira é de 62,95 m². A tabela 19 apresenta o cálculo da atenuação do som pela aplicação da lã de rocha nas paredes da barreira.

Tabela 19 – Índice de redução sonora gerada pela aplicação da lã de rocha nas paredes da barreira

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	α parede de bl. de concreto revest. com argamassa	Absorção sonora da parede sem revestimento (m ² - Sabine)	α Lã de rocha 32 kg/m ³ - espessura de 50mm	Absorção sonora da parede revestida (m ² - Sabine)	Índice de redução sonora gerada pela aplicação da lã de rocha na parede (dB)
63	-	-	-	-	-
125	0,03	1,9	0,35	22,0	10,7
250	0,03	1,9	0,48	30,2	12,0
500	0,04	2,5	0,74	46,6	12,7
1000	0,04	2,5	0,8	55,4	13,4
2000	0,04	2,5	0,8	57,3	13,6
4000	0,04	2,5	0,8	60,4	13,8
8000	-	-	-	-	-

Fonte: Autor

A tabela 20 apresenta o índice total de redução sonora da barreira.

Tabela 20 - Inserção da barreira em conjunto com o silenciador resistivo

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Índice de redução sonora gerada pela aplicação da lã de rocha na parede (dB)	Índice de redução sonora do bl. de concreto com revestimento nas duas faces (dB)	Índice de redução sonora total da barreira
63	-	-	-
125	10,7	34	44,7
250	12,0	34	46,0
500	12,7	42	54,7
1000	13,4	48	61,4
2000	13,6	54	67,6
4000	13,8	59	72,8
8000	-	-	-

Fonte: Autor

A redução sonora total do conjunto composto pelo silenciador resistivo + barreira é demonstrada na tabela 21.

No cálculo do índice total de redução sonora do conjunto foram considerados os coeficientes de transmissão sonora (τ) do vão de ventilação dos condensadores, da barreira e do silenciador resistivo.

A área da parede da barreira é de 62,95 m.

A área da passagem do silenciador é de 9,47 m.

A área do vão de ventilação dos condensadores é de 2,30 m.

Tabela 21 - Inserção da barreira em conjunto com o silenciador resistivo

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	τ silenciador	τ barreira	τ vôo de ventilação dos condens.	τ silenciador x Área da passagem de ar	τ barreira x Área da barreira	τ vôo de ventilação x área do vôo	Perda na transmis. do conjunto (dB)
63	-	-	-	-	-	-	-
125	1,7E-01	3,4E-05	1	1,6E+00	2,1E-03	2,30	12,8
250	6,3E-02	2,5E-05	1	5,9E-01	1,6E-03	2,30	14,1
500	6,2E-03	3,4E-06	1	5,9E-02	2,1E-04	2,30	15,0
1000	3,5E-03	7,2E-07	1	3,3E-02	4,5E-05	2,30	15,1
2000	3,5E-03	1,7E-07	1	3,3E-02	1,1E-05	2,30	15,1
4000	3,5E-03	5,2E-08	1	3,3E-02	3,3E-06	2,30	15,1
8000	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor

Com a perda na transmissão sonora composta total do conjunto, foi encontrada a atenuação do som no 4º andar, bem como no 11º, aplicando a equação de propagação sonora em campo aberto nº 28. Os valores estão demonstrados na tabela 22.

Tabela 22 – Resultado do nível sonoro reduzido com a instalação do conjunto silenciador + barreira

Frequência em Bandas de oitava (Hz)	Nível de Potência dos condensadores ponderado em "A"	Perda na transmis. do conjunto (dB)	Nível sonoro atenuado pelo conjunto silenciador + barreira ponderado em "A"	Nível sonoro teórico no 4º andar ponderado em "A"	Nível sonoro teórico no 11º andar ponderado em "A"
63	59	-	-	-	-
125	66	12,8	53,0	28,2	18,0
250	72	14,1	57,7	33,0	22,8
500	76	15,0	61,0	36,3	26,1
1000	81	15,1	65,9	41,1	31,0
2000	80	15,1	64,6	39,8	29,7
4000	76	15,1	61,3	36,5	26,3
8000	70	-	-	-	-
Nível sonoro em dB(A)	85	-	70	45	35

Fonte: Autor

A redução sonora em relação a fonte de 85 dB(A) com a instalação do conjunto (silenciador + barreira) foi de 40 dB(A) para o 4º andar e de 50 dB(A) para o 11º andar.

Considerando que os valores reduzidos estão por volta de 10 dB(A) abaixo do ruído de fundo, no 4º andar 55 dB(A) e no 11º 52 dB(A), os níveis atenuados não influenciarão nos apartamentos, prevalecendo o nível do ruído de fundo.

Verifica-se então que a instalação do conjunto (silenciador + barreira) atenderá a legislação municipal de São Paulo, ficando abaixo do NCA corrigido pela norma.

4.8 REMANEJAMENTO DOS EQUIPAMENTOS CONDENSADORES

A tabela 23 demonstra a redução sonora nos apartamentos do 4º e 11º andar, de acordo com o estudo para deslocamento dos condensadores à uma distância de aproximadamente 20 m do conjunto residencial reclamante, conforme equação nº 27.

Tabela 23 – Redução sonora relacionada ao deslocamento dos equipamentos (fonte sonora)

Andares	Nível sonoro inicial registrado na medição dB(A)	Distância inicial entre os condensadores e os apartamentos (m)	Nova distância proposta entre os condensadores e os apartamentos (m)	Nível sonoro calculado para os apartamentos dB(A)
4º	62	10,92	28,00	54
11º	55	35,17	43,61	53

Fonte: Autor

Remanejando os condensadores a 28 m da janela da sala da reclamante do 4º andar, o nível sonoro estará chegando a 54 dB(A); e, o nível sonoro no 11º pavimento a uma distância de 43,61m ficou em 53 dB(A).

Ambos os valores ficaram abaixo do nível de critério de avaliação, da NBR 10.151 (ABNT, 2000) e Lei 13.885 (PMSP, 2004), para janelas abertas, conforme figura que segue.

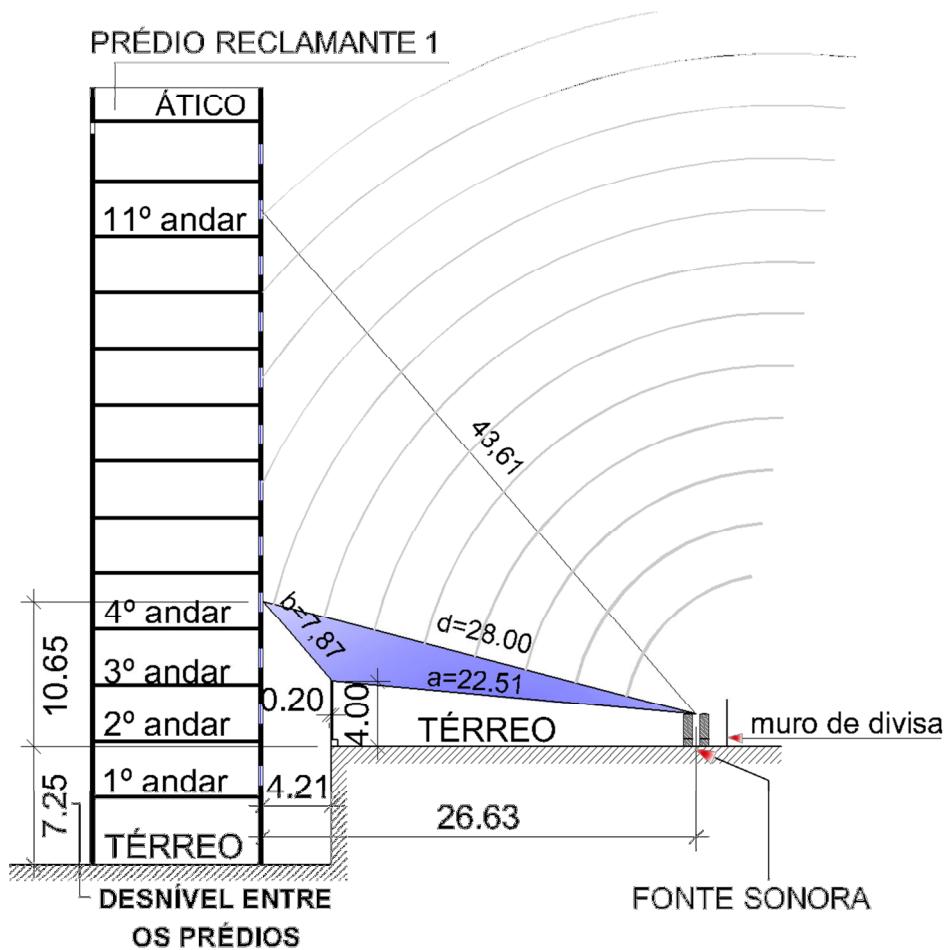


Figura 66 – Esquema da mudança da fonte sonora

Fonte: Autor

4.9 ESTIMATIVA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Foi realizada uma estimativa de custos das soluções para redução dos níveis de ruído dos condensadores.

A proposta envolveu três estimativas, sendo a primeira a substituição dos sistemas de ar condicionado, a segunda a confecção do conjunto (silenciador resistivo + barreira), e a terceira o com deslocamento dos equipamentos existentes.

Tabela 24 – Tabela comparativa de valores para implantação do sistema

	DESCRIÇÃO	V.UNIT.	QT	V.TOTAL
Estimativa A	Preço do sistema de ar condicionado condensador – 10 TR	R\$ 9.610,00	03	R\$ 28.830,00
	Estimativa de mão-de-obra para instalação dos equipamentos novos no lugar dos antigos	R\$ 3.000,00	03	R\$ 9.000,00
	TOTAL DA ESTIMATIVA - A			R\$ 37.830,00
Estimativa B	Preço para confeccionar o silenciador resistivo	R\$ 76.410,00	01	R\$ 76.410,00
	Execução da barreira acústica - estimativa	R\$ 7.000,00	01	R\$ 7.000,00
	TOTAL DA ESTIMATIVA B			R\$ 83.410,00
Estimativa C	Preço para instalar os mesmos equipamentos a 29 m da casa da reclamante	R\$ 6.000,00	03	R\$ 18.000,00
	TOTAL DA ESTIMATIVA C			R\$ 18.000,00

Fonte: Autor

Os dados da tabela comparativa de valores mostram que existe mais vantagem em fazer o deslocamento dos condensadores, do que fazer um tratamento acústico, ou ainda adquirir novos equipamentos menos ruidosos.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho atingiu o objetivo proposto, pois foram realizadas as medições de pressão sonora próxima a fonte de ruído e nos limites da propriedade. Com certa dificuldade se conseguiu entrar no prédio residencial para realizar as medições.

Primeiramente, foi medido no pavimento térreo do prédio, ficando o NPS abaixo dos parâmetros estabelecidos.

Realizou a medição no 4º andar, com janelas fechadas e abertas; porém, com a janela fechada, o nível estava abaixo do critério da norma. Com as janelas abertas, o nível de pressão sonora que chega na residência estava acima, ou seja, em 7 dB(A) a mais do nível de critério de avaliação NBR 10.151 (ABNT, 2000) e Lei 13.885/2004.

A medição no último andar, com as janelas abertas e fechadas, estava dentro dos critérios da norma.

Foram realizadas várias tentativas para atenuar o ruído dos condensadores, como: projeto de uma barreira que impedissem a visualização da fonte por todos os moradores do condomínio e, tentativa de diminuir a barreira para solucionar o problema somente da moradora do 4º andar, pois é a que mais se sente incomodada. Os projetos das barreiras atenuaram mais que 7dB(A) incluindo o ruído de fundo, resolvendo o problema dos condôminos.

Como a execução de barreiras altas e pesadas não foi viável, por motivos estruturais, pois teria que apoiá-la sobre uma laje de estacionamento, tentou-se solucionar o problema com o projeto do silenciador resistivo combinado com uma barreira acústica de 4,5m de altura, adicionando a ela material absorvente, de lã de rocha, que superou as expectativas.

Na iniciativa de saber o quanto custaria o projeto realizado, houve uma surpresa em relação ao custo de fabricação e instalação do projeto, pois o preço do silenciador resistivo é de R\$ 76.410,00 mais R\$ 7.000,00 de custo estimado, para execução da

barreira, totalizando o valor de R\$ 83.410,00, superando o valor dos 67% a mais do que o preço dos três equipamentos novos.

Com a análise dos pontos de medição, verificou-se a possibilidade de mudança dos equipamentos condensadores para outro lado do limite da propriedade, oposto aos vizinhos incomodados pelo ruído, onde não há moradores, somente um estacionamento com a “empena cega” da edificação para o pátio, onde se localiza a fonte de ruído. O valor da redução sonora na janela da reclamante do 4º andar passa para 54 dB(A) e do 11º andar passa para 53 dB(A), ambos valores ficam abaixo do critério de avaliação pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) e Lei 13.885/2004, que aplica o critério para 55 dB(A) com a janela aberta.

Acredita-se ter atendido as motivações deste trabalho, que visava medir o NPS do local, analisar e dar uma solução para redução de ruído dentro dos parâmetros do zoneamento de São Paulo.

6. REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 7.731 – Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983, 11 p.

_____. **NBR 10.151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000, 4 p.

_____. **NBR 10.152 – Níveis de ruído para conforto acústico.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987, 4 p.

_____. **NBR 13.755 – Níveis de ruído para conforto acústico.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996, 11 p.

AGUIAR, E.S. Caracterização da Produção de Argamassa Tradicional Racionalizada para Revestimentos de Fachadas. 2004, 78 p. Dissertação (Especialização) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://otavio.pcc.usp.br/Artigos/Monografia%20Enio.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2011.

AGUILERA, P.L.G. Potencial de uso da tecnologia de barreiras acústicas para redução da poluição sonora: estudo de caso no Lactec. 2007, 113 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/PedroAguilera.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2010

ARANTES, Y.K. Uma visão geral sobre impermeabilização na construção civil. 2007, 67 p. Dissertação (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/monografia_Impermeabiliza%E7%E3o.pdf. Acesso em: 21 mar. 2011

BASTOS, L.P. Controle de ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso. 2007, 114 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007. Disponível em: http://www.ufpa.br/gva/Arquivos%20PDF/LEOPOLDO/TCC_Leopoldo.pdf. Acesso em: 17 dez. 2010.

BISQUOLO, P.A.. **Tipos de onda, de vibração, amplitude e comprimento de onda.** Disponível em <http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u17.jhtml>. Acesso em: 08 jan. 2011.

BISTAFÁ, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** São Paulo: Editora Edgard Blücher. São Paulo: 2006. 368 p.

BORBA, H. **Ruído de fundo.** Disponível em:
http://www.artigos.com/option,com_comprofiler/task,userProfile/user,1763/Itemid,60/. Acesso em: 03 mar. 2011.

BRASIL, BRASÍLIA/DF. **Constituição Federal de 1988.** Disponível em:
http://www.dji.com.br/constituicao_federal/cf225.htm. Acesso em: 21 de jan. 2011.

. **Lei 6.938/81**, de 31 de agosto de 1.981. Disponível em:
<http://nr7.sat.sites.uol.com.br/lei6938.htm>. Acesso em: 21 de jan. 2011.

. **Lei 7.347/85**, de 24 de junho de 1985. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/LEIS/L7347orig.htm. Acesso em: 21 de jan. 2011.

. **Lei 8.078/90**, de 11 de setembro de 1.990. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm. Acesso em: 21 de jan. 2011.

. **Lei 9.605/98**, de 12de fevereiro de 1.998. Disponível em:
<http://www.apasfa.org/leis/9605.shtml>. Acesso em: 21 de jan. 2011.

CARAMONA, R.N.L.P. – **Psicoacústica – Curvas de igual intensidade sonora.** Disponível em:
[http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_31/Cav_mp3_45293_final/Mp3-45393/Mpeg%20Layer%20III%20\(MP3\).htm](http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_31/Cav_mp3_45293_final/Mp3-45393/Mpeg%20Layer%20III%20(MP3).htm). Acesso em: 06 jan. 2011.

DANFOSS – **Compressores Scroll Performer NxGen.** Disponível em:
http://www.danfoss.com/Latin_America_portuguese/Products/Categories/Group/RA/Compressors/Performer-scroll-compressors-for-refrigeration/e74ec22c-db7b-4794-b41e-3032636bffc9.html. Acesso em: 23 mar. 2011.

FERNANDES, J.C. – **Ruído ambiental.** Disponível em:
http://www.vibranews.com.br/artigos_det.php?id=23. Acesso em: 04 jan. 2011.

FERREIRA, A.M.C. **Avaliação do Conforto Acústico em salas de aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná.** 2006, 128 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: http://www.pgmec.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_062.pdf. Acesso em: 20 fev. 2011.

FRANCO, A.L.C. **Revestimentos cerâmicos de fachada: composição, patologias e técnicas de aplicação.** 2008, 80 p. Dissertação (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Ana%20L%F3acia%20Costa%20Franco.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2011.

GAMA, M.A.; MESQUITA, A.L.A. **Projeto de silenciadores resistivos para atenuação de ruído em ventiladores.** 2007, 8 p. 8º Congresso Iberoamericano de engenharia mecânica, apresentado em Cusco entre os dias 23 e 25 de outubro de 2007. Disponível em: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/32/32-21.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2011.

GERGES, S.N.Y. **Ruído Fundamentos e Controle.** Florianópolis: NR Editora. Florianópolis: 2000. 676 p.

GIRCOREANO, J.P.; PACCA, J.L.A. – **Anatomia da orelha.** Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/corpo-humano-sistema-sensorial/anatomia-da-orelha.php/>>. Acesso em: 08 jan. 2011.

GROTTA, D.L. **Materiais e técnicas contemporâneas para controle de ruído aéreo em edifícios de escritórios: subsídios para especificações.** 2009, 212 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

IGNÁCIO, R.F.. **Análise dimensional e leis de semelhança aplicadas as bombas hidráulicas.** Disponível em: http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/analise_dimensional.htm. Acesso em: 08 jan. 2011.

LAGEMANN, C.H. **Análises acústicas para instalação de sistemas de ar condicionado.** 2008, 105 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15031>. Acesso em: 16 dez. 2010

Lei Ordinária de São Paulo-SP, nº 13885 de 25/08/2004. **Lei de Zoneamento do Município de São Paulo.** Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/showinglaw.pl>. Acesso em: 20 dez. 2010.

LISOT, A. **Ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas: Avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego.** 2008, 161 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/Disertacoes/Lisot.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2010.

MACHADO, A.A. **Poluição sonora como crime ambiental.** Disponível em: <http://jus.uol.com.br/revista/texto/5261/poluicao-sonora-como-crime-ambiental>. Acesso em: 18 mar. 2011.

MORAIS, L.R. **Estudo de barreiras acústicas no controle do ruído aeroportuário.** 2008, 340 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://teses2.ufrj.br/Teses/COPPE_D/LudmilaRodriguesdeMoraes.pdf. Acesso em: 28 fev. 2011.

NETO, M.F.F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais.** 2009, 257 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

NETTO, L. **Medição da intensidade sonora.** Disponível em: http://caraipora.tripod.com/carac_ouvido_.htm. Acesso em: 18.03.2011.

OLIVEIRA, R.S. - **Um passeio pelos extremos sonoros.** Disponível em: <http://revistaescola.abril.com.br/ensino-medio/passeio-pelos-extremos-sonoros-475653.shtml>. Acesso em: 05 jan. 2011.

PANZERA, A.C.; MOURA, D.G. **Produção e percepção dos sons.** Módulo Didático, currículo básico comum – ciências – ensino fundamental. Centro de Referência Virtual do Professor – SEE – Minas Gerais;MG. Disponível em: http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/documentos/md/ef/ciencias/2010-08/md-ef-ci-60.pdf. Acesso em: 20 dez. 2010.

Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – **SILÊNCIO.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/silencio/home.htm>. Acesso em: 21 dez. 2010.

REIS, M.G.C.; BONESIO, M.C.M.; DUDZIAK, E.A.; TORRE, S.R.S.D. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses.** Divisão de Biblioteca da EPUSP – Universidade de São Paulo. 3^a Ed. São Paulo: 2006, 103 p.

RENNER, G. **Ruído urbano: o caso da Rua Integração na cidade de Entre-Ijuís,** RS. 2007, 51 p. Dissertação (Monografia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007. Disponível em:
<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Gilberto-Renner.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2011.

Resolução **CONAMA Nº 01**, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 20 dez. 2010.

_____. **CONAMA Nº 02**, de 08 de março de 1990. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0290.html>. Acesso em: 20 dez. 2010.

SANTOS, H.B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** 2008, 50 p. Dissertação (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/41535426/Monografia-Argamassa>. Acesso em: 21 mar. 2011.

SILVA, F.G.S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa.** 2006, 266 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2006. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/5186>. Acesso em: 21 mar. 2011.

SILVA, P. **Acústica, arquitetônica & condicionamento de ar.** Belo Horizonte: EDTAL: Empresa Termo Acústica Ltda. Belo Horizonte: 2005, 5^a edição atualizada, 339 p.

ZWIRTES, D.P.Z. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná.** 2006, 181 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

APÊNDICE A

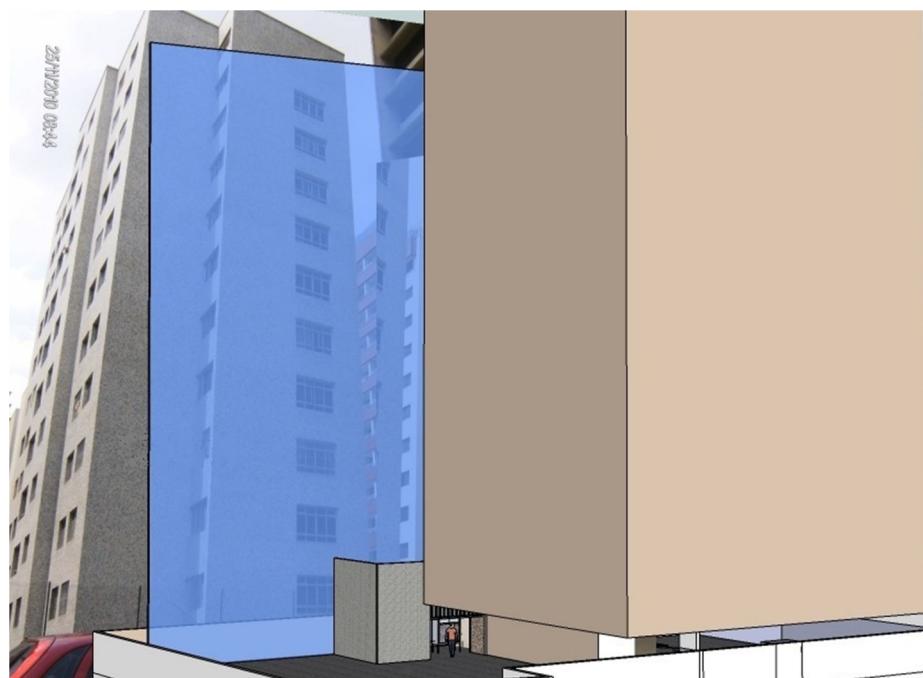
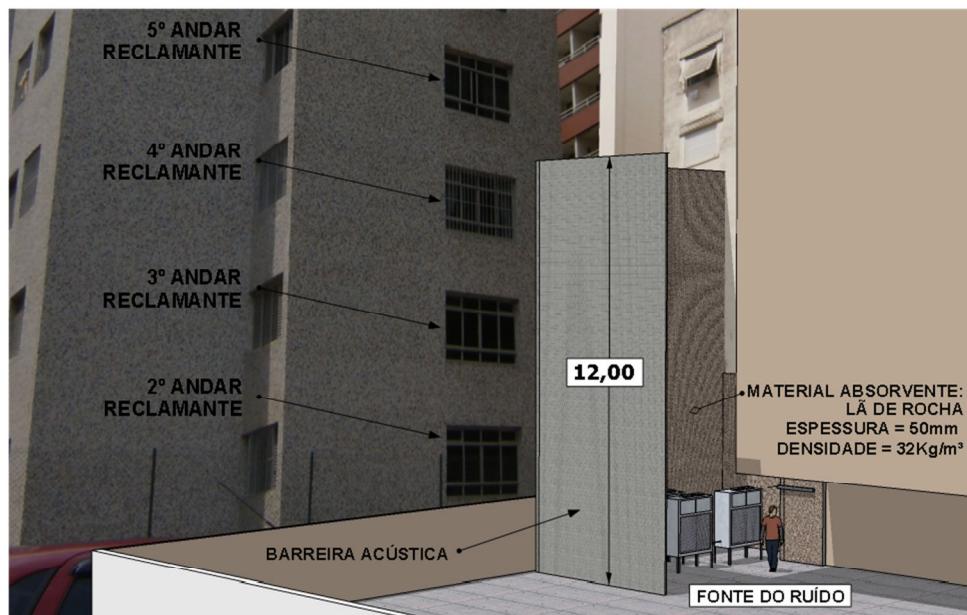
Situação atual dos equipamentos

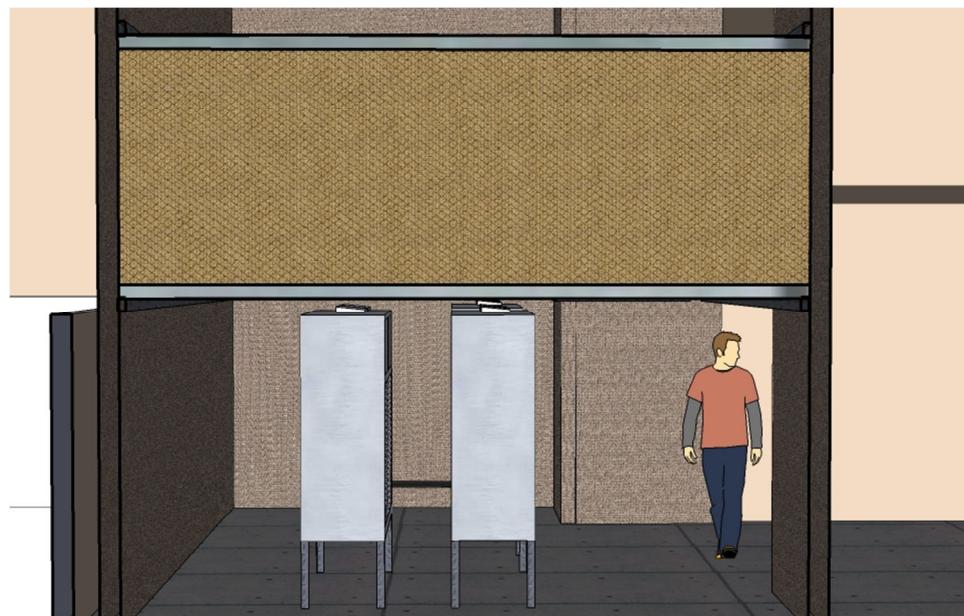
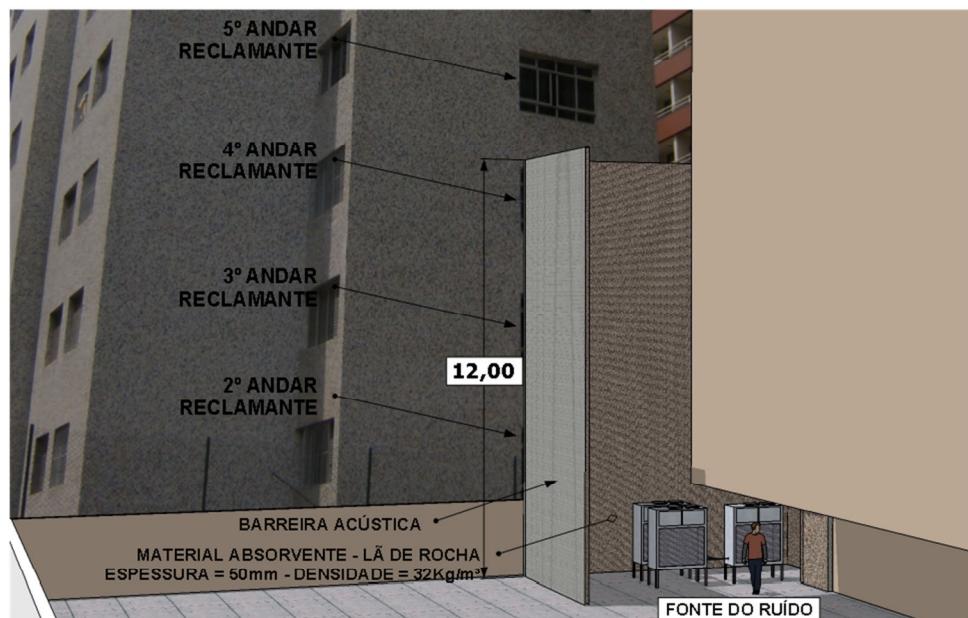
Os equipamentos encontram-se atualmente com as seguintes situações:

- 1 – O conjunto de equipamento instalado está em desconformidade com o fabricante, o espaçamento mínimo é de 1,2m, para áreas de manutenção e acesso. Atualmente, encontra-se com medidas menores do que as estabelecidas pelo fabricante.
- 2- A lateral do equipamento é utilizada para passagem de pessoal do almoxarifado, por este motivo não foi possível colocar a barreira mais próxima ao equipamento porque “estrangularia” a passagem.

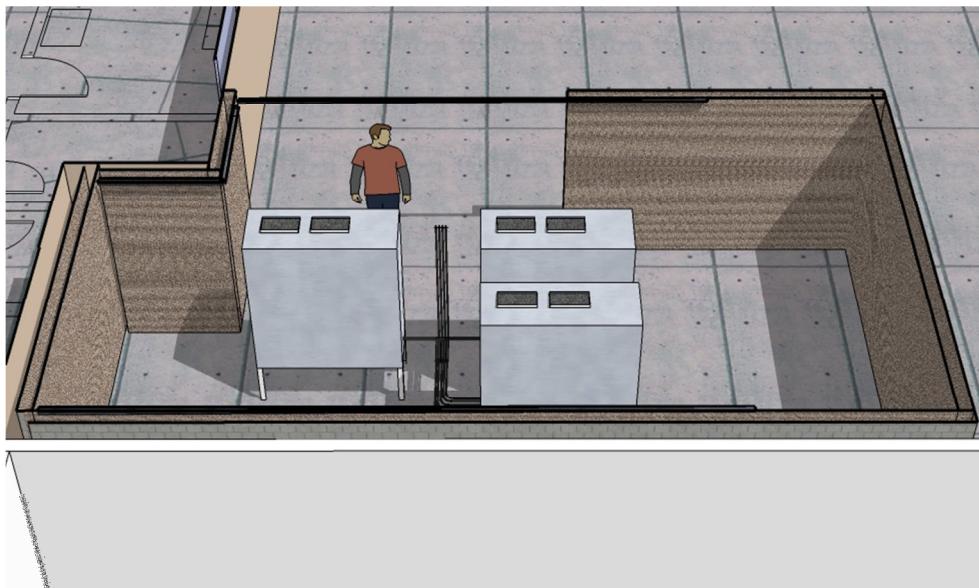
APÊNDICE B

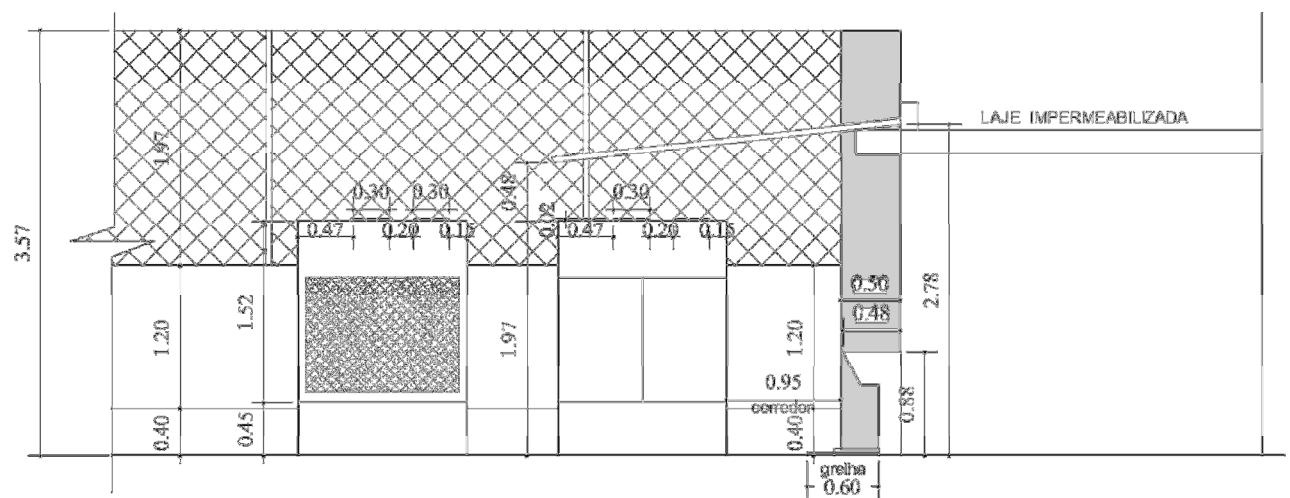
ESTUDOS











ANEXO A

NBR 10.151

1 Objetivo

- 1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações.
- 1.2 Esta Norma especifica um método para a medição de ruído, a 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.
- 1.3 O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibels ponderados em "A", comumente chamado dB(A), salvo o que consta em 5.4.2.

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

- 3.1 nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibels ponderados em "A" [dB (A)]: Nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição.
- 3.2 ruído com caráter impulsivo: Ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que 1 s e que se repetem a intervalos maiores do que 1 s (por exemplo martelagens, bate-estacas, tiros e explosões).
- 3.3 ruído com componentes tonais: Ruído que contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos.
- 3.4 nível de ruído ambiente (L_{ra}): Nível de pressão sonora equivalente ponderado em "A", no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

4 Equipamentos de medição

4.1 Medidor de nível de pressão sonora

O medidor de nível de pressão sonora ou o sistema de medição deve atender às especificações da IEC 60651 para tipo 0, tipo 1 ou tipo 2.

Recomenda-se que o equipamento possua recursos para medição de nível de pressão sonora equivalente ponderado em "A" (LAeq), conforme a IEC 60804.

4.2 Calibrador acústico

O calibrador acústico deve atender às especificações da IEC 60942, devendo ser classe 2, ou melhor.

4.3 Calibração e ajuste dos instrumentos

O medidor de nível de pressão sonora e o calibrador acústico devem ter certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado no mínimo a cada dois anos.

Uma verificação e eventual ajuste do medidor de nível de pressão sonora ou do sistema de medição deve ser realizada pelo operador do equipamento, com o calibrador acústico, imediatamente antes e após cada medição, ou conjunto de medições relativas ao mesmo evento.

5 Procedimentos de medição

5.1 Condições gerais

No levantamento de níveis de ruído deve-se medir externamente aos limites da propriedade que contém a fonte, de acordo com 5.2.1.

Na ocorrência de reclamações, as medições devem ser efetuadas nas condições e locais indicados pelo reclamante, de acordo com 5.2.2 e 5.3, devendo ser atendidas as demais condições gerais.

Em alguns casos, para se obter uma melhor avaliação do incômodo à comunidade, são necessárias correções nos valores medidos dos níveis de pressão sonora, se o ruído apresentar características especiais. A aplicação dessas correções, conforme 5.4, fornece o nível de pressão sonora corrigido ou simplesmente nível corrigido (Lc).

Todos os valores medidos do nível de pressão sonora devem ser aproximados ao valor inteiro mais próximo.

Não devem ser efetuadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza (por exemplo: trovões, chuvas fortes etc.).

O tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão. A medição pode envolver uma única amostra ou uma seqüência delas.

5.2 Medições no exterior de edificações

Deve-se prevenir o efeito de ventos sobre o microfone com o uso de protetor, conforme instruções do fabricante.

5.2.1 No exterior das edificações que contêm a fonte, as medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes etc. Na impossibilidade de atender alguma destas recomendações, a descrição da situação medida deve constar no relatório.

5.2.2 No exterior da habitação do reclamante, as medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes etc.

Caso o reclamante indique algum ponto de medição que não atenda as condições de 5.2.1 e 5.2.2, o valor medido neste ponto também deve constar no relatório.

5.3 Medições no interior de edificações

As medições em ambientes internos devem ser efetuadas a uma distância de no mínimo 1 m de quaisquer superfícies, como paredes, teto, pisos e móveis.

Os níveis de pressão sonora em interiores devem ser o resultado da média aritmética dos valores medidos em pelo menos três posições distintas, sempre que possível afastadas entre si em pelo menos 0,5 m.

Caso o reclamante indique algum ponto de medição que não atenda as condições acima, o valor medido neste ponto também deve constar no relatório.

As medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente, isto é, com as janelas abertas ou fechadas de acordo com a indicação do reclamante.

5.4 Correções para ruídos com características especiais

5.4.1 O nível corrigido Lc para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, LAeq.

Caso o equipamento não execute medição automática do LAeq, deve ser utilizado o procedimento contido no anexo A.

5.4.2 O nível corrigido Lc para ruído com características impulsivas ou de impacto é determinado pelo valor máximo medido com o medidor de nível de pressão sonora ajustado para resposta rápida (fast), acrescido de 5 dB(A).

NOTA - Quando forem publicadas Normas Brasileiras para avaliação do incômodo devido ao ruído impulsivo, estas deverão ser aplicadas.

5.4.3 O nível corrigido Lc para ruído com componentes tonais é determinado pelo LAeq acrescido de 5 dB(A).

5.4.4 O nível corrigido Lc para ruído que apresente simultaneamente características impulsivas e componentes tonais deve ser determinado aplicando-se os procedimentos de 5.4.2 e 5.4.3, tomando-se como resultado o maior valor.

6 Avaliação do ruído

6.1 Generalidades

O método de avaliação do ruído baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido Lc e o nível de critério de avaliação (NCA), estabelecido conforme a tabela 1.

6.2 Determinação do nível de critério de avaliação - NCA

6.2.1 O nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos está indicado na tabela 1.

6.2.2 Os limites de horário para o período diurno e noturno da tabela 1 podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 h e não deve terminar antes das 7 h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o término do período noturno não deve ser antes das 9 h.

6.2.3 O nível de critério de avaliação NCA para ambientes internos é o nível indicado na tabela 1 com a correção de - 10 dB(A) para janela aberta e - 15 dB(A) para janela fechada.

6.2.4 Se o nível de ruído ambiente Lra, for superior ao valor da tabela 1 para a área e o horário em questão, o NCA assume o valor do Lra.

Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de 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

7 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- a) marca, tipo ou classe e número de série de todos os equipamentos de medição utilizados;
- b) data e número do último certificado de calibração de cada equipamento de medição;
- c) desenho esquemático e/ou descrição detalhada dos pontos da medição;
- d) horário e duração das medições do ruído;
- e) nível de pressão sonora corrigido Lc, indicando as correções aplicadas;
- f) nível de ruído ambiente;
- g) valor do nível de critério de avaliação (NCA) aplicado para a área e o horário da medição;
- h) referência a esta Norma.

Anexo A (normativo)

Método alternativo para a determinação do LAeq

Este anexo apresenta um método alternativo para o cálculo do nível de pressão sonora equivalente, Leq, quando o medidor de nível de pressão sonora não dispõe dessa função. Nesse caso, o nível de pressão sonora equivalente, LAeq, em dB(A), deve ser calculado pela expressão:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10 \frac{Li}{10}$$

onde:

Li é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s,

durante o tempo de medição do ruído;

n é o número total de leituras.

ANEXO B - NBR 10.152

Tabela 25 – Níveis de Conforto Acústico da NBR 10152

Fonte: Jankovitz (2011)

NBR 10152	dB(A)	NC
HOSPITAIS		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35 - 45 40 - 50 40 - 50 45 - 55	30 - 40 35 - 45 35 - 45 40 - 50
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
ESCOLAS		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
HOTÉIS		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
RESIDÊNCIAS		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
AUDITÓRIOS		
Salas de Concerto, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de Conferências, Cinemas, Salas de Múltiplo Uso	35 - 45	30 - 35
RESTAURANTES		
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
ESCRITÓRIOS		
Salas de Reuniões	30 - 40	25 - 35
Salas de Gerência, Projetos e Administração	35 - 45	30 - 40
Salas de Computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de Mecanografia	50 - 60	45 - 55
IGREJAS E TEMPLOS		
Cultos Meditativos	40 - 50	35 - 45
LOCAIS PARA ESPORTE		
Pavilhões fechados para espetáculos e Atividades Esportivas	45 - 60	40 - 55

Tabela 26 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB estabelecidas por Beranek

Curva NCB	Tipo de ambiente que pode conter como máximo ruído, os níveis da curva correspondente
10	Estúdios de gravação e de rádio (com uso de microfones à distância)
10 a 15	Sala de concertos, de óperas ou recitais (para ouvintes de baixos níveis sonoros)
20	Grandes auditórios, grandes teatros, grandes igrejas (para médios e grandes intensidades sonoras)
25	Estúdios de rádio, televisão, e de gravação (com uso de microfones próximos e captação direta)
30	Pequenos auditórios, teatros, igrejas, salas de ensaio, grandes salas para reuniões, encontros e conferências (até 50 pessoas), escritórios executivos.
25 a 40	Dormitórios, quartos de dormir, hospitais, residências, apartamentos, hotéis, motéis, etc. (ambientes para o sono, relaxamento e descanso).
30 a 40	Escritórios com privacidade, pequenas salas de conferências, salas de aulas, livrarias, bibliotecas, etc. (ambientes de boas condições de audição). Salas de vivência, salas de desenho e projeto, salas de residências (ambientes de boas condições de conversação e audição de rádio e televisão).
35 a 45	Grandes escritórios, áreas de recepção, áreas de venda e depósito, salas de café, restaurantes, etc. (para condições de audição moderadamente boas).
40 a 50	Corredores, ambientes de trabalho em laboratórios, salas de engenharia, secretarias (para condições regulares de audição).
45 a 55	Locais de manutenção de lojas, salas de controle, salas de computadores, cozinhas, lavanderias (condições moderadas de audição).
50 a 60	Lojas, garagens, etc. (para condições de comunicações por voz ou telefone apenas aceitáveis). Níveis acima de NCB – 60 não são recomendadas para qualquer ambiente que exija comunicação humana.
55 a 70	Para áreas de trabalho onde não se exija comunicação oral ou por telefone, não havendo risco de dano auditivo.

Fonte: Fernandes (2011)

ANEXO C - Lei 13.885/2004

**QUADRO nº 02/c Anexo à Parte III da Lei nº 13.885, de 25 de agosto de 2004
INSTALAÇÃO DE ATIVIDADES NÃO RESIDENCIAIS POR ZONA DE USO E
PARÂMETROS DE INCOMODIDADE
ZONA: CENTRALIDADE LINEAR POLAR OU LINEAR ZCP, ZCL, ZCPP(a) e
ZCLp(a)**

1.a - PARÂMETROS DE INCOMODIDADE A SEREM OBSERVADOS:

Diurno, NCA* ≤65 decibéis e noturno NCA* ≤55 decibéis, considerados como períodos diurno e noturno aqueles compreendidos entre as 7:00 e 22:00 horas e entre 22:00 e 7:00 horas respectivamente.

EMISSÃO DE RUÍDO:

HORÁRIO PARA CARGA E DESCARGA:

Sem restrição

Conforme o que vier a ser estabelecido pela legislação ambiental federal, estadual ou municipal ou por Normas da ABNT, na falta deste a critério do órgão ambiental municipal, não devendo os níveis atingidos oferecer riscos à saúde e bem estar da população.

VIBRAÇÃO ASSOCIADA:

(VETADO)

Até limites por faixa de frequência estabelecidos pela Resolução/Anatel/303/2002, ou outra que vier a sucedê-la ou substituí-la, bem como o disposto na legislação municipal, no que se refere à instalação de antenas transmissoras de telefonia celular

EMISSÃO DE RADIAÇÃO:

EMISSÃO DE ODORES:

Vedada a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis fora dos limites das áreas de suas propriedades.

**EMISSÃO DE GASES,
VAPORES E MATERIAL
PARTICULADO:**

Vedada a emissão ou utilização processos ou operações que gerem gases, vapores e/ou material particulado, exceto fumaça, que possam, mesmo acidentalmente, colocar em risco a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

EMISSÃO DE FUMAÇA:

Permitida a utilização de qualquer tipo de combustível, não podendo emitir fumaça odorante com densidade colorimétrica superior ao padrão nº1 da escala de Ringelmann, inclusive no início da operação do equipamento e durante sua limpeza.

ANEXO D

CONCEITOS DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

O tratamento de ar depende de cinco processos simultâneos:

1- Movimentação do ar - velocidade;

Quando há movimentação do ar, em uma certa velocidade na travessia do ambiente, está ventilando ou circulando o ar no recinto. Se entrar ar uma certa porcentagem de ar, que pode variar de 0 a 100%, vinda do ambiente externo ao sistema de ar em circulação, entende-se que o ar está sendo renovado no ambiente.

2 – Temperatura;

Quando se retira calor da temperatura do ar existente no ambiente, entende-se fazer refrigeração. Quando elevamos a temperatura, aquecendo o ambiente, entende-se por calefação.

3 – Umidade relativa;

Se introduzir vapor d'água no ar, entende-se por umidificação e se retira a umidade do ar, entende-se por desumidificação.

4 – Grau de Limpeza;

A limpeza é do ar que é utilizado vários tipos de filtros para captação de poeira da atmosfera.

5 – Pureza do ar.

Há duas preocupações quanto ao odor e quanto aos germes, que devem ter controles:

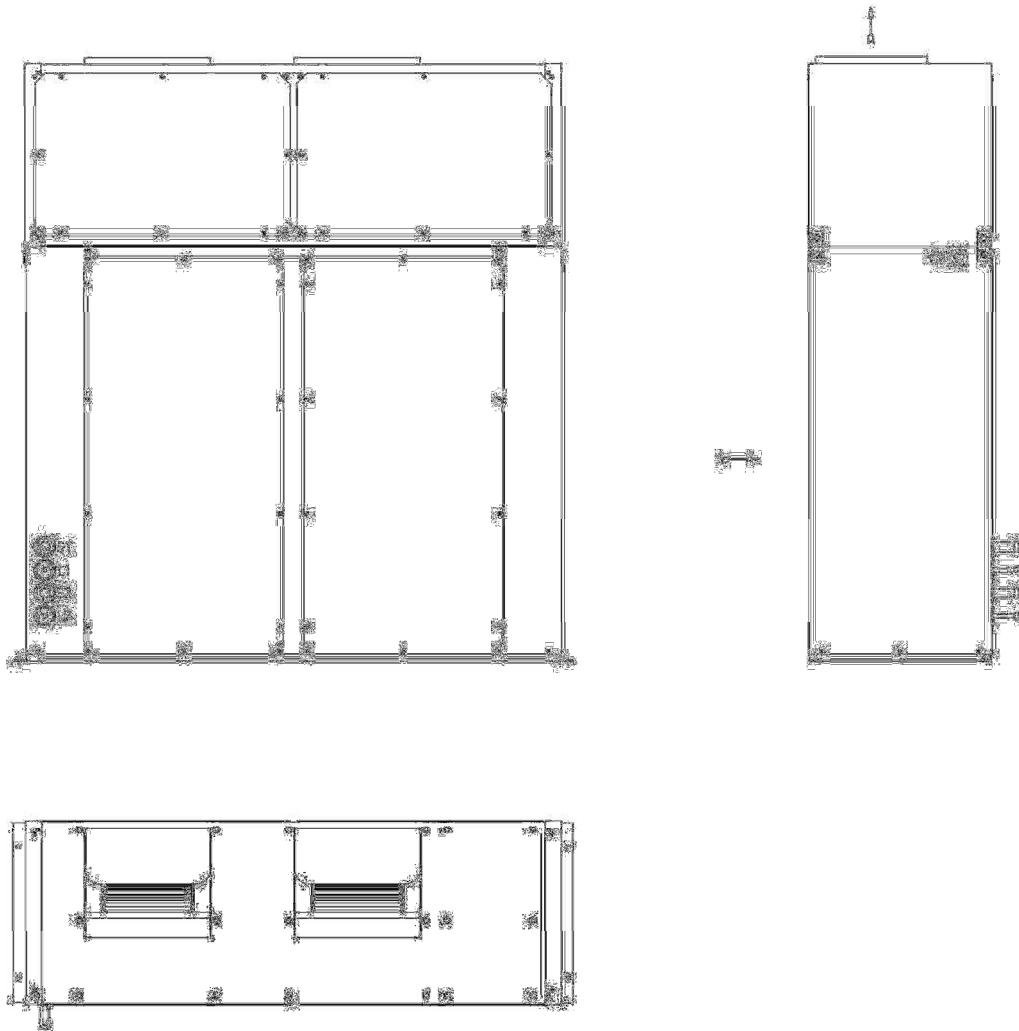
Odor – tratamento físico e químico;

Controle de germes - tratamento por processo de germicidas e bactericidas.

Todos os 5 (cinco) processos acima, devem-se tomar cuidados com os limites do ruído, como também, com o posicionamento do equipamento.

ANEXO E - Desenhos do equipamento condensador

O ruído emitido pelo estabelecimento se caracteriza por 3 equipamentos iguais, de ar condicionado tipo Chiller da TRANE, modelo TRCE100, com capacidade nominal de 10 TR (tonelada de refrigeração).



ANEXO F - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA UNIDADE CONDENSADORA

Característica técnica da Unidade Condensadora					
TRANE DO BRASIL					
Modelo - TRCE 100					
		Cap. Nominal	MBTU/h	120	
		Cap. Nominal	TR	10	
	220 V	MCA	A	50,19	
		Consumo elétrico	kW	16,45	
Dimensões de Tubulação		Peso	Kg	310	
		Largura	mm	1420	
		Profundidade	mm	560	
		Altura	mm	1525	
		Linha de Líquido	in.	1/2"	
		Linha de Succão	in.	7/8"	
		Quantidade	TR	2/5"	
		Nº de fases		Trif.	
		Nº de Circuitos		2	
	Corrente Potência Máxima (A)	CP1	kW	6,83	
		CP2	kW	6,83	
		CP1	220 V	18,18	
		CP2	220 V	18,18	
	Corrente Potência Nominal (A)	CP1	kW	5,464	
		CP2	kW	5,464	
		CP1	220 V	16	
		CP2	220 V	16	
Ventiladores Serpentina		Rows		4	
		FPF (Aletas por pés)		168	
		Área de face aletada	m²	0,99	
		Quantidade		1	
		Descarga			
		Diâmetro hélice	pulg.	-	
		Motor	HP	4	
		RPM / N° de polos		1730/4	
		Vazão do Ar	m³/h	9950	
		Potência Nominal	KW	2,79	
		Corrente Nominal (A)	220 V	9,28	

ANEXO G - ORÇAMENTOS



Pesos	PRONOME ENGENHARIA	Tel:	010-3300-4333
Site:	SERPISSQUEI	Fax:	
E-mail:	pronome@pronome.com.br	e-mail:	exembel@exembel.com.br
Data:	09/01/2011		
Número de páginas incluindo este:	06		

Proposta Comercial

HCA Ar Condicionado Ltda e Trans do Brasil Indústria e Comércio de Produtos. Para Condicionamento de Ar Ltda tem a satisfação de apresentar a seguir, nossa proposta comercial para fornecimento das(s) equipamento(s) para a obra em referência.

- 1. EQUIPAMENTOS (PREÇOS);**
 - 2. IMPOSTOS;**
 - 3. CONDIÇÕES DE PAGAMENTO;**
 - 4. DATA DE FOLGAS E PRAZOS;**
 - 5. ENBALAGEM;**
 - 6. TRANSPORTE;**
 - 7. VALIDADE;**
 - 8. GARANTIA;**
 - 9. PARTIDA INICIAL.**

CONDIÇÕES GERAIS DE VENDAS.

1. EQUIPAMENTO(S) / PREÇO(S)

Ode	Equipamento	Preço Unit. (R\$) ICMS 18%	Preço Unit.(R\$) ICMS 12%
01	DXPA 1002S / TRCE 1002S Split 10 TR Gabinete centrifugo	R\$ 14.740,00	R\$ 14.620,00
01	TRCE 1002S Condensador centrifugo 10 TR	R\$ 9.510,00	R\$ 9.110,00
01	DXPA 1002S Evaporador gabinete rechapeado 10 TR	R\$ 8.110,00	R\$ 7.990,00

Utilizar preço com 12% caso possua inscrição estadual e seja contribuinte do ICMS no estado.

DXPA / TRCE



Equipamento do tipo Split System constituído de Unidade Evaporadora (WAVE DXPA / DLPA) dividido em módulo ventilador e módulo intercambiador de calor, criado com gabinete constituído de painéis de chapa de aço galvanizada de 0,65 mm de espessura, isoladas internamente com poliureano expandido de 1", vedação dos painéis fixas com fita de hermeticidade de largura de 10 mm e espessura de 2", rebatida em alumínio pelos suportes que ficam em tubos de aço galvanizado de 1,60 mm de espessura, prima laço a base de poliéster que proporciona uma alta resistência contra intempéries; ventiladores centrifugos de pás curvadas para frente, tipo "Sirocco", para unidades DXPA, ventiladores centrifugos de pás curvadas para trás, tipo "Limit Load"; para unidades DLPA, motor elétrico de grau de proteção IP-21 classe B para potências de até 3,0 CV e IP-55 classe B para potências acima de 3,0 CV; serpentina construída com tubos de cobre sem costura e aletas em alumínio, com valvula de expansão termostática termomecânica; filtro descartável de classe ABNT G3 de lá de vidro de 1" de espessura; sem Grilhas de Insulamento e Retorno; e sem Caixa de Mistura; trazendo em conjunto com a Unidade evaporadora (TRCE) módulo com gabinete vertical, constituído de painéis de chapa de aço galvanizado estampados, plásticas e parafusos eixos; ventiladores centrifugos de pás curvadas para a frente, tipo "Sirocco", sendo que a posição de desacordo do ventilador pela sua configuração em campo nas posições vertical, horizontal frontal ou horizontal traseira, motor elétrico de grau de proteção IP-21 classe B para potências de até 3,0 CV e IP-55 classe B para potências acima de 3,0 CV; compressor do tipo "Scroll"; serpentina construída com tubos de cobre sem costura e aletas em alumínio; refrigerante R-22.

2. INCLUSOS - (Não Encapçalhados/Gerais da Unidade)

Incluso no(s) preço(s) acima ICMS, PIS/COFINS e IPI e II (Imposto de Importação – para equipamentos importados) em suas alíquotas atualmente em vigor.





São Paulo, 9 de janeiro de 2011

ORI: 0021/11

À

Promarq Serviços Especializados Me.
Rua Carapeva, 62 – Parada Inglesa.
São Paulo - SP

At.: Sra. Iris L. Souza

Ref.: **TRATAMENTO ACÚSTICO DE AMBIENTE.**

Atendendo vossa solicitação, estamos encaminhando nossa proposta para o fornecimento dos serviços abaixo descritos, conforme segue:

1. OBJETIVO DA PROPOSTA:

Prestação de serviço e fornecimento de materiais para tratamento acústico a ser executada em vossa obra, na cidade de São Paulo – SP.

2. DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS:

- Confecção e montagem de lamelas atenuadoras de ruído nas dimensões abaixo indicadas, estruturada com perfis metálicos dobrados "U" $I= 170 \times h= 70 \times e= 3$ mm, formando um conjunto de módulos de absorção sonora dispostas paralelamente, fabricados com painéis de lã de mineral na densidade de 48 kg/m^3 por 150 mm de espessura, revestido filme plástico PEAD 0,04mm (cor preta) auto-extinguível e proteção mecânica em tela expandida galvanizada.

21 Lamelas Dimensão de $3.050 \times 1.600 \times 150$ mm
07 Lamelas Dimensão de $4.790 \times 1.600 \times 150$ mm

- Revestimento de paredes com painéis fono absorventes de lã de vidro aglomerados com resina sintética, densidade aparente de 40 kg/m^3 na espessura de 50 mm, revestido com filme plástico PEAD 0,04mm (cor preta) auto-extinguível e proteção mecânica com tela expandida de aço galvanizado, fixas a perfis metálicos previamente instalados.

3. FORNECIMENTO ISAR:

- Fornecer todo o material necessário à execução dos serviços descritos, inclusive de consumo;
- Executar os serviços de acordo com as normas, especificações e desenhos fornecidos pela Contratante;
- Obedecer às normas de segurança, higiene e ordem interna de acordo com as normas de procedimentos a serem fornecidas pela Contratante;
- Solicitar com a devida antecedência à fiscalização da obra, a liberação das etapas de serviços que impliquem na continuidade dos mesmos ou de outros serviços;
- Retirar da obra qualquer funcionário cuja permanência seja considerada inconveniente para ambas as partes;

R. Estado do Amazonas, 609 • CEP 03935-000 • São Paulo - SP

vendas@isar.com.br • www.isar.com.br

Vendas: (11) 2107-0488

PABX: (11) 2107-0499



- Manter a obra permanentemente limpa, inclusive retirando do local os resíduos e restos dos materiais resultantes da execução dos seus serviços;
- Responder por todos os ônus decorrentes da legislação trabalhista, da previdência social, e de acidentes do trabalho, de acordo com as leis vigentes, relativos a todo o pessoal que locarmos na obra;
- Escadas e Andaimes;
- Fornecer mão-de-obra especializada, ferramentas e equipamentos, E.P.I., uniformes e identificação dos profissionais em serviço;
- Fornecer transporte, hospedagem e refeições de todo pessoal locado na obra bem como leis sociais, impostos e taxas, já inclusos no preço do fornecimento;
- Transporte dos materiais e equipamentos.,

4. FORNECIMENTO CONTRATANTE:

- Local livre e desimpedido, área para guarda de materiais e instalação de oficina;
- Vestiários, sanitários, pontos de luz e força baixa tensão;
- Fornecer todas as especificações e desenhos necessários para o bom desenvolvimento dos trabalhos;
- Construções civis concluídas, serviços de alvenaria, pintura e elétrica (quando necessário);
- Caçamba para descarte dos materiais.

5. PREÇO DO FORNECIMENTO:

Quantid.	Unid.	Descrição	Unitário	Total
1,0	cjto.	Lamelas Atenuadoras de Ruído	70.910,00	70.910,00
50,0	m²	Revestimento Acústico de Paredes	110,00	5.500,00
Total Geral do Orçamento			R\$	76.410,00

Observações:

- Eventuais sobras de materiais são de propriedade da ISAR e serão retiradas após a conclusão dos serviços.
- Orcamento para execução de serviços em regime contínuo e horário normal de expediente. Para execução parcial, descontinuada ou em horário extraordinário os valores terão de ser revistos.
- Horas paradas por motivos que independam de nossa atuação, serão cobrados da seguinte forma:

Cargo	R\$/Hora
Montador	25,94
Auxiliar	22,44

- Serviços executados em horário extraordinário serão cobrados com acréscimo determinado pelo Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado de São Paulo.

Hora Extra Normal	60%
Hora Extra Domingos/Feriados	100%
Adicional Noturno (Após 22:00h)	20%