

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

**Avaliação de Atenuadores de Ruído Passivos Resistivos para
Grupos Geradores de Energia**

Nilza Maria Coradi de Araújo

Orientadora : Profa.Dra. Stelamaris Rolla Bertoli

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Estadual de Campinas,
como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Edificações

Campinas, SP

2004

UNIDADE BC
Nº CHAMADA: T/UNICAMP
V. EA
TOMBO BLOC 49876
PROC 16P-148-09
C D X
PREÇO 11,00
DATA 06-01-09
BIB-ID

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Ar15a Araújo, Nilza Maria Coradi
Avaliação de atenuadores de ruídos passivos
resistivos para grupos geradores de energia / Nilza Maria
Coradi de Araújo. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

1. Controle de ruídos. 2. Poluição sonora. 3.
Engenharia acústica. I. Bertoli, Stelamaris Rolla. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil e Arquitetura. III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of passive resistive silencers of noise for energy
generators

Palavras-chave em Inglês: Noise control, Noise pollution, Acustical engineering

Área de concentração: Edificações

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Jorge Claudio da Silva Pinto, Ariovaldo Denis Granja, Marcio
Henrique de Avelar Gomes

Data da defesa: 29/07/2004

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

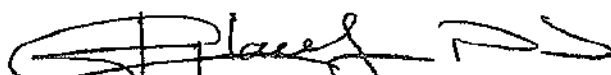
**Avaliação de Atenuadores de Ruído Passivos Resistivos para
Grupos Geradores de Energia**

Nilza Maria Coradi de Araújo

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



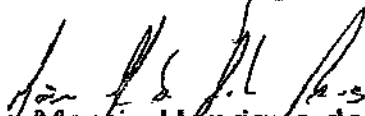
Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e Orientadora/UNICAMP



Prof. Dr. Jorge Cláudio da Silva Pinto
INMETRO-SC



Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Marcio Henrique de Avelar Gomes
FEC/UNICAMP

200900228

*" O cego não vê e não verá.
O orgulhoso vê e apaga a cena, apaga o visto
O vaidoso se sobrepõe à cena
O sábio, entretanto, e somente o sábio, este vê, entende, guarda e segue.
Não seria o Reconhecimento o prêmio da Sabedoria?"*

Dr. Celso Charuri.

Aos meus filhos Lucas e Gabriel
pela oportunidade maravilhosa de ser
mãe e ao Fernando, meu amor, amigo e
companheiro de evolução ;pela presença,
força e exemplo em todos os momentos
da minha vida

AGRADECIMENTOS

- A minha orientadora Prof. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli, pela amizade, carinho, paciência e por acreditar no sucesso desta pesquisa.
- A empresa ACUSTECNI Controle de Ruídos e Comércio Ltda na ajuda decisiva para realização desta pesquisa, cedendo espaço para realização dos testes e construindo os atenuadores que foram utilizados neste trabalho.
- Agradecimento especial ao empresário Nilton Mario dos Santos da ACUSTECNI, pela amizade, apoio integral e principalmente pela força e por sempre ter acreditado e investido neste projeto,
- Ao amigo Sérgio Garcindo e a empresa Megawatt, pela ajuda, fornecendo o gerador para realização dos testes.
- Aos técnicos do laboratório de Conforto Ambiental, Daniel e Obadias, pelo auxílio com os dados coletados.
- Ao Marcelo de Godoy, pela amizade e ajuda na revisão dos textos e gráficos e pelas dicas preciosas, sem o qual muito deste trabalho teria me dado muito mais trabalho.
- As meninas da Vibrasom, Claudia, Sandra e Rose, pela amizade, carinho, incentivo e torcida.
- A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas.....	v
Lista de Figuras.....	vii
Resumo.....	xiii
Abstract.....	xiv

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	01
------------------------	-----------

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS.....	07
2.1 Objetivo Geral.....	07
2.2 Objetivo Específico.....	07

CAPÍTULO 3

GRUPO GERADOR COMO FONTE DE RUÍDO.....	08
3.1 O que é um Grupo Gerador de Energia.....	08
3.2 Níveis de Ruído de Grupos Geradores.....	09
3.3 Outras Considerações sobre Grupos Geradores.....	11

CAPÍTULO 4

ATENUADORES DE RUÍDO.....	13
4.1 Silenciadores Passivos Reativos.....	15
4.2 Silenciadores Ativos.....	16
4.3 Silenciadores Passivos Resistivos.....	17

CAPÍTULO 5

SILENCIADORES PASSIVOS RESISTIVOS.....	20
5.1 Parâmetros de Desempenho de Silenciadores.....	20
5.2 Princípios de Funcionamento de Silenciadores Passivos Resistivos.....	21

CAPÍTULO 6

NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS PARA ATENUADORES.....	30
6.1 ASTM E 477.....	30
6.2 ISO 7235.....	31
6.3 ISO 11.691.....	31
6.4 ISO 11.820.....	32

CAPÍTULO 7

METODOLOGIA.....	33
7.1 Objeto de Estudo.....	34
7.2 Procedimento de Avaliação de Eficiência de Silenciadores.....	34
7.3 Determinação da Perda por Transmissão.....	37
7.4 Determinação da Perda por Inserção.....	37
7.5 Condições de Medida.....	38
7.5.1 Sala de Teste.....	38
7.5.2 Fonte de Ruído.....	40
7.5.3 Equipamentos de Medição.....	42

CAPÍTULO 8

RESULTADOS E ANÁLISES.....	43
8.1 Modelos de Atenuadores Testados.....	43
8.2 Medidas de Nível de Pressão Sonora.....	49
8.2.1 Determinação de Perda por Transmissão.....	50

8.2.2 Determinação de Perda por Inserção.....	50
8.3 Ruído de Fundo.....	50
8.4 Fontes de Ruído.....	52
8.4.1 Ruído Branco.....	52
8.4.2 Gerador de 60 kVA como Fonte de Ruído.....	53
8.5 Avaliação dos Atenuadores	55
8.6 Avaliação dos atenuadores testados segundo a densidade do material absorvente.....	56
8.7 Avaliação dos atenuadores segundo a espessura das lamelas.....	63
8.8 Avaliação dos Atenuadores segundo o comprimento do duto.....	69
8.9 Comparação entre desempenho e custo.....	74
 CAPÍTULO 9	
 CONCLUSÕES.....	79
 CAPÍTULO 10	
 TRABALHOS FUTUROS.....	81
 BIBLIOGRAFIA.....	82
9.1 Referências Bibliográficas.....	82
9.2 Bibliografia Consultada.....	85
 ANEXO A – Figura 1 da Norma ISO 11.820	87
ANEXO B - Metodologia de Medição de um grupo gerador.....	88
 APENDICE A – Dados de Nível de Pressão Sonora (dB).....	89
APENDICE B – Dados de Perda por Inserção (dB).....	94

APENDICE C - Dados de Perda por Transmissão (dB).....	99
APENDICE D - Preços dos Atenuadores Testados.....	104
APENDICE E - Fotos da sala de teste, da montagem e detalhes dos Atenuadores Testados.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1. Espectro de 02 geradores de diferentes potências

Tabela 8-1. Configuração dos Atenuadores Utilizados neste Trabalho

Tabela 8-2. Terminologia Utilizada nas Tabelas para Identificar os Atenuadores Testados.

Tabela 8-3. Valores de RW calculados para Perda por inserção e perda por transmissão e para cada um dos atenuadores testados

Tabela 8-4. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por transmissão e Inserção medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

Tabela 8-5. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Inserção medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 m e 1,80 m de comprimento

Tabela 8-6. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Inserção medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60m de comprimento

Tabela 8-7. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Inserção medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 1,20 e 1,80m de comprimento

Tabela 8-8. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

Tabela 8-9. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

Tabela 8-10. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

Tabela 8-11. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

Tabela 8-12. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

Tabela 8-13. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

Tabela 8-14. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

Tabela 8-15. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

Tabela 8-16 . Valores em reais dos atenuadores testados

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Níveis de Ruído de 02 geradores de diferentes potências elétricas

Figura 4-1 . Atenuador Reativo de ruído típico.

Figura 4-2 . Figura 03. Montagem de um silenciador ativo (FONTE :Leistner e Kruger,1997) .

Figura 4-3 . Atenuador (Silenciador) retangular com células divisórias paralelas.

Figura. 5-1 . Modelos mais comuns de dutos silenciadores.

Figura 5-2 . Diferentes geometrias de lamelas para silenciadores passivos em dutos lineares.

Figura 5-3 . Curva típica do nível de pressão do som em função da distância X, medida em diferentes pontos do duto.

Figura 5-4 . Perda por inserção em função da frequência para diferentes dimensões de lamelas (B) e distância (C) entre as lamelas para um duto de comprimento fixo de oito polegadas (8').

Figura 5-5. Perda por inserção em função da frequência para diferentes comprimentos de dutos e valores fixos para as dimensões de lamelas e distância livre entre as lamelas.

Figura 7-1. Foto da sala de alvenaria com grupo gerador instalado, ao fundo silenciador de ruído com lamelas na entrada de ar.

Figura 7-2 . Esquema selecionado na ISO 11.820 para medição de perda de transmissão e perda por inserção.

Figura 7-3. Croqui com os pontos de medição. Os pontos 1,2 e 3 estão no interior da sala de teste e os pontos 4,5 e 6 estão localizados no galpão receptor.

Figura 7-4. Croqui da sala de teste, onde serão realizadas as medidas de perda por transmissão e perda por inserção.

Figura 7-5. Abertura onde foram instalados os atenuadores para teste. Vista da passarela localizada no galpão a 05 metros de altura onde foram realizadas as medições.

Figura 7-6. Vista do galpão onde foram realizadas as medidas de perda de Transmissão e Perda por inserção. Atenuador foi instalado a 05 metros de altura

Figura 7-7. Sala de teste com a fonte que gera o ruído branco. Ao fundo Atenuador Instalado para teste com 12 lamelas de espessura 50 mm.

Figura 7-8. Gerador de energia a diesel de 60 KVA da Rental Center Utilizado neste trabalho como fonte de ruído.

Figura 7-9. Equipamentos de medição : (a) Investigator da Bruel & Kjaer 2260 ; (b) Mediator 2238 da Bruel & Kjaer e (c) Fonte Omnidirecional da Bruel & Kjaer

Figura 8-1. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 16 lamelas de 25mm e espaçamento de 43mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

Figura 8-2. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 12 lamelas de 50 mm e espaçamento de 40 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

Figura 8-3. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 08 lamelas de 75mm e espaçamento de 63 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³

Figura 8-4. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

Figura 8-5. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x1,20m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. O desenho mostra o prolongamento do duto das configurações V;VI e VII da tabela 2

Figura 8-6. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x1,80m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. O desenho mostra o prolongamento do duto das configurações VIII;IX e X da tabela 2

Figura 8-7. Nível de Pressão Sonora (NPS), em dB, em função da frequência, do ruído de fundo, de todos os dias em que foram realizadas as medições

Figura 8-8. Nível de pressão sonora do ruído de fundo comparado aos níveis de ruído medido durante os testes com os silenciadores que mais atenuaram

Figura 8-9. Dados dos níveis de ruído branco medido na sala de teste para a realização das medidas de perda por transmissão e inserção.

Figura 8-10. Gráfico dos valores de nível de Pressão Sonora do grupo gerador de 60 KVA medidos na sala de teste.

Figura 8-11. Níveis de Ruído do Gerador de 60 KVA usado como fonte de Ruído e Níveis de Ruído de Gerador de 60 KVA fornecido pelo fabricante.

Figura 8-12. Coeficiente de Absorção de Lã de Rocha de diversas densidades e espessuras fornecidos pelo fabricante (Catálogo Rock Fibras).

Figura 8-13. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 25 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-14. Perda por transmissão dos atenuadores com lamelas de 25 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-15. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 50 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-16. Perda por transmissão dos atenuadores de 50 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-17. Perda por inserção dos atenuadores de 75 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-18. Perda por transmissão dos atenuadores de 75 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-19. Perda por inserção dos atenuadores de 100 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-20. Perda por transmissão dos atenuadores de 100 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Figura 8-21. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 32 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

Figura 8-22. Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 32 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas

Figura 8-23. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 48 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

Figura 8-24. Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 48 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas

Figura 8-25. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 64 kg/m³ e diferentes espessuras de lamela.

Figura 8-26. Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 64 kg/m³ e diversas espessuras de lamelas

Figura 8-27. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 80 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas

Figura 8-28. Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 64 kg/m³ e diversas espessuras de lamelas

Figura 8-29. Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 50mm e diferentes comprimentos de dutos.

Figura 8-30. Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 50mm para diferentes comprimentos de dutos.

Figura 8-31. Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos.

Figura 8-32. Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos

Figura 8-33. Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 100mm e diversos comprimentos de dutos

Figura 8-34. Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos

Figura 8-35. Dados de atenuação dos 22 silenciadores testados em função do custo em reais dos silenciadores (Custo fornecido pela empresa ACUSTECNI Controle de Ruídos e Comércio Ltda)

Figura 8-36. Detalhe da figura xx, onde houve uma concentração de pontos.

RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho acústico de atenuadores de ruído para grupos geradores de energia. Geradores de energia a diesel são equipamentos extremamente ruidosos e para tratar acusticamente um gerador é necessário, entre outras coisas, o tratamento das aberturas para ventilação. Essas aberturas são geralmente tratadas com atenuadores (silenciadores) de ruído. Existem vários tipos de silenciadores os mais comuns são os passivos resistivos que se caracterizam pelo uso de material absorvente nas paredes internas do duto. Os silenciadores objeto de estudo deste trabalho foram os dutos retangulares com células divisórias paralelas. Para a realização das medidas de desempenho acústico dos silenciadores foi utilizada a metodologia descrita na ISO 11 820 Acoustics – Measurements on Silencers in situ. Essa norma apresenta dois parâmetros de avaliação de desempenho acústico : perda por transmissão e perda por inserção. Para realização da avaliação de desempenho acústico, foram construídos e testados 22 tipos diferentes de silenciadores, alterando as dimensões das lamelas, o tamanho do duto e a densidade e espessura do material absorvente. Os resultados das avaliações mostraram que a espessura das lamelas e o comprimento do duto têm uma maior influência na eficiência do atenuador do que a densidade do material absorvente. Realizou-se, ainda, uma análise comparativa entre eficiência e custo entre os silenciadores avaliados. Os resultados dessa análise permitiram estabelecer quais silenciadores que apresentaram a melhor relação custo benefício, isto é, melhor desempenho acústico e menor custo.

ABSTRACT

The objective this work is to evaluate the acoustic performance of the silencers of noise for energy group generators. Generators of energy to Diesel are extremely noisy equipments. For acoustic treatment of a generator it is necessary, among other things, the treatment of the openings of ventilation. The openings are generally treated with silencers of noise. There are several types of silencers, the most common are the passive resistive. The passive resistive silencers are characterized by the use of absorbent material in the internal walls of the lined ducts. The silencer object of the study this work is the rectangular lined duct of the parallel bafflers. For the accomplishment of the measures of acoustic performance of the silencers was used the methodology described in ISO 11 820 Acoustics - Measurements on Silencers in situ. The ISO 11 820 standard presents two parameters of evaluation of acoustic performance: transmission loss and insertion loss. For accomplishment of the evaluation of acoustic performance, were built and tested 22 types of different silencers, altering the dimensions of the bafflers, the size of the duct and the density and thickness of the absorbent material. The results of the evaluations showed that the thickness of the bafflers and the length of the duct have a larger influence in the efficiency of the silencer than the density of the absorbent material. It was also made a comparative analysis between the efficiency and the cost among the appraised silencer. The results of that analyze allowed to establish which silencer that presented the best cost/benefit relation or the better acoustic performance and lower cost.

CAPÍTULO 1 - Introdução

Fazer uma reflexão sobre a qualidade do meio ambiente em que vivemos nos leva necessariamente a abordar o tema da poluição. São muitos aspectos de poluição que afetam nossa vida hoje em dia. Para alguns damos uma maior importância pelo grande risco que representam. Dentro destes destacam-se a contaminação do ar, da água e do solo, outros tem recebido tradicionalmente menor atenção, tal como a poluição sonora (Rivas, 1994).

No entanto, a poluição sonora já representa hoje um grave problema que a medicina preventiva deve considerar. Como poluente, o ruído atinge essencialmente o homem, sem o aviso que constituiria a deterioração permanente do ambiente físico. Esta circunstância, aliada ao fato de o ruído, como fator de poluição, participar de toda forma de atividade, torna-o particularmente perigoso.

A evidência desta situação tem imposto, nos meios mais diversos, uma tomada de consciência da nocividade do ruído, e há unanimidade, entre os que se preocupam com a proteção acústica, que a omissão pode ter consequências extremamente graves nos planos fisiológico, psicológico e sociológico. (Zamperlini, 1996).

Segundo a definição aceita universalmente, o ruído é todo e qualquer som indesejável. Apesar de ser o ruído algo inoportuno, um mesmo som pode ser ou não classificado como ruído, dependendo do ponto sob qual é observado, sendo pois classificado de maneira subjetiva. Isto é explicado, quando se tem como

verdade que o ruído incomoda mais a quem o suporta do que a quem o faz. (Nepomuneno, 1977).

Outra definição para ruído, segundo a Norma Nacional C-92 do México, ruído é todo som que cause doenças, interfira no sono, trabalho ou descanso, ou que lesione a saúde física e psicológica do indivíduo (Rivas, 1994).

A poluição sonora é um problema de saúde pública, e já afeta milhares de pessoas de diferentes faixas etárias, trazendo diversos prejuízos, desde insônia, irritação e dores de cabeça. O ruído excessivo já se constitui hoje um fator de grande desgaste para o cidadão, especialmente para aquele que reside em grandes centros urbanos (Niemeyer e Santos, 2001).

O crescimento da urbanização, com o incremento dos meios de transportes e de grandes e poderosas máquinas ocasionam o aumento de ruído excessivo nas cidades. De acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte, as principais fontes de ruído urbano são o trânsito de veículos; as obras; o tráfego aéreo; as indústrias; o comércio e os templos religiosos (Zamperlini, 1996).

Mas é, efetivamente na atualidade, que o desenvolvimento tecnológico, ao colocar os equipamentos mais diversos a disposição de um número crescente de usuários, veio contribuir marcadamente para elevação dos níveis gerais de ruído, em especial nos grandes aglomerados habitacionais urbanos, embora deve notar-se que o problema não é exclusivo destes locais de ocupação muito densa, pois, mesmo nos locais mais afastados, o homem é atingido por diversos ruídos, desde os estrondos provocados pelos vãos a velocidades supersônicas ao ruído ensurdecido das motos. O ruído parece ser um subproduto da sociedade industrial e como tal terá de ser combatido com a mesmo empenho que qualquer outro poluente (Saruê, 2003).

Procurar conhecer as fontes de ruído e sua parcela de contribuição no ruído ambiental representa, com certeza, um primeiro passo para seu controle (Rolla,1995). Dentre as inúmeras fontes de ruído , existe uma ainda não muito conhecida, pois se trata de uma fonte relativamente recente. Seu número vem aumentando consideravelmente nos últimos três anos, e já começa a ser mais uma fonte de ruído somando-se a tantas outras: são os geradores de energia a diesel.

Esses equipamentos são geradores de energia elétrica alternativa ou de suplemento, cuja capacidade varia de 60 kVA até 2500 kVA. Existem no mercado brasileiro várias marcas comercializadas como Stemac, Maquigeral , Cummins, Atlas copco.

Os geradores de energia sempre foram conhecidos como uma fonte alternativa para suprir energia em caso de emergência. Normalmente eram utilizados em hospitais e indústrias que não podiam parar por falta de energia. Até meados do ano 2000 o número de geradores comercializados no Brasil estava em torno de 6.000 geradores/ ano.

No entanto a partir do final de 2000, com a crise de energia que assolou o Brasil, o famoso “ APAGÃO” , a história desses equipamentos ganhou novo rumo. O que era utilizado só como emergência passou a ser item obrigatório da indústria, comércio, prédios residenciais, comerciais, além das estações de telefonia celular. Resultado, o número de geradores triplicou de 2000 para 2001 e com ele vieram as reclamações do barulho.

Esses equipamentos antes utilizados em casos de emergência e em alguns locais restritos, passaram a serem usados diariamente pelos mais diversos seguimentos. A maioria começou utilizá-lo para conseguir a redução de energia imposta pelo governo para evitar o “APAGÃO” , usando o equipamento por algumas horas diariamente.

Nos grupos geradores existem três fontes principais de geração de ruído: o ruído mecânico, produzido pelo funcionamento do motor diesel; o ruído aerodinâmico gerado pelo ventilador do radiador e o ruído da saída dos gases de combustão. Dependendo do modelo e potência do gerador o nível de ruído pode chegar a 110 dB(A) a 1,00 m do equipamento (Mendez e Rochaix, 1998).

Grupos geradores de energia são geralmente instalados em pequenas salas de alvenaria, as quais precisam de abertura para troca de ar, evitando o aquecimento do motor. Como o local não pode ser totalmente fechado o nível de ruído que normalmente é muito alto atinge a vizinhança, gerando reclamações do barulho por parte da população. A solução para a redução do nível de ruído é o tratamento acústico específico para o ambiente.

O isolamento acústico usualmente utilizado para o controle de ruído é a construção de salas em alvenaria com laje de concreto e instalação de portas acústicas. Para resolver o problema da ventilação e reduzir o nível de ruído proveniente das aberturas são instalados atenuadores (silenciadores) de ruído na saída do radiador e na entrada de ar.

Silenciadores são passagens de ar que foram moldados ou tratados com o objetivo de reduzir a transmissão de som e permitir o fluxo livre de ar ao mesmo tempo. Um silenciador é um filtro acústico e similar ao filtro elétrico tem desempenho que varia com a frequência (Embleton, 1971).

Para redução do nível de ruído, o silenciador é um ótimo artifício. São classificados essencialmente em dois grupos, silenciadores passivos e ativos. Os silenciadores passivos podem ainda ser classificados como resistivos ou reativos.

No entanto, para grupo geradores, os silenciadores passivos resistivos são largamente utilizados. Esses silenciadores se caracterizam pelo uso de materiais

de absorção acústica como revestimento das paredes internas dos dutos que ligam a sala do gerador e seu exterior. A seção transversal do duto pode ser circular ou retangular. Pode apresentar células divisórias paralelas (lamelas) do mesmo material. Os materiais de absorção acústica mais utilizados são lã de vidro ou lã de rocha. A presença de células divisórias tem por objetivo colocar a maior parte da energia sonora em contato com os materiais absorventes.(Gerges,2000)

A eficiência de atenuação de um silenciador resistivo, depende das características acústicas dos materiais de revestimento utilizados; da espessura dos materiais absorventes utilizados e das formas e dimensões do duto de passagem de ar (Bell, 1982).

Segundo informações dos fabricantes de silenciadores e geradores, os silenciadores utilizados comercialmente para redução de ruído nos grupos geradores, normalmente possuem uma baixa eficiência e quando eficientes na redução de ruído tem um alto custo. O tratamento acústico desses grupos geradores pode se tornar inviável pelo custo, pois a implantação dos silenciadores, pode chegar até 60% do valor do gerador. Resultado, poucos consumidores fazem esse tratamento, gerando a insatisfação por parte da população que tem que suportar os altos níveis de ruído emitidos por esses grupos geradores, muitas vezes localizados em zonas residenciais.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho acústico de silenciadores passivos resistivos utilizados para redução de ruído proveniente de grupo gerador.

Este trabalho avalia os silenciadores de forma sistematizada através de norma específica e mostrar os procedimentos de medição de sistemática aplicados em campo, reproduzindo o ambiente de teste mais próximo do utilizado pelos consumidores destes equipamentos.

Testou-se diferentes configurações de silenciadores , analisando comparativamente os resultados do desempenho aliado à redução de custos.

O presente trabalho apresenta-se estruturado em capítulos o qual podemos dividir em basicamente 03 partes. A primeira é a apresentação do problema, os objetivos e a revisão bibliográfica dividida por assunto (capítulos 01;02;03;04;05 e 06). Na segunda parte é apresentada a metodologia utilizada para realização dos testes propostos para atingir os objetivos do trabalho (capítulo 07) e na terceira parte são apresentados os resultados ; conclusões e trabalhos futuros (capítulos 08;09;10).

CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.

2.1 Objetivo Geral

Avaliar desempenho acústico de silenciadores passivos resistivos utilizados para redução de ruído de grupos geradores.

2.2 Objetivos Específicos.

Avaliar eficiência de silenciadores através da determinação de perda de transmissão e perda por inserção em campo;

Estudar a influência dos parâmetros físicos que interferem na eficiência do silenciador;

Comparar eficiência e custo de silenciadores para estabelecer a melhor relação custo - benefício.

CAPITULO 3 –Grupo Gerador como Fonte de Ruído

A poluição sonora é um dos problemas ambientais que vem afetando a qualidade de vida das pessoas (Ferreira Neto, 2002). Entre as várias fontes de ruído, existe uma pouco conhecida, cujo número vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, que são grupos geradores de energia. Para reduzir o ruído gerado por tais equipamentos depara-se com o problema de como tratar a abertura de troca de ar necessária para não danificá-los. Os atenuadores (silenciadores) entram como uma importante ferramenta para tratar as aberturas de troca de ar e conseguir a redução de ruído necessária ao conforto acústico.

3.1 O que é um Grupo Gerador de Energia

Grupos geradores de energia são equipamentos usados para fornecimento de energia elétrica de emergência durante a interrupção normal de energia ou usado para o fornecimento de energia elétrica no lugar da energia adquirida comercialmente, nesse último caso para reduzir os custos de energia. Para a maioria dos clientes destes equipamentos, é a forma mais rápida e eficaz de economizar energia. Desde a crise do petróleo em 1973, o consumo de energia global cresceu de forma constante, enquanto que a energia elétrica que participa atualmente com cerca de 1/3 da matriz energética, atingiu taxas bastante elevadas (Tavares, 1993)

Existem conjuntos geradores de energia a diesel e a gás. Os grupos de energia a diesel são os mais utilizados e é esse que usaremos neste trabalho. São sistemas de geração de energia elétrica totalmente integrados para aplicações estacionárias e de energia elétrica primária.

Uma das principais características do Grupo Gerador é seu motor diesel com capacidade de partida e rápida recuperação por mudanças de cargas transientes. O sistema de torque inclui um motor diesel de 04 tempos para trabalhos pesados, um alternador com grande capacidade em kVA para partida de motores e um regulador de voltagem eletrônico.

3.2 Níveis de Ruído Gerado por Grupos Geradores

Existem no mercado vários tamanhos, modelos e fabricantes de grupos geradores; a maioria varia de 40 a 2500 kVA. O nível de ruído global também varia de acordo com o tamanho e potência dos equipamentos, no entanto a distribuição do ruído em função das frequências é similar, variando porém a intensidade de acordo com a potência do equipamento. Na tabela 3-1 são apresentados os níveis de pressão sonora em função da frequência de 02 geradores com diferentes potências elétricas (60 kVA e 300 KVA) e a figura 3-1 apresenta o gráfico das diferentes potências elétricas. Testes conduzidos pela ANSI S12.34 – 1988 (ver anexo catálogo com metodologia de medição).

Tabela 3-1 – Espectro de 02 geradores de diferentes potências elétricas (FONTE: CUMMINS,2002)

Frequências	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
Gerador 60kva	74.3	84.2	97.6	103.2	105.3	104.0	99.7	94.4	109.9
Gerador 300kva	74.7	94.0	100.8	107.6	111.3	109.7	107.9	101.6	115.8

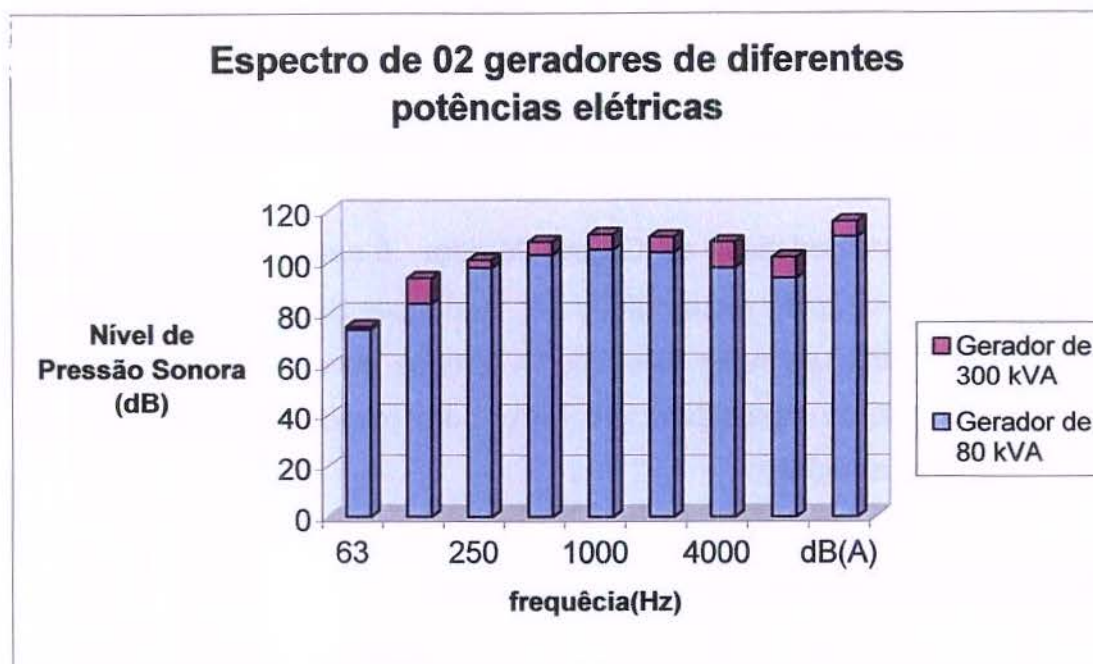


Figura 3-1 . Níveis de Ruído de 02 geradores de diferentes potências elétricas

Como podemos verificar na tabela 3-1 e figura 3-1 , o nível de ruído global em dB(A) aumenta de acordo com a potência do gerador , no entanto qualitativamente a distribuição nas frequências é semelhante, sugerindo que as características do ruído, ou seja, a distribuição do ruído nas frequências desses equipamentos é praticamente a mesma independentemente da potência.

As três fontes principais de produção de ruído de um grupo gerador de energia são: o ruído mecânico proveniente do funcionamento do motor a diesel; o ruído aerodinâmico gerado pelo ventilador do radiador para refrigeração da água e o ruído da saída dos gases de combustão (Mendez e Rochaix, 1998).

A redução do ruído na fonte para esses equipamentos (geradores) implica em mudanças no projeto mecânico; desenvolvimento de novas tecnologias que atualmente ainda não atinge níveis adequados.

3.3 Outras Considerações Sobre Grupos Geradores

Grupos geradores de energia a diesel e a gás são conhecidos há muito tempo como suprimento de energia em caso de emergência, especialmente por hospitais, instituições financeiras e indústrias que não podem parar em caso de queda de energia.

No entanto, no Brasil, esse panorama mudou completamente a partir do ano de 2001, quando o Brasil sofreu uma grave crise no setor energético, crise esta que ficou conhecida como "APAGÃO". Neste período indústria, comércio e consumidores de maneira geral foram obrigados a reduzir em 20% seu consumo de eletricidade, sob pena de ficarem sem energia. Foi a partir daí que os Grupos Geradores passaram a ter outra função além de emergência.

Em 2000 o consumo destes equipamentos que era em média de 6.000 geradores ano passou em 2001 para 18.000 geradores ano. Os consumidores que eram na sua maioria hospitais e instituições financeiras passaram a ser indústrias, comércio e até prédios residenciais. Nesse período a utilização do gerador passou a ser diária para conseguir a redução do consumo de energia.

Com a atenuação da crise de fornecimento de energia, os geradores continuaram a ser um aliado na economia de energia, pois existe para a indústria, o comércio e outros seguimentos uma tarifação extra em horário de pico, das 18:00 às 21:00h. Portanto, ter um gerador hoje continua sendo um bom negócio para economizar energia e a tendência é que a indústria aumente esse consumo. A previsão de crescimento neste setor de geradores é de 6% ao ano. Estima-se que no Brasil em 2003, existam cem mil geradores em funcionamento, sendo que 60 % já funcionam durante algumas horas por dia. (Cummins, 2002).

Portanto o que há dois anos era um equipamento conhecido só como suprimento de energia , hoje passou a ser conhecido pela população em geral. As empresas

estão investindo em geradores e já se preocupam com os níveis de ruído que esses equipamentos produzem e que são elevados. A tendência dos fabricantes e distribuidores destes equipamentos é poder oferecer a esses clientes além do equipamento o tratamento acústico eficiente e com um custo competitivo. A maior dificuldade para alcançar a redução de ruído necessária, é o tratamento acústico da entrada e saída de ar. Por isso existe um interesse muito grande destes fabricantes em desenvolver um silenciador (atenuador) específico para estes equipamentos com a maior eficiência e menor custo possível.

CAPITULO 4 – Atenuadores de Ruído

O transporte de fluidos é freqüentemente acompanhado por transmissão de ruído. Este é gerado a montante das fontes , motores de combustão, bombas, ventiladores e outros equipamentos. Os níveis de ruído muitas vezes são elevados. Sendo assim torna-se necessária a introdução de elementos que forneçam atenuação sonora necessária sem causar interferências significativas no movimento dos fluidos (Bento Coelho, 1998). Para atenuação desses ruídos são utilizados os silenciadores.

Os silenciadores (atenuadores de ruído) são filtros acústicos, que permitem a passagem do fluxo de ar (fluido) ,mas reduzem a transmissão de ruído. (Embleton, 1971).

Silenciadores possuem uma larga aplicação e devem ser considerados como uma ferramenta importante do engenheiro acústico. Existem várias configurações de silenciadores disponíveis no mercado. É possível assim que diferentes projetos de silenciadores alcancem a mesma meta de redução de ruído (Bell, 1982)

Segundo Embleton (1971), um silenciador corretamente projetado deve atender a pelo menos cinco critérios, são eles:

- Desempenho de atenuação: fornecendo a redução adequada de ruído nas freqüências de interesse;

- Aerodinâmica : especificando o máximo de pressão aceitável pelo silenciador a uma determinada temperatura e fluxo de massa;
- Geométrico : especificando o máximo volume permissível e restrições de forma;
- Mecânico : especificando os materiais que devem ser empregados na construção de acordo com a utilização do silenciador. Isso é muito importante nos casos que envolvem altas temperaturas ou gases corrosivos, ou onde o fluxo gasoso leva partículas sólidas em suspensão que podem ser depositadas no silenciador e reduzir sua eficiência;
- Econômico : reduzindo o preço o máximo possível, não só na compra , mas também os custos operacionais e de manutenção.

Os sistemas utilizados para fornecer a necessária atenuação sonora num sistema de condução de fluidos podem ser ativos ou passivos. A atenuação passiva é a metodologia clássica em que um elemento atenuador sonoro é interposto na linha de transmissão. Os atenuadores passivos podem ser reativos ou resistivos. No primeiro caso são as propriedades reativas do elemento que concorrem para o rearranjo energético, que se traduz numa perda de energia transmitida. Os atenuadores resistivos utilizam materiais absorventes, embora fazendo freqüentemente o uso das propriedades reativas, para obtenção dos pretendidos graus de atenuação. Os silenciadores resistivos são o objeto de estudo desta dissertação.

No sistema ativo, utiliza –se um sistema em que é captado o sinal que se pretende atenuar e gerado outro igual e de fase oposta , seguindo princípios de controle ativo de ruídos (Bento Coelho,1996).

4.1 Silenciadores Passivos Reativos

O desempenho de um silenciador reativo é principalmente determinado por sua forma geométrica (Embleton, 1971). Um silenciador reativo é um sistema de filtros atenuadores sonoros onde uma ou mais câmaras promovem uma redistribuição da energia sonora, com base nas diferenças de fase das componentes progressivas monocromáticas da onda sonora, de modo que a energia transportada pelo fluido posterior ao atenuador seja menor (Wang et al, 1993).

Os silenciadores reativos são universalmente utilizados como silenciadores de automóvel. No entanto a tecnologia desenvolvida para esse tipo de silenciador não pode ser diretamente utilizada em dutos de ventilação, em parte pelo tamanho dos dutos de escape de automóveis que são bem menores que dutos de ventilação de máquinas e em parte pela pressão que um silenciador de automóvel pode tolerar, que é bem maior que um sistema de ventilação de máquina pode suportar.

Elementos reativos são utilizados também em aeronaves, mas novamente a técnica desenvolvida para estes não é diretamente aplicável a sistemas de ventilação. Nas aeronaves os efeitos de fluxo são muito importantes e o grau de atenuação possível é pequeno comparado com as exigências dos dutos de ventilação de máquinas (Ballagh, 1993)

Portanto os silenciadores reativos são utilizados em aplicações industriais, em sistemas de condução de fluidos ou nos tubos de exaustão de motores de combustão interna, onde a introdução de materiais resistivos não é aconselhável em virtude da composição, temperatura ou outras características dos fluidos (Bento Coelho, 1996). Na figura 4-1 é apresentada uma ilustração de um silenciador reativo típico.

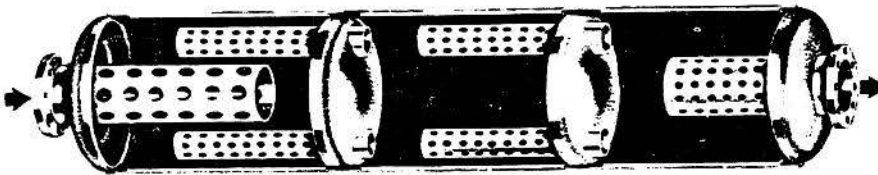


Figura 4-1 . Silenciador reativo típico . FONTE : Bell, 1982.

4.2 Silenciadores Ativos

Os silenciadores ativos usam o conceito da redução ativa de ruído. A redução ativa de ruído consiste na supressão do campo sonoro através da sobreposição de um outro campo sonoro idêntico mas em oposição de fase. O sistema utiliza um conjunto de captores e emissores e um dispositivo eletrônico de alta velocidade de processamento de sinais. Um microfone capta o sinal sonoro a ser atenuado passando por um filtro que lhe inverte a fase. Esse sinal então é injetado em um ou mais alto-falantes, cuja emissão sonora irá se sobrepor ao sinal inicial. Um microfone de feedback monitora continuamente o sinal tratado transmitindo a necessária informação ao filtro de processamento de sinais. Este processo terá de ocorrer em tempo real. A eficácia deste processo de cancelamento de energia exige causalidade. Em alguns casos , como no ruído de combustão interna, bombas ou compressor, o sinal é periódico e de supressão fácil, outros são aleatórios e nestes o controle ativo é bem menos eficaz (Bento Coelho,1998). A figura 4-2 mostra um esquema de montagem de um silenciador ativo.

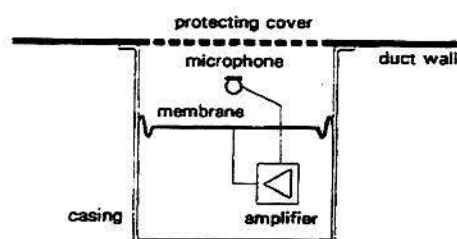


Figura 4-2. Montagem de um silenciador ativo (FONTE :Leistner e Kruger,1997)

O controle ativo de ruído geralmente é eficiente a baixas frequências, normalmente abaixo de 500 Hz. Os silenciadores ativos tem a capacidade de absorver um espectro de ruído variado, adaptando e melhorando o desempenho para cada máquina diferente. Tem a vantagem de não prejudicar o fluxo de ar e sua manutenção consiste em mudanças eventuais de seus componentes. O silenciador ativo tem a capacidade de modificar o espectro de ruído que se deseja atenuar alterando apenas o software.

No entanto para atenuação de um sistema ativo acima de 1000 Hz não é tão prático devido a complexidade do campo sonoro. Tem restrições a temperatura e a outras limitações ambientais. Embora fáceis de consertar, silenciadores ativos requerem manutenção periódica, principalmente dos componentes eletrônicos. Qualquer alteração dos componentes pode comprometer completamente a atenuação. Sistemas ativos são pouco vantajosos para pequenas fontes de ruído, visto que são semelhantes em custo e complexidade das grandes fontes. São pouco conhecidos e compreendidos por clientes desencorajando sua aplicação comercial. Geralmente tem um custo inicial mais alto que os silenciadores passivos. (Eriksson e Zuroski, 1997).

4.3 Silenciadores Passivos Resistivos

Objeto deste trabalho, os silenciadores resistivos utilizam material absorvente sonoro para revestir as paredes internas da câmara silenciadora e, freqüentemente fazem uso de septos de material absorvente no canal da condução do fluido que assim é dividido em diversos canais de passagem. (Bento Coelho, 1998). Na figura 4-3 são apresentadas ilustrações de atenuadores resistivos.



Figura 4-3. Atenuador (silenciador) retangular com células divisórias paralelas
(FONTE : Vibrasom Tecnologia Acústica – Catálogo eletrônico)

O princípio de funcionamento do silenciador resistivo consiste em colocar a maior parte da energia sonora em contato com o material absorvente, convertendo a energia sonora em calor. Os materiais absorventes mais comuns usados incluem várias fibras de vidro ou rocha, alguns plásticos porosos e material cerâmico (Eriksson & Zuroski, 1997)

Estes atenuadores são utilizados freqüentemente nos sistemas de tratamento de ar e ventilação (Gerges, 2000). A adoção deste silenciador pode ser feita desde que características ou a passagem dos fluidos não cause a deterioração dos materiais ou a alteração das suas propriedades de absorção pelo fechamento de seus poros (Bento Coelho, 1998).

Os silenciadores passivos resistivos são usualmente construídos usando técnica de fabricação padrão de metal. As estruturas são normalmente soldadas, e os materiais absorventes são inseridos manualmente e fixados no corpo do silenciador. Normalmente é utilizada uma tela para proteção mecânica do material absorvente.

Silenciadores passivos resistivos possuem uma ampla gama de aplicações pois possibilitam redução de ruído em uma larga faixa de freqüências. Oferecem

também outras vantagens como a facilidade de instalação; vida útil muito longa e manutenção mínima; o conceito é familiar para a maioria dos clientes e há muitos fornecedores disponíveis no mercado. Como é mostrado por Eriksson & Zuroski, 1997, os silenciadores resistivos oferecidos hoje no mercado tem a desvantagem de ter seu desempenho acústico reduzido drasticamente nas frequências abaixo de 500 Hz. Outra desvantagem é de que quando o projeto é inadequado, pode reduzir o fluxo de ar e em alguns casos causar danos aos equipamentos .

Segundo Eriksson & Zuroski, 1997, novos materiais e revestimentos podem melhorar o desempenho do silenciador e reduzir o preço. Muitos materiais tem sido testados numa tentativa de combinar preço e desempenho. Novas técnicas de construção estão eliminando as estruturas de fixação e reduzindo custos.

O uso de silenciadores ativos ou passivos depende basicamente da frequência a ser atenuada. Para o ruído de banda larga geralmente usa-se os silenciadores passivos e para ruído de frequência tonal bem definida é interessante usar os silenciadores ativos.

CAPÍTULO 5 – Silenciadores Passivos Resistivos

A principal característica é a presença de material absorvente (Embleton, 1971). Segundo Gerges, (2000), a eficiência de atenuação de um silenciador resistivo depende basicamente dos seguintes fatores;

- Características acústicas do material utilizado;
- Espessura e comprimento dos materiais absorventes utilizados;
- Formas e dimensões dos espaços de passagem de ar.

Neste capítulo são abordados alguns parâmetros de desempenho usados para silenciadores e seu princípio de funcionamento.

5.1 Parâmetros de desempenho de Silenciadores .

São vários os parâmetros e nomenclaturas utilizados para a determinação de desempenho de um silenciador. Segundo Bell (1982) e Embleton (1971), pode-se destacar:

i) Perda por inserção (IL) É definida como a diferença em decibéis entre dois níveis de pressão sonora medidos no mesmo ponto e espaço antes e depois da inserção de um silenciador entre o ponto de medida e a fonte de ruído.

ii) Perda de Transmissão (TL). Representa a relação entre o nível de pressão sonora incidente no silenciador e o nível de pressão transmitido através do silenciador.

iii) Redução de ruído. Calculada pela diferença entre o nível de pressão sonora medido ao lado de fonte de um silenciador e o nível de pressão sonora medido ao lado do receptor.

iv)Atenuação L_A . Indica a redução no nível de pressão sonora em decibéis entre dois pontos em um sistema acústico.

5.2 Princípios de Funcionamento de Silenciadores Passivos Resistivos

Os silenciadores passivos atenuam o som por meio da conversão da energia acústica, que se propaga nas passagens do silenciador, em calor causado pelo atrito entre as partículas de gás e as fibras ou poros do material absorvente.

Os princípios físicos e matemáticos que fundamentam o funcionamento dos silenciadores passivos foram estudados e formulados nos anos 30 e início dos anos 40. As teorias se aplicam bem em situações controladas utilizadas em laboratório, contudo, sua complexidade torna difícil sua utilização prática em situações onde as variáveis locais possam ser vulneráveis pelas situações específicas de cada instalação de silenciador. Nesta seção serão apresentados os princípios que fundamentam o funcionamento dos silenciadores passivos, compostos de dutos lineares em uma perspectiva empírica.

Os parâmetros fundamentais do funcionamento, que são a base dos fenômenos observáveis na instalação e uso de silenciadores passivos resistivos são:

- Geometria do sistema absorvente;
- Área de passagem de gás (ou som);
- Espessura da material absorvente;
- Espessura da parede rígida que sustenta o material absorvente.

- Comprimento do atenuador;

Na Figura 5-1 apresentam os modelos mais comuns de dutos silenciadores e na Figura 5-2 são mostradas algumas geometrias utilizadas para os materiais absorventes. As diferentes geometrias são necessárias quando se quer uma atenuação em frequências específicas ou em condições específicas de fluxo e temperatura em que o atenuador irá operar.

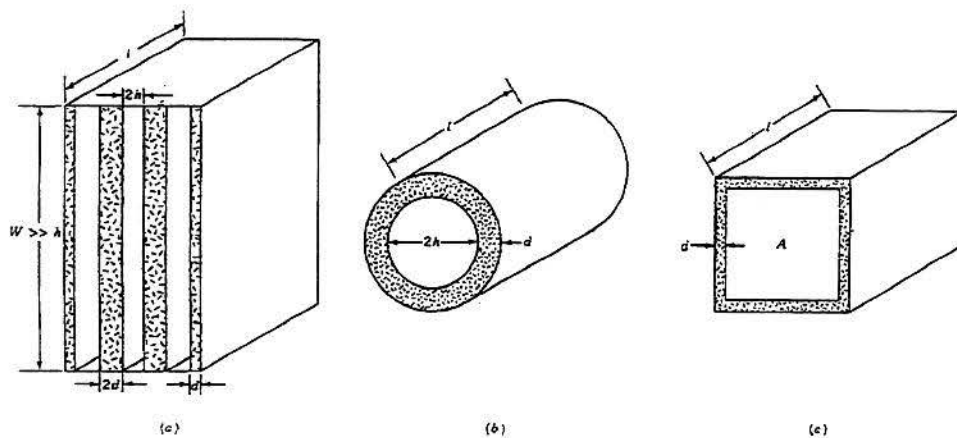


Figura. 5-1 . Modelos mais comuns de dutos silenciadores (a) dutos silenciador retangular com células divisórias(lamelas); (b) duto silenciador cilíndrico com material absorvente nas paredes; (c) silenciador retangular com material absorvente nas paredes (FONTE: Galaitsis e Ver, 1992).

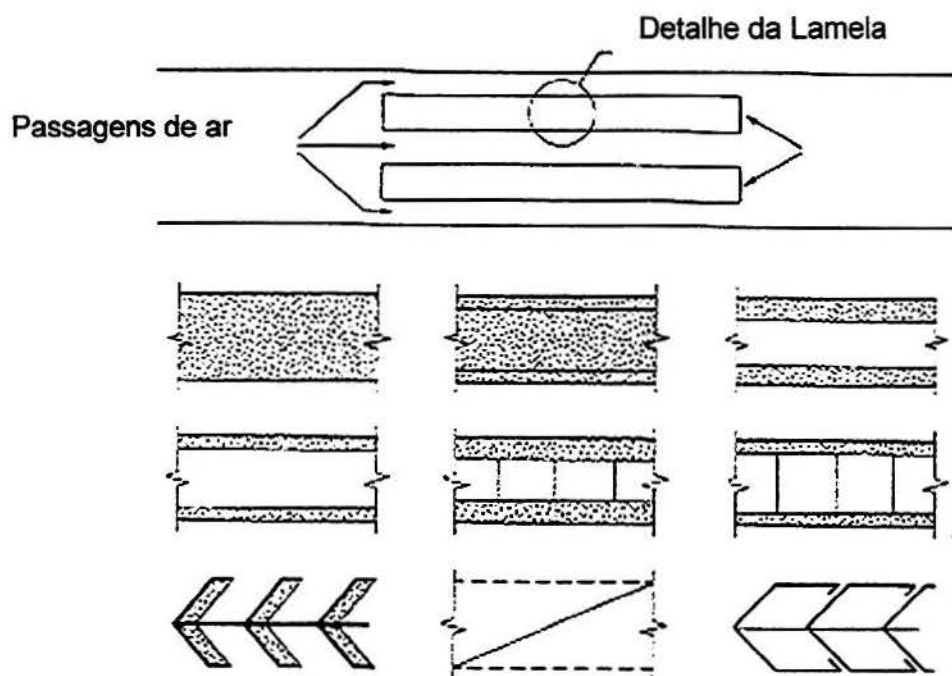


Figura 5-2: Diferentes geometrias de lamelas para silenciadores passivos em dutos lineares (FONTE: Galaitisis e Ver, 1992)

Baseado no capítulo 10 do livro do Beranek " Noise and Vibration Control Engineering : Principles and Applications " escrito por Galaitisis e Ver (1992) temos os parâmetros chave de medida da eficiência do silenciador dissipativo que são:

- Perda por inserção (IL);
- Diferença de Pressão;
- Ruído gerado pela fluxo de gás;
- Dimensão (tamanho);
- Custo;
- Vida útil.

O melhor silenciador é aquele que possibilita a necessária perda por inserção (atenuação) sem exceder parâmetros fixados de diferença de pressão, tamanho do silenciador e custo.

A perda por inserção (ou atenuação) é definida por como

$$IL = 10 \log \frac{W_0}{W_M}. \quad (1)$$

As variáveis W_0 e W_M definem a potência de som radiada pelo duto sem e com o silenciador, respectivamente. A potência W_M é representada por

$$W_M = W_0 \times 10^{-(\Delta L_I + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX})/10} + W_{SG}, \quad (2)$$

onde ΔL_I representa a atenuação do silenciador de comprimento l , ΔL_{ENT} e ΔL_{EX} representam a atenuação de entrada e saída, respectivamente e W_{SG} é a potência do som gerada pelo fluxo de saída do atenuador.

Substituindo a (2) em (1) obtém-se:

$$IL = -10 \log \left(\frac{W_{SG}}{W_0} + 10^{-(\Delta L_I + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX})/10} \right), \quad (3)$$

Em regime especial de velocidade de fluxo através das passagens do silenciador suficientemente baixa, o fluxo de ruído é negligenciável (W_{SG}) e a equação (3) pode ser reescrita em uma forma mais simples,

$$IL \cong \Delta L_I + \Delta L_{ENT} + \Delta L_{EX} \quad \text{dB} \quad (4)$$

Na maioria dos silenciadores de dutos retos os parâmetros de atenuação por perda de entrada e saída, ΔL_{ENT} e ΔL_{EX} , são pequenos quando comparados com a perda por inserção ΔL_I . A figura 6, representa qualitativamente uma curva do nível de pressão do som (Sound Pressure Level – SPL) em função da distância do duto (l) gerada por microfone situado nos diferentes pontos do duto. Da Figura

5-3, observa-se a contribuição dos três componentes da perda por inserção (IL) dada pela Eq. (4).

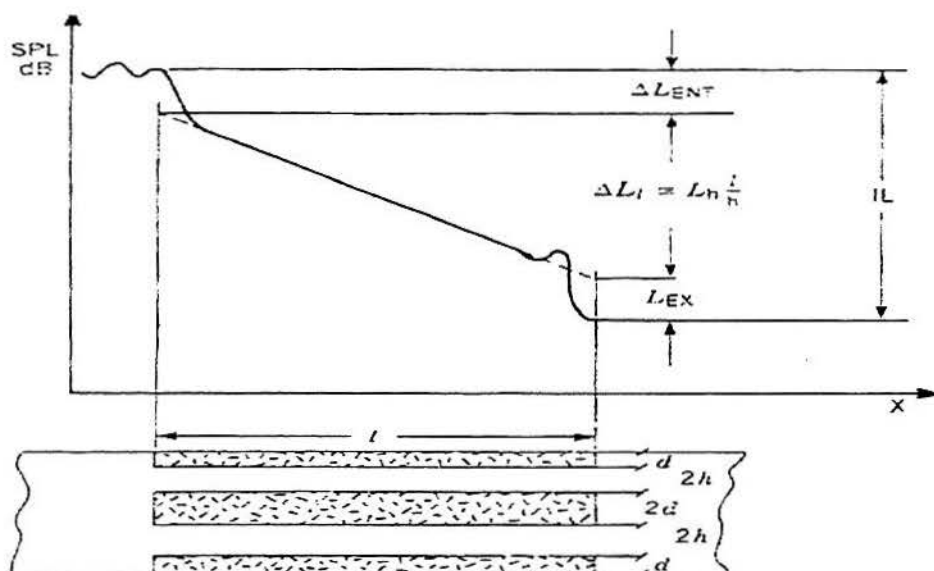


Figura 5-3: Curva típica do nível de pressão do som (Sound Pressure Level – SPL) dada em decibéis (dB) em função da distância X, gerada pelo uso de um microfone posicionado nos diferentes pontos: entrada do duto, no duto e na saída do duto (FONTE: Galatsis e Ver, 1992).

A atenuação do silenciador ΔL_I constitui-se, então, no parâmetro fundamental para medida de eficiência e eficácia do dispositivo silenciador passivo. Essa quantidade observável (medida) é proporcional ao comprimento do duto l e do perímetro de passagem P e inversamente proporcional a área de abertura do duto linear, A . Deste modo, pode-se escrever

$$\Delta L_I \propto \frac{P}{A} l \quad (5)$$

A equação (5) apresenta, essencialmente, as características dimensionais do duto onde foi introduzido o silenciador. Contudo, sabemos que um silenciador passivo atenua o som através do uso de materiais absorventes (lã de vidro, lã de rocha e outros materiais) e a construção no duto linear de uma estrutura com uma

geometria própria (conforme visto na figura 4). Aspectos relacionados à pressão do som, velocidade e temperatura do gás também são fatores intervenientes no processo que devem ser considerados para a obtenção da igualdade para a equação (5). Assim o parâmetro que nos permite transformar a proporcionalidade da equação (5) em igualdade na equação (6) dependerá destes fatores e será denominada por L_h . Com essa consideração, podemos re-escrever a equação (5) como

$$\Delta L_1 = \frac{P}{A} L_h \quad \text{dB (6)}$$

O parâmetro L_h da equação (6) acima considera aspectos geométricos e acústicos muito importantes para função de atenuação do silenciador passivo. A atenuação do som ocorre, efetivamente, se:

- a) o som for absorvido pelo material poroso (absorvente);
- b) uma parte substancial da energia da onda de som que penetrar nas lamelas for dissipada e reconduzida para fora das lamelas;

Para que o som seja absorvido pelo material absorvente com que as lamelas foram construídas é necessário que o comprimento de onda seja maior que a dimensão das passagens. Podemos representar essa situação como

$$2h < \lambda$$

onde $2h$ é a distância entre as lamelas em um duto silenciador linear e λ é o comprimento da onda de som que penetra o atenuador nas passagens livres. A condição a) necessita ainda que o material com que as lamelas são construídas seja suficientemente abertas para que o som seja absorvido e não imediatamente refletido, ou seja, o material tem de ter baixa resistividade para o fluxo.

A condição b), acima apresentada, requer que o material poroso tenha resistividade moderada que é contrária, em parte a condição a).

A contradição entre as condições a) e b) poderá ser sanada se preservamos as dimensões $2h < \lambda$ buscando diminuir h e aumentando o número de lamelas e diminuindo a sua espessura utilizando material de baixa resistividade de fluxo.

Dada a complexidade dos elementos que compõem o fator L_h da Equação (6), utiliza-se correntemente uma expressão encontrada empiricamente por Sabine [Bento Coelho, 1994] para expressar a perda por inserção que pode ser parametrizada a partir da Equação (6)

$$\Delta L = 12.6\alpha^{1.4} \frac{P}{A} \quad \text{dB/ft, (7)}$$

onde, analogamente as Equações (5) e (6), P é o perímetro do duto em polegadas, A é a seção da área do duto em polegadas quadradas e α é o coeficiente de absorção de Sabine do material utilizado nas lamelas do duto atenuador obtido em medidas de laboratório. O coeficiente de Sabine α é adimensional e depende da frequência.

Os dados empíricos mostram que a Equação (7) dão bons resultados com a experiência para baixas frequências (500 Hz e menores) e falha em expressar a fenomenologia da atenuação em maiores frequências (Bell, 1982) .

Contudo essa expressão permite observar algumas correlações entre as distâncias das lamelas e dimensão da passagem livre dos dutos que é uma importante questão de geométrica para o projeto de atenuadores resistivos passivos. Nas Figuras 6-4 e 6-5 mostra-se a perda por inserção em função da frequência para diferentes valores das variáveis de dimensão das lamelas

denotadas por "B" e a distância entre as lamelas denotada por "C". As unidades dadas nas Figuras 5-4 e 5-5 para essas quantidades são polegadas.

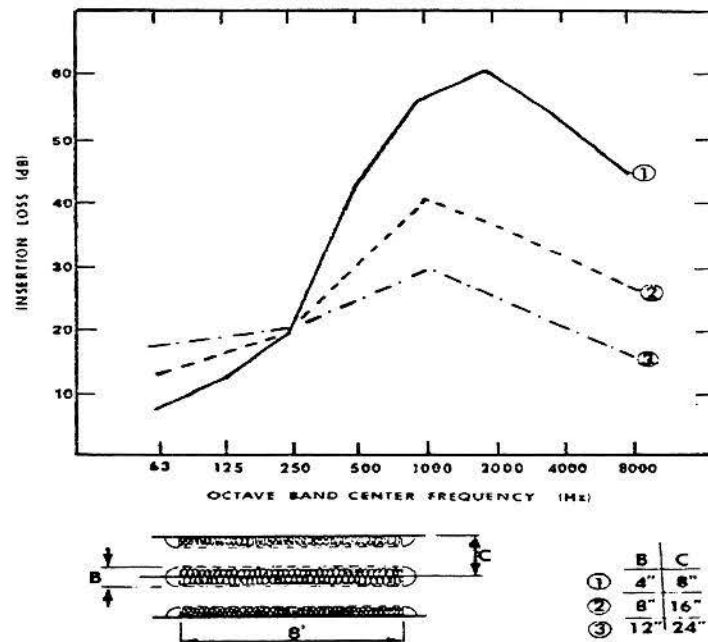


Figura 5-4: Perda por inserção em função da frequência para diferentes dimensões de lamelas (B) e distância (C) entre as lamelas para um duto de comprimento fixo de oito polegadas (8') (FONTE: Bell, 1982)

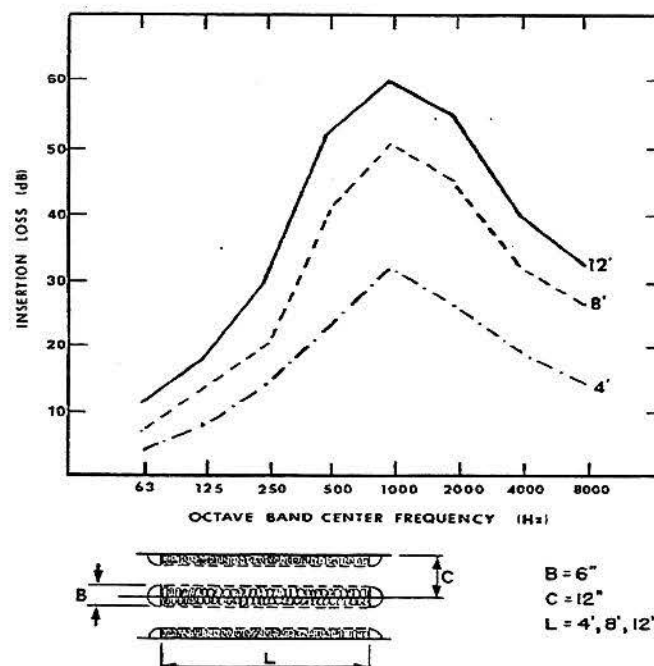


Figura 5-5: Perda por inserção em função da frequência para diferentes comprimentos de dutos e valores fixos para as dimensões de lamelas e distância livre entre as lamelas (FONTE: Bell, 1982).

Observa-se, da análise das figuras 5-4 e 5-5, que a atenuação máxima ocorre em uma frequência média de 1000 Hz, neste contexto específico. Contudo a relação de dependência da atenuação com a distância entre as lamelas é válida para qualquer contexto. Dado um duto de comprimento fixo, quanto maior a dimensão das lamelas menor a absorção e quanto menor a dimensão (espessura) das lamelas maior a absorção e portanto maior a atenuação. Na Figura 5-5, observamos a dependência da atenuação com relação ao comprimento do duto atenuador. Quanto maior o comprimento do duto maior a atenuação e quanto menor o comprimento do duto menor a atenuação em uma dada frequência.

CAPITULO 6 – Normalização de Ensaios para Atenuadores

O ensaio experimental de dispositivos silenciadores é um procedimento de importância fundamental no processo de projeto ou de desenvolvimento para a caracterização correta do elemento. A normalização dos ensaios de silenciadores tem sido alvo em anos recentes de significativa atividade nas comissões da International Standart no sentido de estabelecer Normas para a caracterização em laboratório de silenciadores (Bento Coelho, 1998).

Neste trabalho foram estudadas as normas referentes a silenciadores. Do resultado destacam-se quatro normas, uma delas da ASTM Standart Method of Testing e três dela da International Standart . Nos próximos itens serão apresentados resumidamente a abordagem de cada norma.

6.1 ASTM E477 Duct Linear Materials and Prefabricated Silencers For Acoustical and Airflow Performance.

Essa norma aplica-se para determinação do desempenho acústico e do fluxo em silenciadores de dutos lineares e pré- fabricados.

Este método é utilizado em laboratórios que testam os materiais a serem aplicados em dutos lineares, dutos integrantes e silenciadores absorventes em

duto usado nos sistemas de ventilação de edifícios. Nessa norma são descritos procedimentos para a medida de perda de inserção, ruído regenerado e ruído de fluxo. Desta Norma estão excluídos os silenciadores reativos como os de veículos automotivos.

6.2 ISO 7235 Acoustics Procedures For Ducted Silencers – Insertion Loss, Flow Noise and total Pressure Loss.

Essa norma trata dos procedimentos acústicos para determinação de perda por inserção do fluxo e da perda de pressão total de silenciadores de duto para realização de testes em laboratório.

A Norma ISO 7235 especifica o método para determinar a perda por inserção de silenciadores em dutos, na condição de silenciadores com e sem fluxo de ar; o nível de pressão sonora, do ruído de fluxo gerado pelos silenciadores; e perda de pressão total de silenciadores com fluxo de ar em faixas de frequência.

Os procedimentos de medida são para ensaios em laboratório, mas também podem ser usados para medida de silenciadores em campo, desde que as exigências desta norma sejam satisfeitas. Este procedimento se aplica preferencialmente a silenciadores de ar condicionado que normalmente estão conectados aos dutos; mas podem ser testados também outros elementos como curvas ou conectores (T). A Norma não se aplica a silenciadores reativos usados para veículos automotores.

6.3 ISO 11691. Acoustics. Measurements of insertion loss of duct silencers without flow. Laboratory method.

Essa norma apresenta os procedimentos para medidas de perda por inserção de silenciadores em dutos sem fluxo de ar, método utilizado em laboratório.

6.4 ISO 11820 Acoustics – Measurements on Silencers in Situ.

A ISO 11820 apresenta os procedimentos de medidas de desempenho acústico de silenciadores em situ. Deve ser usada para aplicações práticas, não podendo ser comparado seus resultados com os resultados obtidos em medidas de laboratório, devido as diferentes condições de teste.

Essa Norma é aplicável para silenciadores que são instalados como um todo ou na forma de lamelas na trajetória da propagação do som originado por uma fonte sonora como máquinas, gerador de turbina, compressor, etc. Pode ser aplicada em todo tipo de silenciador passivo como os resistivos, reativos e também em alguns casos nos silenciadores ativos. Essa norma não é aplicável a sistema de alta pressão, como silenciadores em dutos fechados.

O procedimento de medida proposto pela norma depende do tipo do silenciador e da condição de instalação. Apresenta o método de cálculo de perda por transmissão e perda por inserção dos silenciadores a partir das medidas dos níveis de pressão sonora.

Como esse trabalho tem o objetivo de testar silenciadores em situações próximas das encontradas em campo, essa norma é a mais indicada. Assim o detalhamento dos procedimentos e condições de medida da norma ISO 11820 estão descritos na metodologia desta dissertação (Capítulo 7).

CAPÍTULO 7 - Metodologia

Nesse capítulo será apresentada a metodologia na qual foi fundamentada o desenvolvimento desta pesquisa para avaliar o desempenho acústico de silenciadores passivos resistivos utilizados para redução de ruído de grupos geradores instalados em salas de alvenaria. A figura 7-1 mostra um exemplo típico de uma sala para instalação de um gerador.



Figura 7-1. Sala de alvenaria com grupo gerador instalado, ao fundo silenciador de ruído com lamelas na entrada de ar
(FONTE: Acustecni, 2003)

Na pesquisa bibliográfica ficou claro a importância do método normatizado para avaliação de silenciador e que no Brasil, é pouco conhecido. No Brasil não existe uma norma específica para isso, no entanto internacionalmente temos a **ISO 11820 – Measurements on silencers in situ** e sendo o Brasil estado membro, usa-se a ISO sem que haja necessidade de uma NBR. Baseando-se nesta norma

foram elaborados os procedimentos de medidas utilizado no desenvolvimento da pesquisa.

7.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo desse trabalho foram os silenciadores (atenuadores) passivos resistivos, apresentado no capítulo 5. Esses silenciadores se caracterizam por dutos cujo revestimento das paredes internas é feito com materiais de absorção acústica. Podem ter seção transversal variada. Esse trabalho estudou os dutos retangulares revestidos internamente com materiais de absorção acústica e células divisórias paralelas (lamelas) (Figura 4-3).

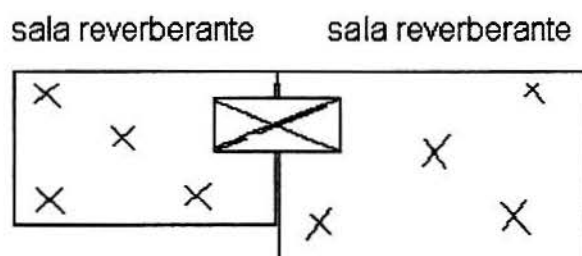
Para realização dos ensaios propostos, vários atenuadores foram montados e testados. Foram alteradas as dimensões das lamelas, o tamanho do duto e a densidade e espessura do material absorvente.

7.2 Procedimento de Avaliação de Eficiência de Silenciadores

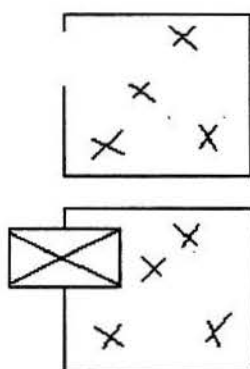
Para a realização das medidas de desempenho acústico dos silenciadores utilizou-se a metodologia descrita pela ISO 11 820 Acoustics – Measurements on Silencers in situ, que é aplicável para avaliação de silenciadores no local de instalação, testando situações práticas. Essa norma indica dois parâmetros de avaliação de desempenho acústico :a) perda de transmissão e b) perda por inserção.

A norma ISO 11.820 o item 5.0, descreve as diversas condições de teste que podem ser utilizadas e a representação está apresentada na figura 1 da norma. Como essa norma testa silenciadores em “situ”, ou seja, no local de instalação, existem várias condições apresentadas para as mais diversas configurações que podem ocorrer. Para determinação de perda de transmissão (ver item 7.3) a norma apresenta dezesseis condições de teste incluindo salas reverberantes;

salas absorventes; dutos e espaços abertos. E para a determinação de perda por inserção (ver item 7.4) são quatro opções também para salas reverberantes; absorventes; dutos e espaços abertos. No anexo A, encontra-se a figura 1 da Norma com a representação das condições de teste. Analisadas as condições escolheu-se para esse trabalho a configuração de teste mostrada na figura 7-2. O esquema de teste escolhido para perda de transmissão foi o número 06 e para perda por inserção o número 18. A escolha baseou-se na melhor condição de adaptação ao espaço da empresa onde foram realizados os testes.



a) Esquema 06 selecionado para
medida de perda por transmissão
(Figura 1 da ISO 11.820)



b) Esquema 18 selecionado para
medida de perda por inserção
(Figura 1 da ISO 11.820)

Figura 7-2 . Esquema selecionado na ISO 11.820 para medição de (a) perda de transmissão e (b) perda por inserção.

De acordo com a ISO 11820, devem ser determinados pontos de medição de acordo com o tamanho da sala. Recomenda-se no mínimo 03 pontos de medição afastados 0,5 m de qualquer objeto como paredes, fonte ou abertura do silenciador; a distância mínima sugerida é de 1m de distância.

Para realização dos ensaios foram determinados 03 pontos de medição na sala de teste e 03 pontos na recepção. Os pontos de medição referentes ao receptor foram dispostos envolvendo parcialmente o silenciador como uma meia esfera, como indicado pela Norma. A distância do microfone ao solo foi de 05 metros, sendo recomendável pela norma no mínimo 04 metros. A distância da saída do atenuador até os pontos de medição foram de 1,40 m para o P4 e 1,44m para os pontos P5 e P6. A figura 7-3 apresenta o croqui com os pontos de medição. Figura 7-5 mostra a abertura onde foram instalados os atenuadores para teste ao fundo a passarela localizada no galpão a 05 metros de altura onde foram realizadas as medições.

As medidas de perda de transmissão e perda por inserção foram determinadas em faixas de frequência de 1/3 de oitava a partir de medidas de nível de pressão sonora nas mesmas faixas de frequência.

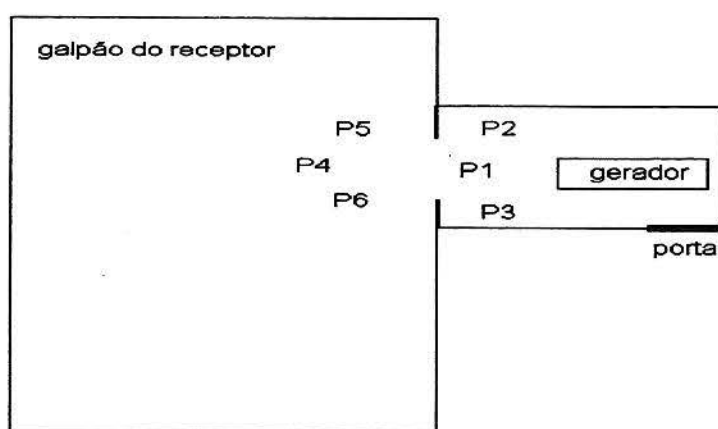


Figura 7-3 . Croqui com os pontos de medição. Os pontos 1,2 e 3 estão no interior da sala de teste e os pontos 4,5 e 6 estão localizados no galpão receptor.

7.3 Determinação da perda por transmissão

A perda por transmissão dos silenciadores é definida na ISO 11.820 como a diferença do nível de pressão sonora D_{tps} entre a fonte e o receptor. A equação da perda de transmissão simplificada é:

$$D_{tps} = L_{p2} - L_{p1}$$

Onde :

L_{p1} é a média aritmética dos níveis de pressão sonora em decibéis (em 1/3 de oitava), do lado do receptor do silenciador;

L_{p2} é a média aritmética dos níveis de pressão sonora em decibéis (em 1/3 de oitava), do lado da fonte do silenciador.

Para realização das medidas utilizadas na determinação da perda de transmissão foram escolhidos pontos de medição na sala onde estava localizada a fonte e na sala do receptor (item 7.2). O valor considerado para o calculo foi a média dos pontos de medição.

7.4 Determinação da perda por inserção

A perda por inserção dos silenciadores é definida na ISO 11 820 como a diferença do nível de pressão sonora (D_{ips}) antes e depois da instalação dos silenciadores no mesmo ponto do lado do receptor. A equação da perda por inserção simplificada é:

$$D_{ips} = L_{pII} - L_{pI}$$

Onde:

L_{pl} é a média aritmética dos níveis de pressão sonora (em 1/3 de oitava) medido depois da instalação do silenciador; em um ponto do lado do receptor

L_{pII} é a média aritmética dos níveis de pressão sonora (em 1/3 de oitava) medido antes da instalação do silenciador, no mesmo ponto do lado do receptor.

Para realização das medidas de perda por inserção foram escolhidos 3 pontos de medição (item 7.2), na posição do receptor antes e depois da instalação do silenciador, o valor a ser considerado para o calculo foi a média dos pontos de medição.

7.5 Condições de Medida

7.5.1 Sala de teste

Para a instalação e avaliação dos silenciadores foi construída uma sala nas dependências da empresa **ACUSTECNI CONTROLE DE RUÍDOS E COMÉRCIO LTDA**”, localizada a rua José Luiz Flaquer, 1037 – Sorocaba – SP. A empresa é fabricante de silenciadores para grupos geradores. A sala foi preparada para receber um grupo gerador de 60 kVA, possui dimensões de 3,45 m de largura, 4,80 m de comprimento e 2,60 m de altura. As paredes foram construídas com tijolo cerâmico 09 furos preenchido com areia rebocado em ambas as faces (2 cm de espessura). O teto é em laje de concreto e possui uma porta acústica de 40 dB de isolamento . Possui uma abertura de 1,20 x 1,20 m onde foram instalados os silenciadores avaliados. A abertura onde foram instalados os silenciadores tem ligação com um galpão no interior da empresa, neste galpão foram realizadas as medidas de perda de transmissão e perda por inserção. O galpão tem as medidas de 5,80 m de largura, 20,50 m de comprimento e 8,00 m de altura . A figura 7-4 mostra um croqui da configuração das salas da fonte e do receptor. A figura 7-6 mostra o galpão com um silenciador instalado a 05 metros de altura.



Figura 7-4. Croqui da sala de teste, onde foram realizadas as medidas de perda por transmissão e perda por inserção

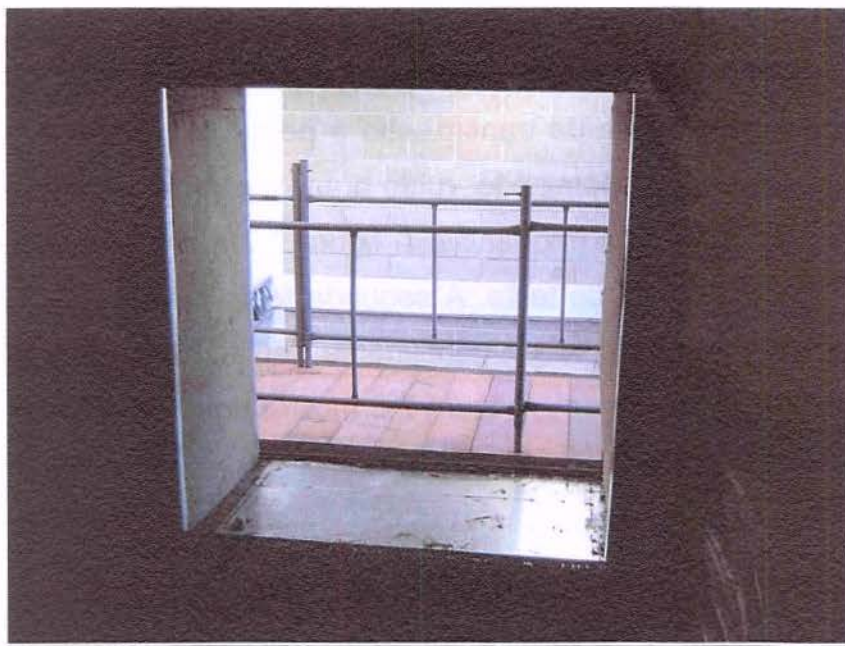


Figura 7-5. Abertura onde foram instalados os atenuadores para teste. Vista da passarela localizada no galpão a 05 metros de altura onde foram realizadas as medições.



Figura 7-6. Vista do galpão onde foram realizadas as medidas de perda de Transmissão e Perda por inserção. Atenuador foi instalado a 05 m de altura.

7.5.2 Fonte de Ruído

Duas fontes de ruído foram utilizadas nas medições de nível de pressão sonora para a determinação da perda de transmissão e perda por inserção. A primeira fonte utilizada emite ruído denominado ruído branco, cuja densidade espectral é constante para toda a faixa de frequência. A figura 7-7 mostra foto da fonte que gerou o ruído branco na sala de teste. A segunda fonte de ruído utilizada foi o próprio grupo gerador de 60 kva, gentilmente cedido pela Rental Center, empresa de aluguel de geradores. A figura 7-8 mostra uma foto do gerador de 60 kva utilizado neste estudo.



Figura 7-7. Sala de teste com a fonte que gera o ruído branco.
Ao fundo Atenuador Instalado para teste com 12 lamelas de espessura de 50 mm.



Figura 7-8 . Gerador de energia a diesel de 60 KVA da Rental Center
Utilizado neste trabalho como fonte de ruído.

As características básicas deste equipamento são:

- Motor MWM e Gerador WEG Ano 82
- Motor diesel de 04 tempos de 60 kva com 60 Hz e 1800 rpm.
- Dimensões : 2,40 m de comprimento, 1,30 m largura e 1,20m de altura.
- Alternador;

- Sistema de Controle;
- Isolamento Integral contra vibrações

7.5.3 Equipamentos de medição

Conforme apresentado no item 7.3 e 7.4, a determinação de perda de transmissão e da perda por inserção é feita a partir das medidas de nível de pressão sonora. Nesse trabalho as medidas de nível de pressão sonora foram realizadas com o medidor integrador de nível de pressão sonora 2238 da Bruel & Kjaer, também conhecido como Mediator (figura 7-9b). Esse equipamento fornece a análise espectral em bandas de 1/3 de oitava.

Para a geração do ruído branco foi utilizado o sistema building Acoustic da Bruel & Kjaer composto por um analisador em tempo real 2260, também conhecido como Investigator, e a fonte omnidirecional 4224 (figura 7-9 (a) e (c)).

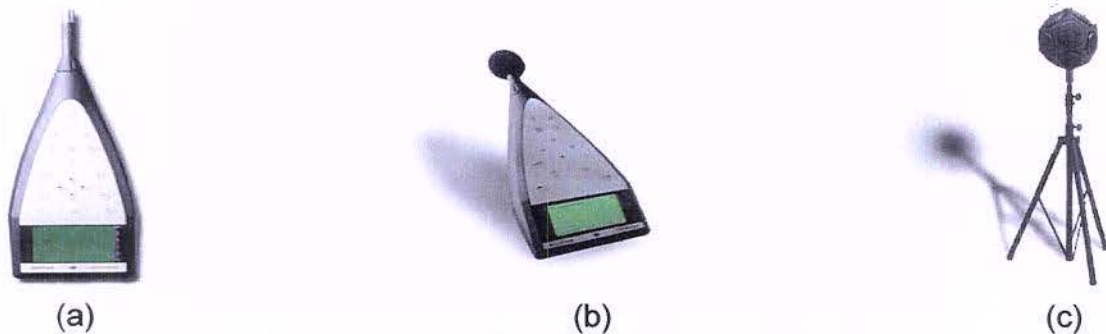


Figura 7-9. Equipamentos de medição : (a) Investigator da Bruel & Kjaer 2260 ;
(b) Mediator 2238 da Bruel & Kjaer e (c) Fonte Omnidirecional da
Bruel & Kjaer.

CAPÍTULO 8 – Resultados e Análises

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos testes realizados com atenuadores de ruído para grupos geradores. Os testes foram realizados em uma sala especialmente preparada. Foram montados e testados 22 tipos diferentes de atenuadores utilizando tamanhos, configurações e materiais de absorção comumente usados pelos fabricantes dessas peças. Os resultados são comparativos no intuito de indicar o silenciador que melhor atenda as necessidades de atenuação e de custo. Para as medições foram utilizadas 02 fontes de ruído 1) o ruído branco 2) um grupo gerador de 60 kVA. A partir do uso das fontes foram testados os 22 tipos diferentes de atenuadores. Em todas as medições realizadas o ruído de fundo foi monitorado. A norma utilizada para esse estudo foi a ***ISO11.820 Acoustics – Measurements on Silencers in Situ- 1996***, já discutida e apresentada na metodologia.

8.1 MODELOS DE ATENUADORES TESTADOS

A escolha dos modelos de atenuadores testados se basearam nos materiais e tamanhos que normalmente são oferecidos no mercado. Os silenciadores são dutos retangulares que foram construídos com chapa metálica de 1,50 mm de espessura e densidade superficial de 12 kg/m². As lamelas que são divisões internas neste duto tiveram sua forma e material absorvente alterado. Em função do custo para a montagem das peças, os primeiros testes foram realizados com atenuadores de 0,60 m de comprimento utilizando 04 tipos de material absorvente, lã de rocha nas densidades de 32, 48, 64 e 80 kg/m³ e nas

espessuras das lamelas de 25, 50, 75 e 100 mm. A distância entre as lamelas e o número de lamelas também variou de acordo com a espessura destas. Os testes preliminares do desempenho dos atenuadores foram realizados com a fonte emitindo ruído branco. Analisando o desempenho dos atenuadores em função do material absorvente utilizado e espessuras das lamelas, conclui-se que o mais indicado para os testes de comparação entre desempenho e custo foram os atenuadores nos quais se utilizou a lã de rocha de 48 kg/m³ nas espessuras de 50; 75 e 100mm. Também foram testados os dutos prolongados para 1,20 e 1,80 m de comprimento.

A tabela 8-1 apresenta as configurações dos atenuadores testados neste trabalho.

Tabela 8-1. Configuração dos Atenuadores Utilizados neste Trabalho

Configuração	L Espessura de Lamela (mm)	D Distância entre Lamelas (mm)	N Número de Lamelas	Y Comprimento do Duto (m)
I	25mm	43mm	16	0,60m
II	50mm	40mm	12	0,60m
III	75mm	63mm	8	0,60m
IV	100mm	88mm	6	0,60m
V	50mm	40mm	12	1,20m
VI	75mm	63mm	8	1,20m
VII	100mm	88mm	6	1,20m
VIII	50mm	40mm	12	1,80m
IX	75mm	63mm	8	1,80m
X	100mm	88mm	6	1,80m

As figuras 8-1, 8-2, 8-3 e 8-4 apresentam os desenhos dos atenuadores das configurações I;II;III e IV descritos na tabela 8-1.

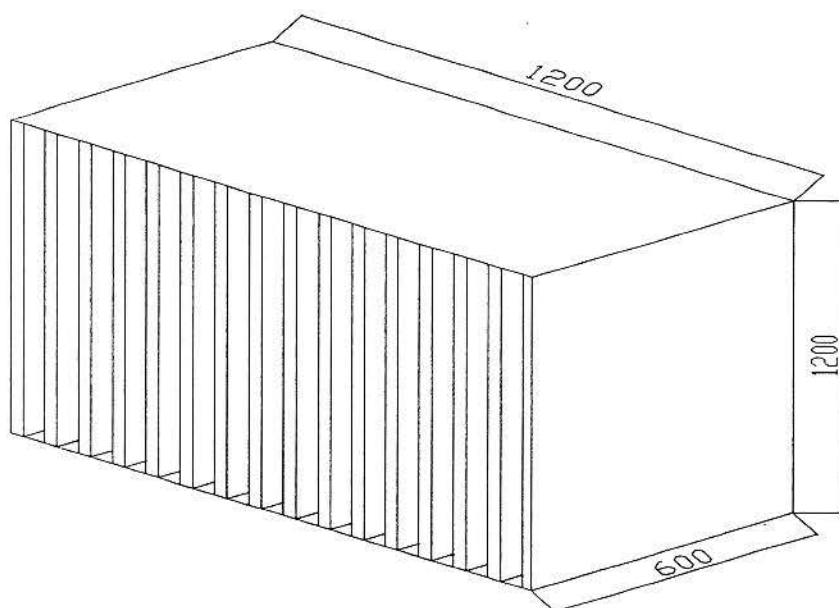


Figura 8-1. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 16 lamelas de 25mm e espaçamento de 43mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

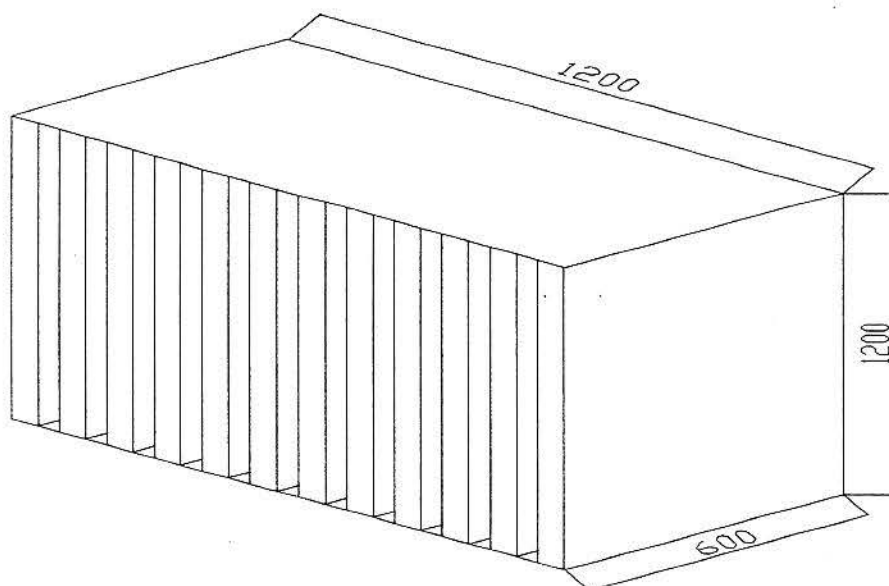


Figura 8-2. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 12 lamelas de 50 mm e espaçamento de 40 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

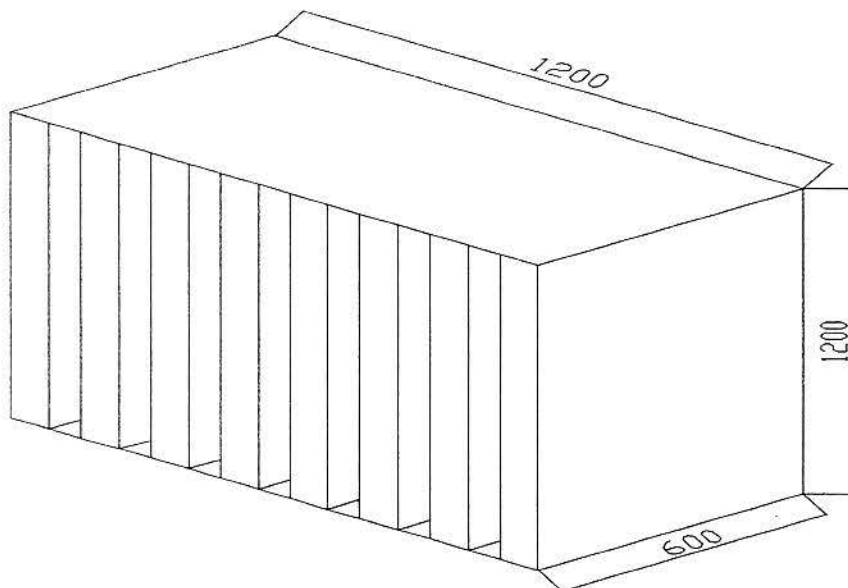


Figura 8-3. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 08 lamelas de 75mm e espaçamento de 63 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

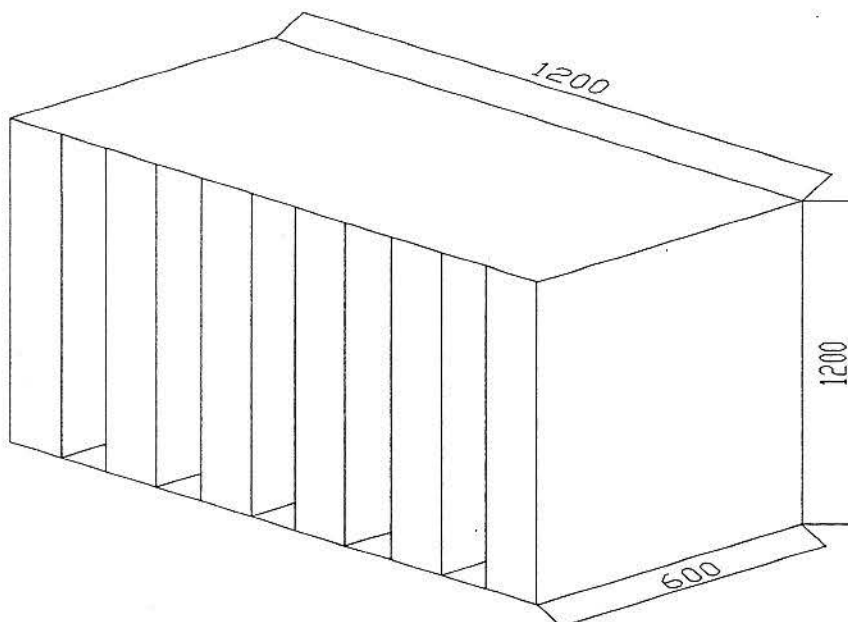


Figura 8-4. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x0,60m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. Lã de rocha utilizada de densidades 32;48;64 e 80 kg/m³.

As figuras 8-5 e 8-6, apresentam os desenhos do prolongamento do duto dos atenuadores de 1,20 e 1,80 m. Os dutos dos atenuadores com lã de rocha de

densidade de 48 kg/m³ que foram prolongados nas espessuras de 50;75 e 100mm.

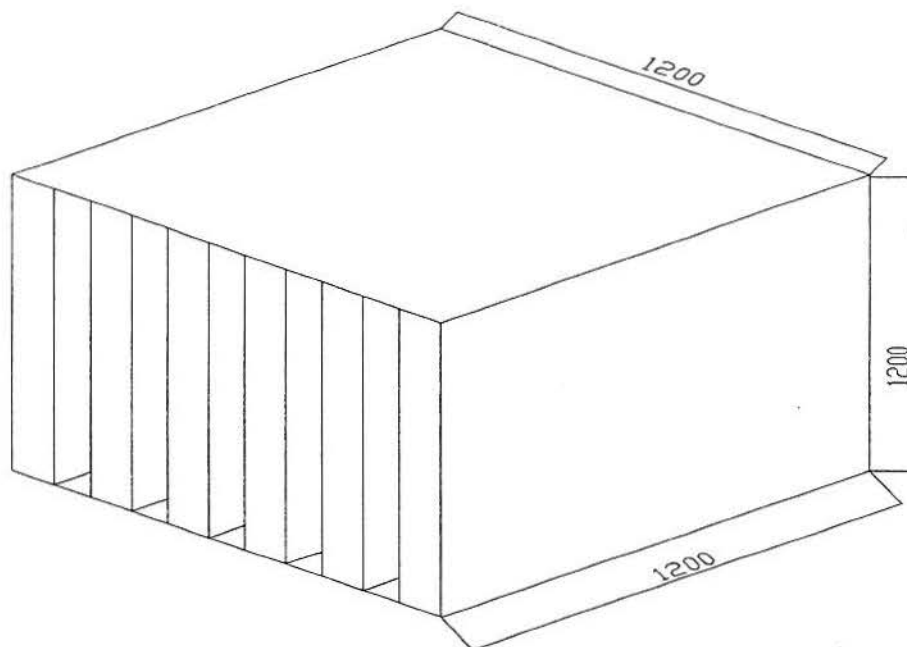


Figura 8-5. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x1,20m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. O desenho mostra o prolongamento do duto das configurações V;VI e VII da tabela 8-1.

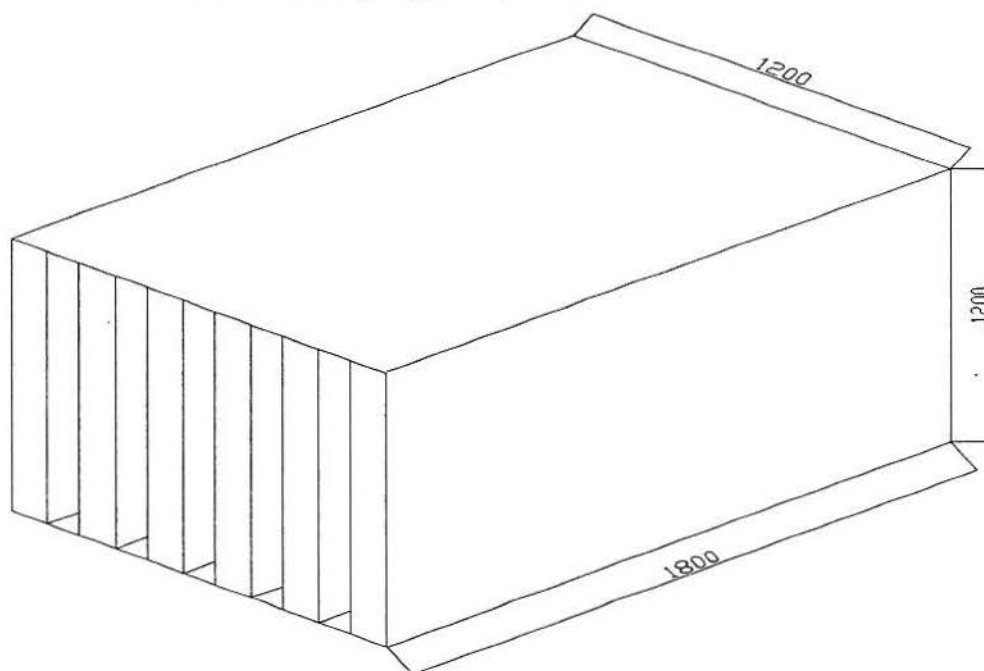


Figura 8-6. Atenuador com dimensões de 1,20x1,20x1,80m com 06 lamelas de 100mm e espaçamento de 88 mm. O desenho mostra o prolongamento do duto das configurações VIII;IX e X da tabela 8-1.

Para facilitar a identificação dos atenuadores avaliados nos gráficos e tabelas optou-se por definir e adotar uma nomenclatura específica conforme apresentado na tabela 8-2.

Tabela 8-2. Nomenclatura Utilizada nas Tabelas e gráficos para Identificar os Atenuadores Testados.

Terminologia Utilizada	Descrição do Atenuador Correspondente
Ate1 – 32kg /25 mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60 , com 16 lamelas de 25 mm e lâ de rocha de densidade 32 kg/m ³
Ate2 – 32kg/ 50mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 12 lamelas de 50 mm e lâ de rocha de densidade 32 kg/m ³
Ate3 – 32kg/ 75mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 08 lamelas de 75 mm e lâ de rocha de densidade 32 kg/m ³
Ate4 – 32kg/ 100mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 06 lamelas de 100mm e lâ de rocha de densidade 32 kg/m ³
Ate5 – 48kg/ 25 mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 16 lamelas de 25 mm e lâ de rocha de densidade 48 kg/m ³
Ate6 – 48kg/ 50mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 12 lamelas de 50 mm e lâ de rocha de densidade 48 kg/m ³
Ate7 – 48kg/ 75mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 08 lamelas de 75 mm e lâ de rocha de densidade 48 kg/m ³
Ate8 – 48kg/ 100mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 06 lamelas de 100 mm e lâ de rocha de densidade 48 kg/m ³
Ate9 – 64kg/ 25mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 16 lamelas de 25 mm e lâ de rocha de densidade 64 kg/m ³
Ate10 – 64kg/ 50mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 12 lamelas de 50 mm e lâ de rocha de densidade 64 kg/m ³
Ate11 – 64kg/ 75mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 08 lamelas de 75 mm e lâ de rocha de densidade 64 kg/m ³
Ate12 – 64kg/ 100mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 06 lamelas de 100 mm e lâ de rocha de densidade 64 kg/m ³
Ate13 – 80kg/ 25mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 16 lamelas de 25 mm e lâ de rocha de densidade 80 kg/m ³

Ate14 – 80kg/ 50mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 12 lamelas de 50 mm e lã de rocha de densidade 80 kg/m ³
Ate15 – 80kg/ 75mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 08 lamelas de 75 mm e lã de rocha de densidade 80 kg/m ³
Ate16 – 80kg/ 100mm	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 0,60m , com 06 lamelas de 100 mm e lã de rocha de densidade 80 kg/m ³
Ate17 – 48kg/ 50mm – 1,20m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,20m , com 12 lamelas de 50 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .
Ate18 – 48kg/ 50mm – 1,80m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,80m , com 12 lamelas de 50 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .
Ate19 – 48kg/ 75mm – 1,20m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,20m , com 08 lamelas de 75 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .
Ate20 – 48kg/ 75mm – 1,80m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,80m , com 08 lamelas de 75 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .
Ate21 – 48kg/ 100mm – 1,20m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,20m , com 06 lamelas de 100 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .
Ate22 – 48kg/ 100mm – 1,80m	Atenuador de 1,20 x 1,20 x 1,80m , com 06 lamelas de 100 mm e lã de rocha de densidade 48 kg/m ³ .

8.2 Medidas de Nível de Pressão Sonora

Como foi citado na metodologia, para se calcular a atenuação dos silenciadores são necessários os valores das medidas do nível de pressão sonora . Os níveis de pressão sonora foram medidos com o medidor de nível de pressão sonora Mediator BK 2238 em bandas de 1/3 de oitava na faixa de frequência 125 a 8 KHZ, foram realizadas 03 varreduras e o resultado utilizado nas avaliações foi a média dessas varreduras . Os espectros do sinal sonoro obtidos com e sem atenuadores nas posições da fonte e do receptor foram utilizados mais tarde para a avaliação da atenuação dos silenciadores. No apêndice A são apresentados os valores numéricos do nível de pressão sonora dos resultados de todas as medições realizadas.

8.2.1 Determinação de Perda por Transmissão

Para determinação de perda por transmissão foram realizadas medidas de nível de pressão sonora na fonte, ou seja, dentro da sala de teste e três pontos de medição com o ruído branco e com o gerador. A figura 7-3 apresenta a posição dos pontos de medição e a figura 7-9 a identificação do equipamento utilizado nas medições. No apêndice C são apresentados os resultados dos valores calculados da perda por transmissão de todos atenuadores testados.

8.2.2 Determinação de Perda por Inserção

Para a determinação de perda por inserção foram realizadas medidas de nível de pressão sonora na posição do receptor inicialmente sem os atenuadores, ou seja, na saída da abertura do silenciador tanto com o ruído branco com o gerador. A Figura 7-3 apresenta a posição dos pontos de medição. No apêndice B são apresentados os valores calculados da perda por inserção de todos os atenuadores testados.

8.3 Ruído de Fundo

Para obtenção do espectro sonoro do ruído de fundo, foi utilizado o medidor de nível de pressão sonora Mediator BK 2238. A faixa dinâmica de medição de nível de pressão sonora estava entre 20 e 100 dB. As medições do nível de pressão sonora para obtenção do ruído de fundo foram realizadas no galpão, na posição do receptor com as fontes desligadas. Como nas medições dos níveis de pressão sonora para a determinação de perda por inserção e perda por transmissão foram realizadas três varreduras e o resultado utilizado foi a média das varreduras. O ruído de fundo foi avaliado antes do início de todas medidas. Como em todas as medições o ruído de fundo esteve abaixo de 10 dB em relação ao nível das fontes utilizadas, mesmo na presença dos atenuadores, não houve necessidade de nenhuma correção. Na figura 8-7 são apresentados os níveis de ruído de fundo.

medido em todos os dias de medição. As medições foram realizadas em 04 dias , 02 deles com a fonte como ruído branco e dois deles com o gerador como fonte.

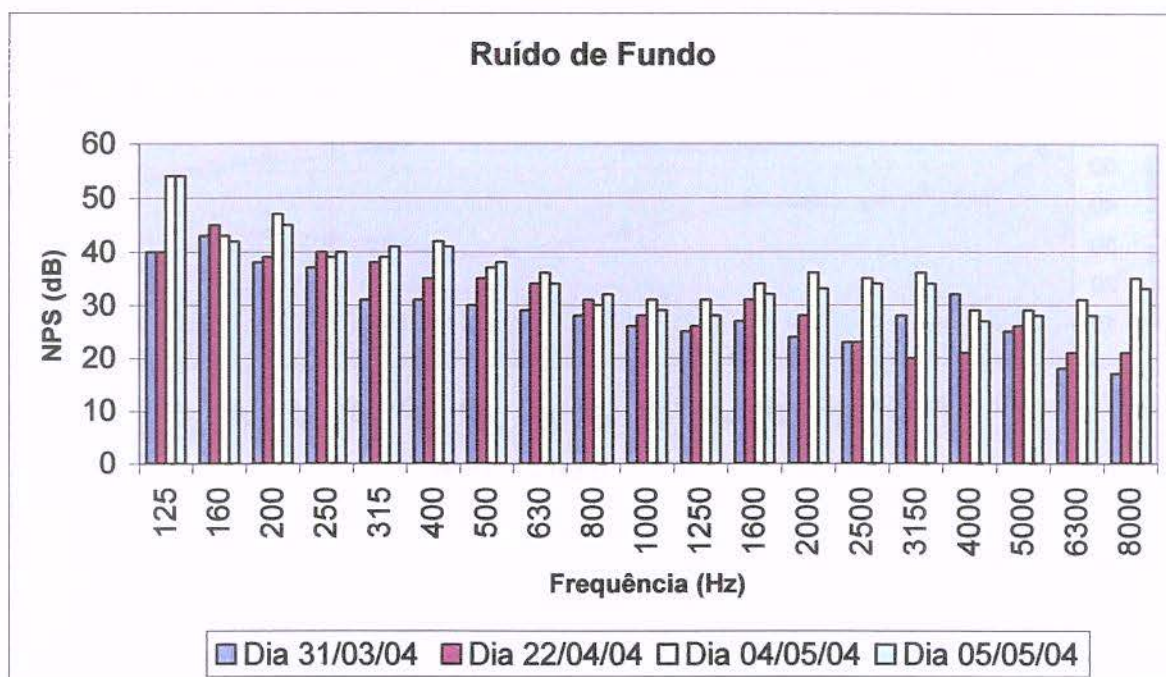


Figura 8-7 : Nível de Pressão Sonora (NPS), em dB, em função da frequência, do ruído de fundo, de todos os dias em que foram realizadas as medições.

A figura 8-8 apresenta os dados de ruído de fundo comparados com os níveis de ruído medidos com os silenciadores na condição de maior atenuação. Para todos os dias de medição o equipamento utilizado foi calibrado antes do início das medidas. Observa-se que o ruído de fundo esteve em todas as situações apresentadas abaixo de 10 dB em relação aos níveis sonoros das fontes de ruído, diferença que segundo a ISO 11.820 não há necessidade de nenhum tipo de correção nas medições e caracteriza que ruído de fundo não está interferindo nos resultados de desempenho dos atenuadores.

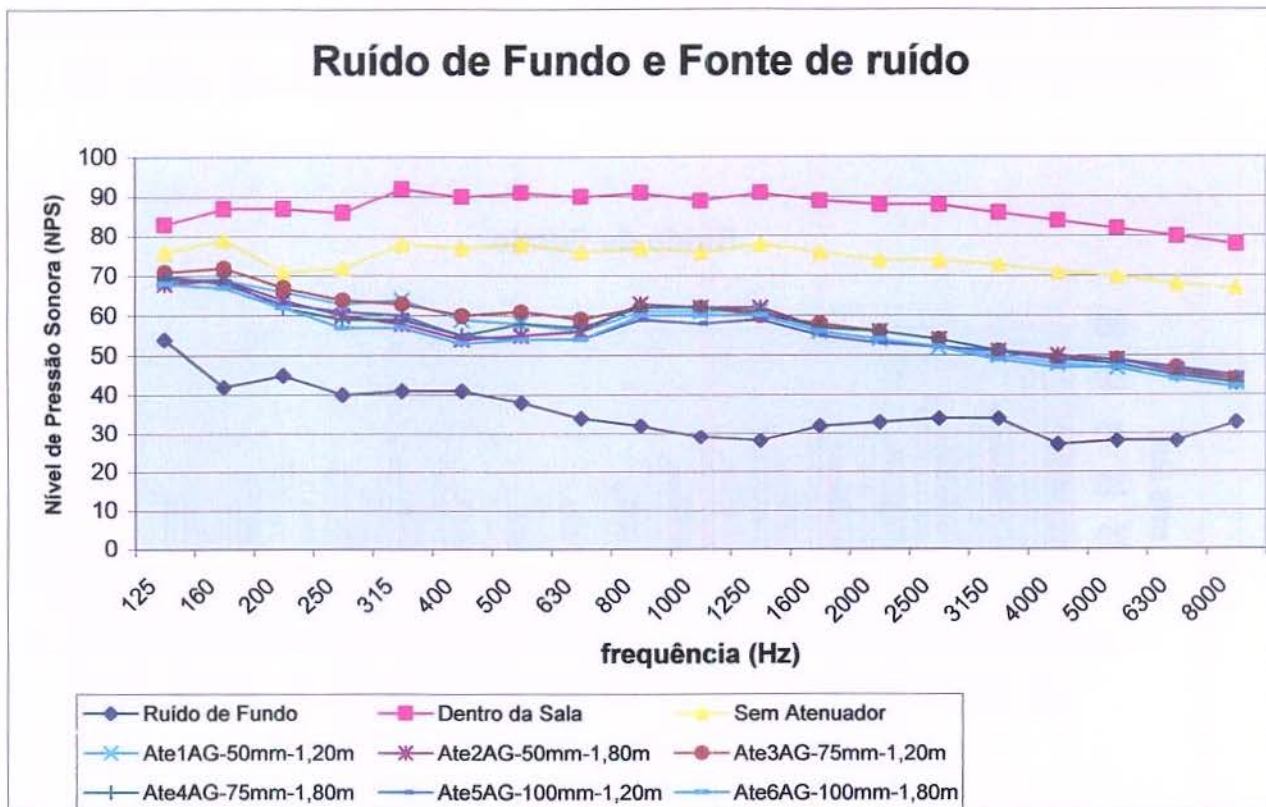


Figura 8-8 : Nível de pressão sonora do ruído de fundo comparado aos níveis de ruído medidos durante os testes com os silenciadores que mais atenuaram.

8.4 Fontes de Ruído

8.4.1 Ruído Branco

Como foi citado na metodologia, uma das fontes geradora de ruído utilizada no trabalho foi o ruído branco gerado pelo equipamento Investigator 2260 da Bruel & Kjaer, e amplificado para alcançar os níveis compatíveis com os dos geradores. Os resultados dos espectros obtidos dentro da sala de teste são apresentados na figura 8-9.

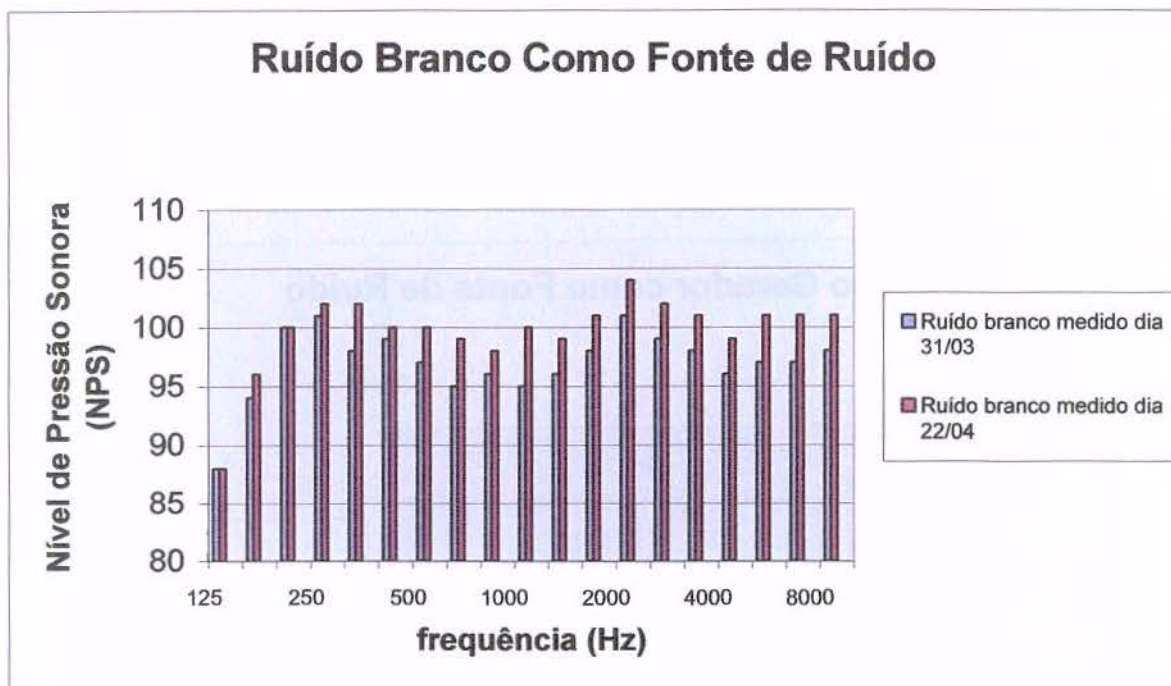


Figura 8-9 . Dados dos níveis de ruído branco medido na sala de teste para a realização das medidas de perda por transmissão e inserção.

Os dados apresentados no gráfico da figura 8-9 são os resultados das medidas realizadas dentro da sala de teste com o ruído branco. As medidas foram realizadas antes do início de cada dia de medição. O ruído branco foi utilizado por se tratar de um sinal de referência e utilizado para realização das medidas preliminares.

8.4.2 Gerador de 60 kVA como Fonte de Ruído

Outra fonte de ruído utilizada no trabalho, e principal objeto de estudo, foi um grupo gerador de 60 KVA com motor NWM e Gerador WEG. Esses equipamentos possuem um nível de ruído elevado com uma distribuição de frequências bem característica do tipo de motor diesel. Na figura 8-10 apresentamos os níveis de ruído do grupo gerador medido na sala de teste.

Os níveis foram medidos no início de cada ensaio, no interior da sala de teste em 03 pontos e o resultado apresentado é a média dos pontos medidos. Observa-se que os maiores níveis de ruído estão entre 315 e 2500 Hz.

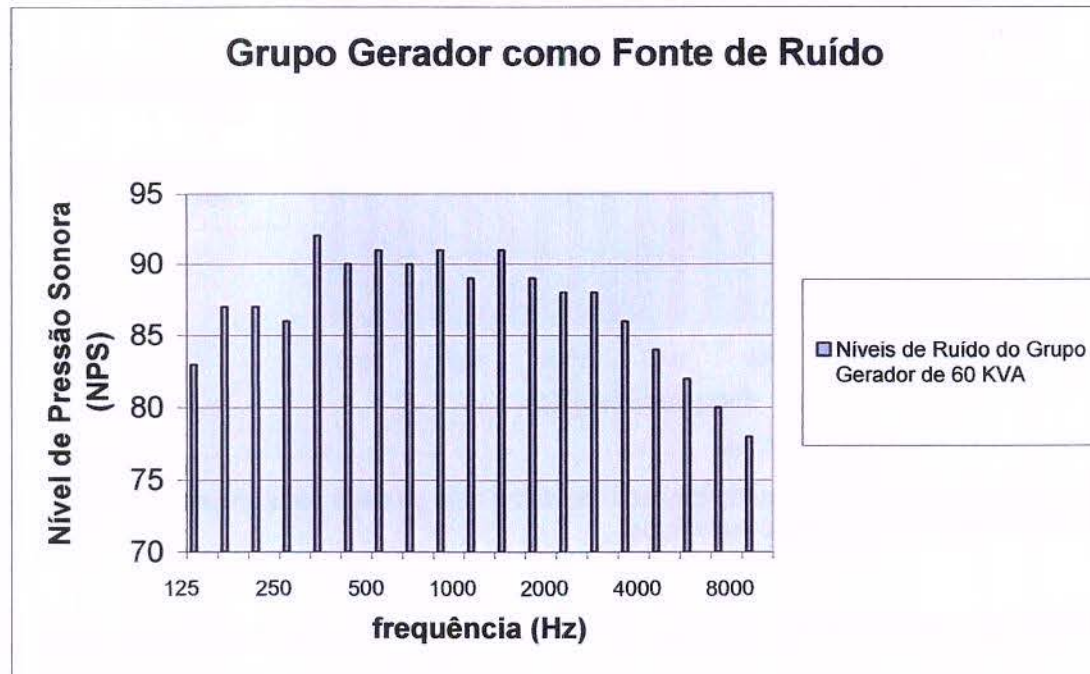


Figura 8-10 : Gráfico dos valores de nível de Pressão Sonora do grupo gerador de 60 KVA medidos na sala de teste.

O gráfico da figura 8-11 mostra os níveis de ruído do grupo gerador medido na sala de teste comparado com os níveis de ruído de um gerador de 60 KVA fornecido pelo fabricante destes equipamentos. Pode - se observar os níveis de ruído dos dois equipamentos segue uma distribuição similar entre as frequências. O nível de ruído fornecido pelo fabricante é ligeiramente superior ao medido na sala de teste, isso se deve às condições de medida, pois os dados do fabricante foram conseguidos com medidas em laboratório. No entanto a situação de medida dos níveis de ruído obtidos com o gerador na sala de teste, demonstra uma situação mais próxima da encontrada em campo, onde as características construtivas são semelhantes.

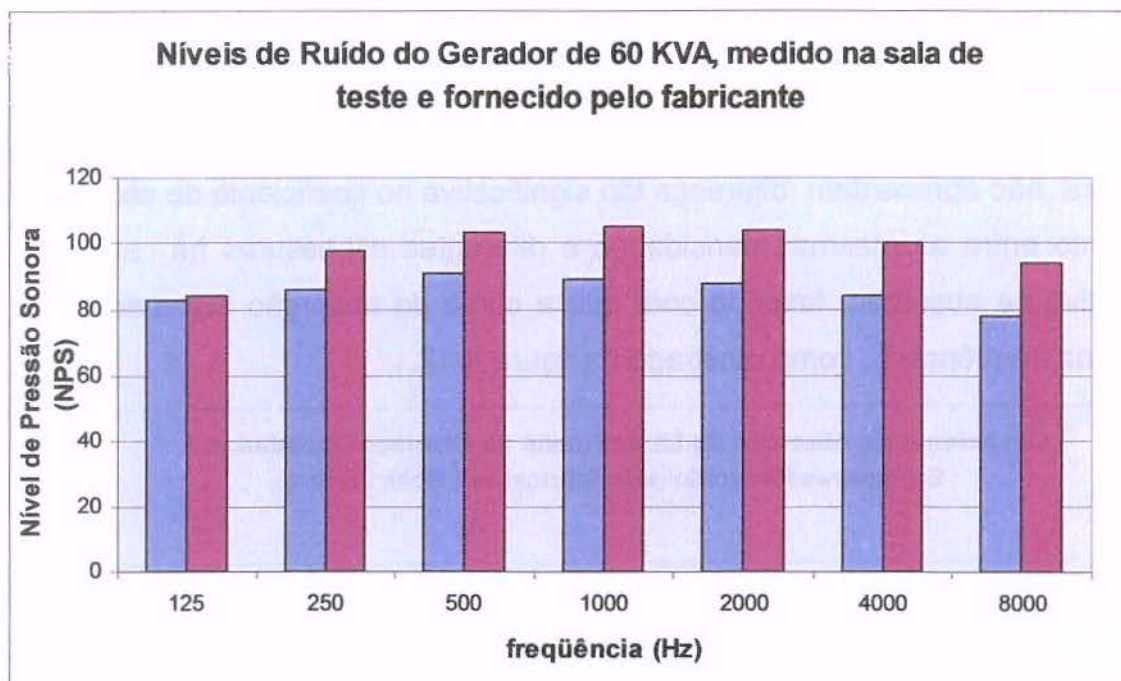


Figura 8-11 . Níveis de Ruído do Gerador de 60 KVA usado como fonte de Ruído e Níveis de Ruído de Gerador de 60 KVA fornecido pelo fabricante.

8.5 AVALIAÇÃO DOS ATENUADORES

Para a análise de desempenho dos resultados dos atenuadores testados neste trabalho, foram estudados a influência da densidade do material absorvente; da espessura das lamelas e dos espaços de ar entre as lamelas e o comprimento do duto. A primeira parte da análise refere-se ao material absorvente.

O material absorvente utilizado neste trabalho são painéis em lã de rocha basáltica THERMAX, aglomerados com resinas especiais. São painéis semi-rígidos indicados para tratamentos termo acústicos na construção civil e indústria. São fornecidos em várias densidades e espessuras, com utilização em baixas, médias e altas temperaturas. Os painéis demonstram sua versatilidade ao atuarem como elementos auxiliares na redução de transmissão de som e como absorvedores acústicos.

A figura 8-12 apresenta os valores de coeficiente de absorção de lã de rocha para diferentes espessuras e densidades fornecidas pelo fabricante (Catálogo Rock

Fibras) . Sabe - se que para o silenciador passivo resistivo o coeficiente de absorção é um parâmetro muito importante no resultado da atenuação conforme descrito no capítulo 6 . Pode - se observar que as diferentes densidades e mesma espessura não apresentam diferença tão significativa no coeficiente de absorção, no entanto entre as mesmas densidades e diferentes espessuras há aumento significativo na absorção, fazendo com que a curva de absorção aumente muito nas baixas frequências , como mostrado na figura 8-12.

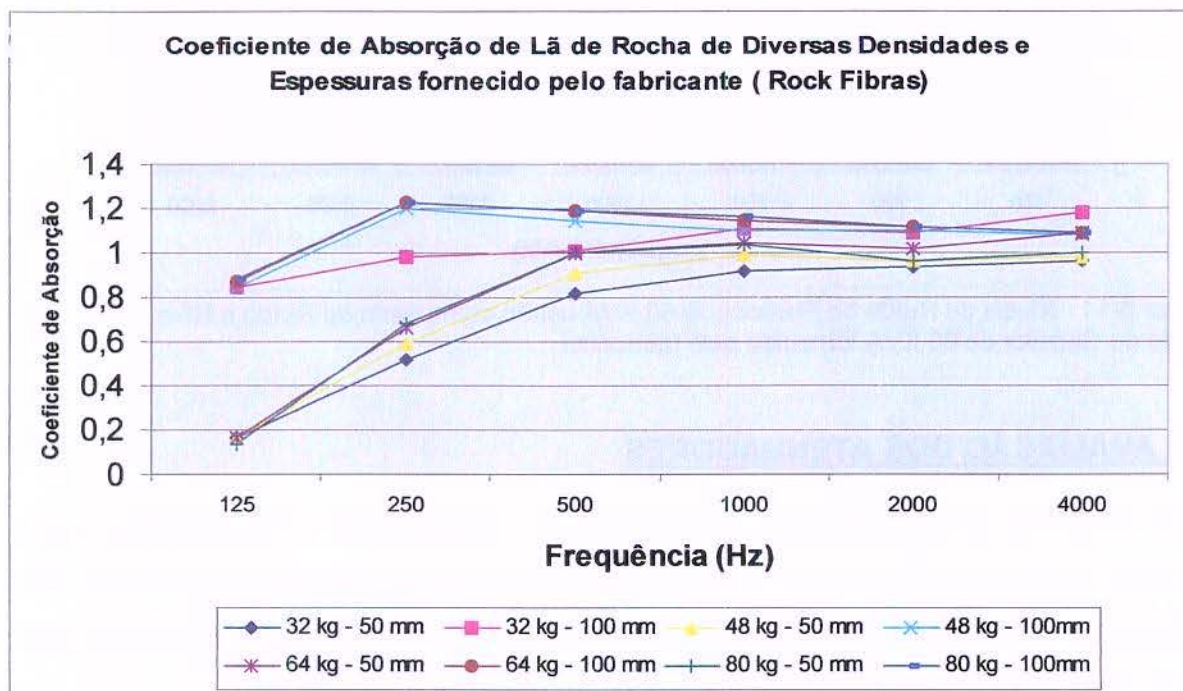


Figura 8-12 . Coeficiente de Absorção de Lã de Rocha de diversas densidades e espessuras fornecidos pelo fabricante (Catálogo Rock Fibras).

8.6 Avaliação dos atenuadores testados segundo a densidade do material absorvente.

Os atenuadores foram avaliados em função do material absorvente. Para cada espessura de lamela as densidades do material absorvente foram alteradas. Os parâmetros de avaliação de desempenho usado foram os resultados da perda por transmissão e perda por inserção.

As figuras 8-13 e 8-14 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 16 lamelas de 25 mm e diferentes densidades de lã de rocha.

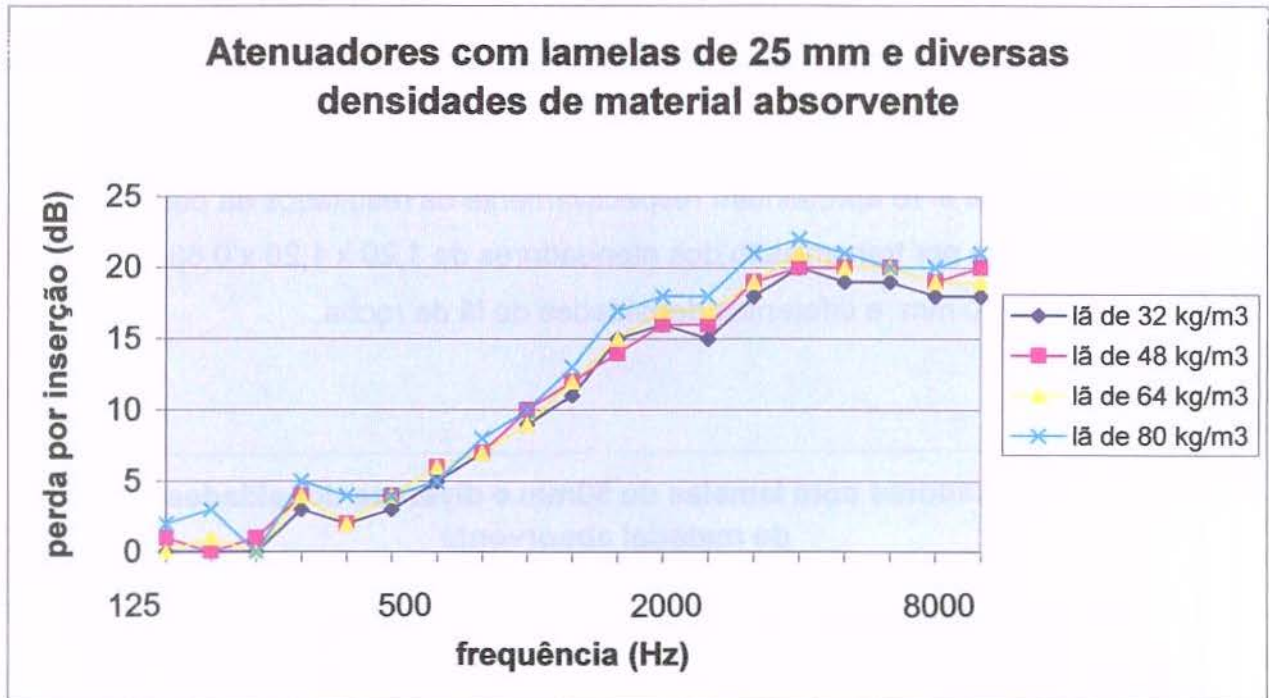


Figura 8-13. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 25 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

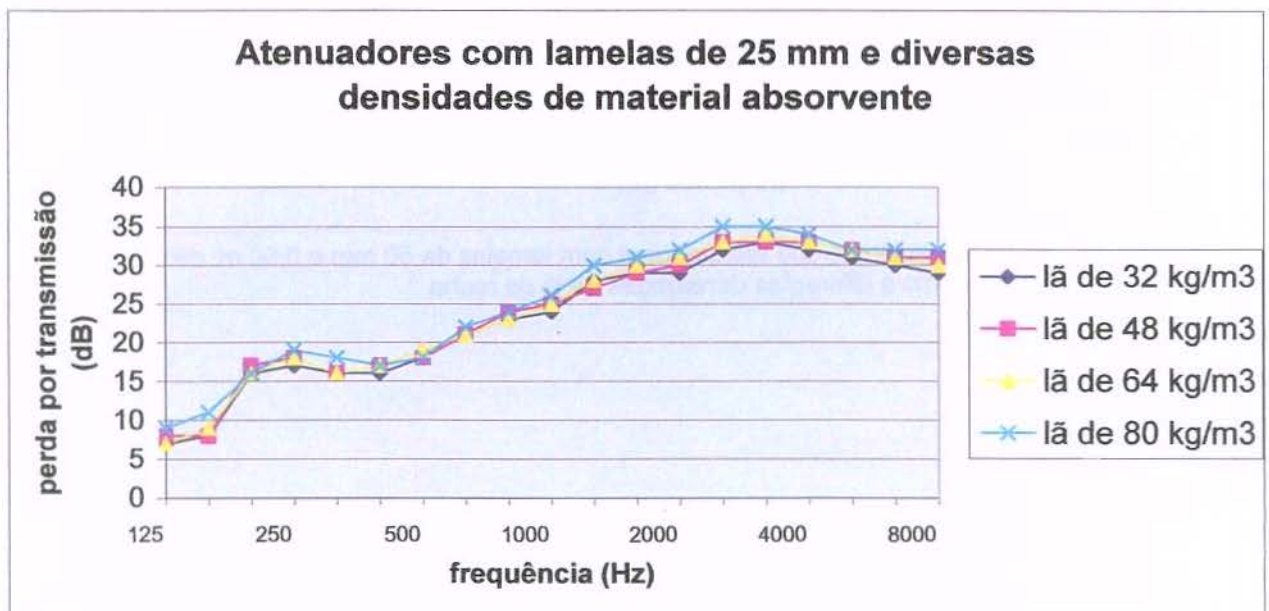


Figura 8-14 . Perda por transmissão dos atenuadores com lamelas de 25 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Observa-se nos gráficos das figuras 8-13 e 8-14 que os resultados de perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores com lamelas de 25mm tem comportamento semelhante em função das frequências. Esse comportamento indica que essa configuração de atenuador sofre pouca influência da densidade de lã de rocha utilizada.

As figuras 8-15 e 8-16 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 12 lamelas de 50 mm e diferentes densidades de lã de rocha.

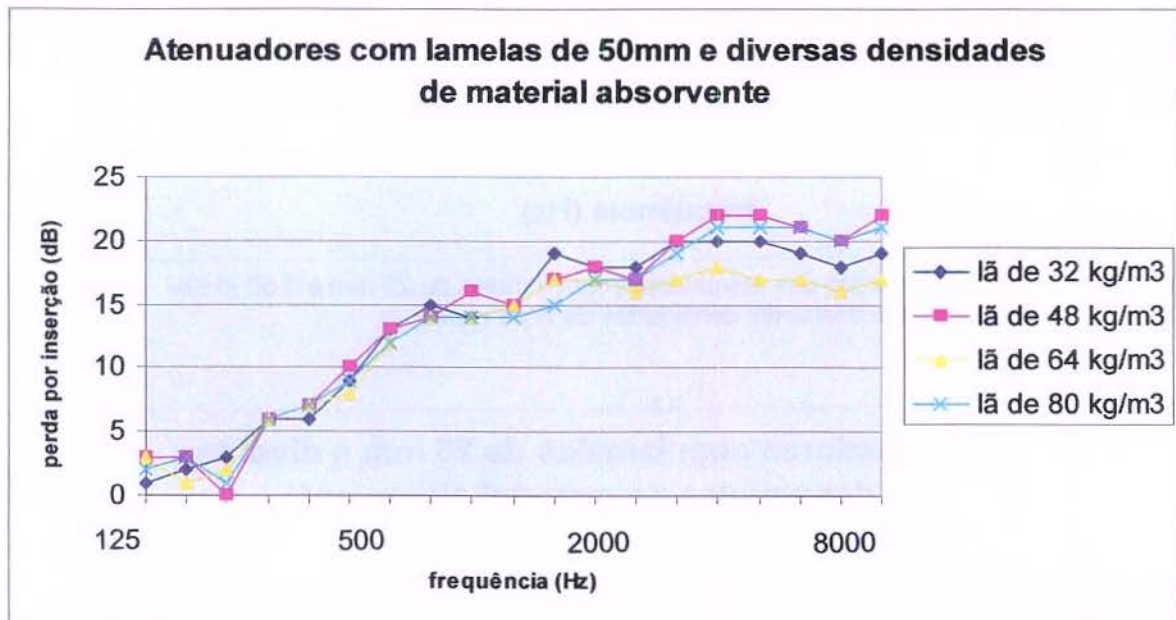


Figura 8-15. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 50 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

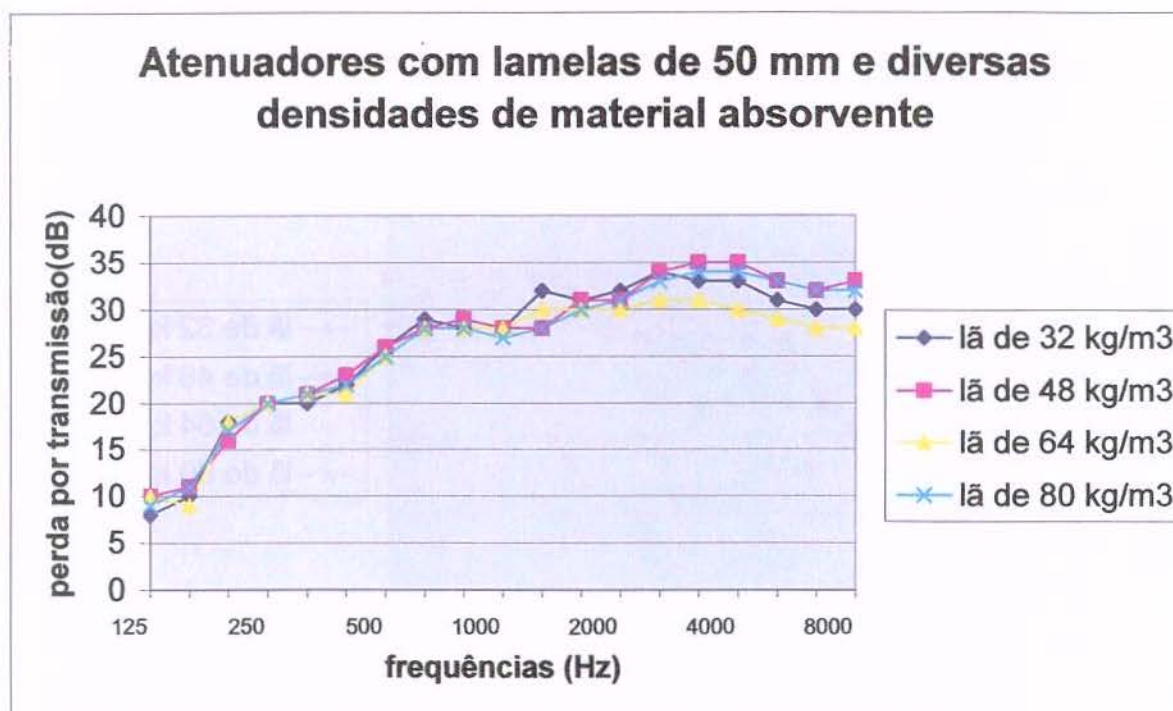


Figura 8-16 . Perda por transmissão dos atenuadores de 50 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Os resultados das figuras 8-15 e 8-16 referentes aos resultados de perda por inserção e perda por transmissão respectivamente do silenciador com lamelas de 50mm não apresentam alterações significativas de atenuação entre as diferentes densidades nas baixas frequências, no entanto, apresentam uma alteração de comportamento nas altas frequências. Observou – se que a lã de rocha com densidade de 48 kg/m³ apresenta o melhor desempenho e a lã de rocha de 64 kg/m³ apresentou o pior desempenho.

As figuras 8-17 e 8-18 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 08 lamelas de 75 mm e diferentes densidades de lã de rocha.

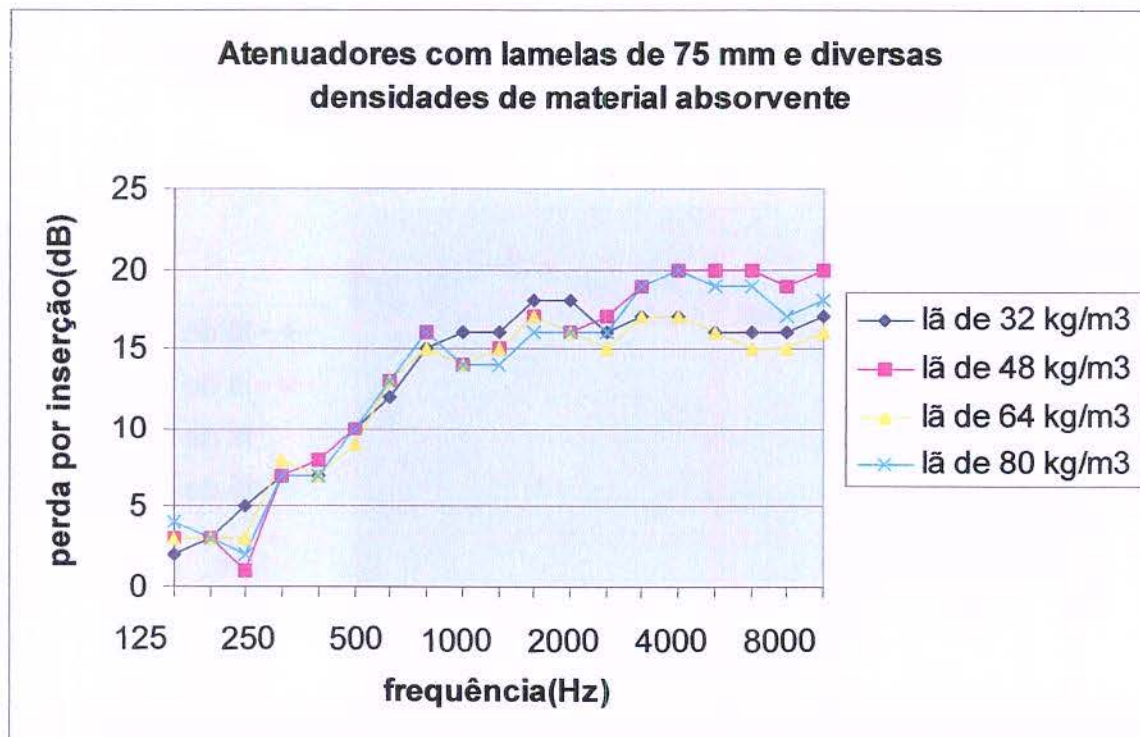


Figura 8-17. Perda por inserção dos atenuadores de 75 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

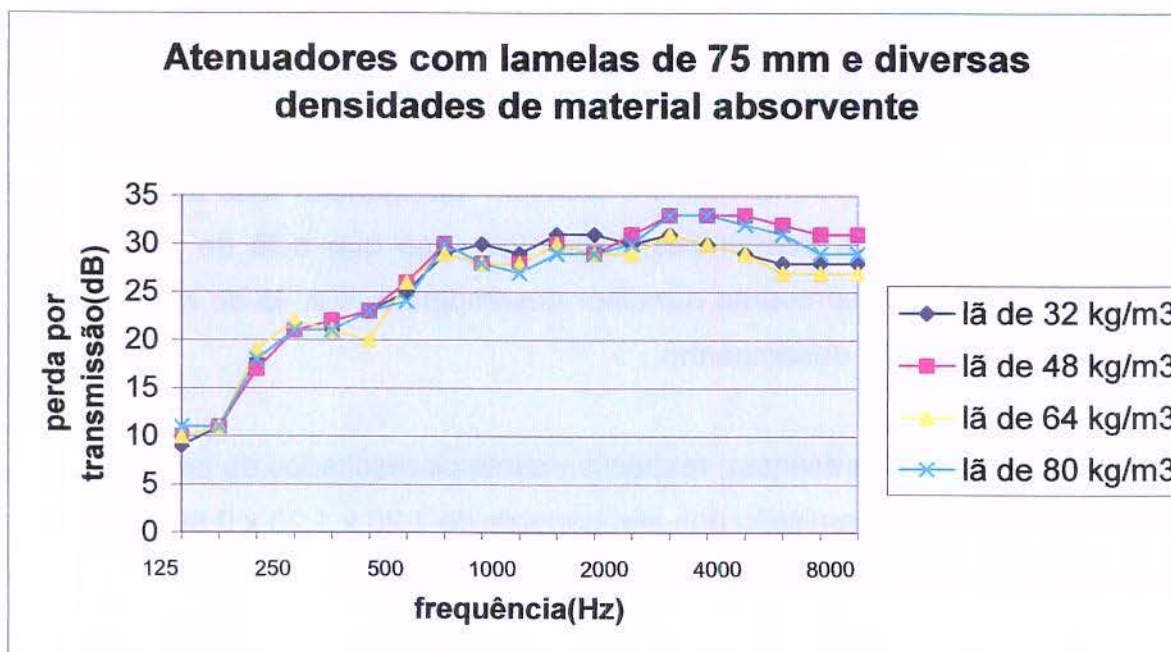


Figura 8-18 . Perda por transmissão dos atenuadores de 75 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

A mesma tendência de comportamento apresentada no atenuador com lamelas de 50 mm se repete nesta configuração com lamelas de espessura 75 mm, como mostra as figuras 8-17 e 8-18 . Nas baixas frequências não há diferença significativa entre as várias densidades, no entanto a partir de 2000 Hz , a lâ de rocha com densidade de 48 kg/m³ apresenta a melhor atenuação em relação às demais densidades.

As figuras 8-19 e 8-20 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 06 lamelas de 100 mm e diferentes densidades de lâ de rocha.

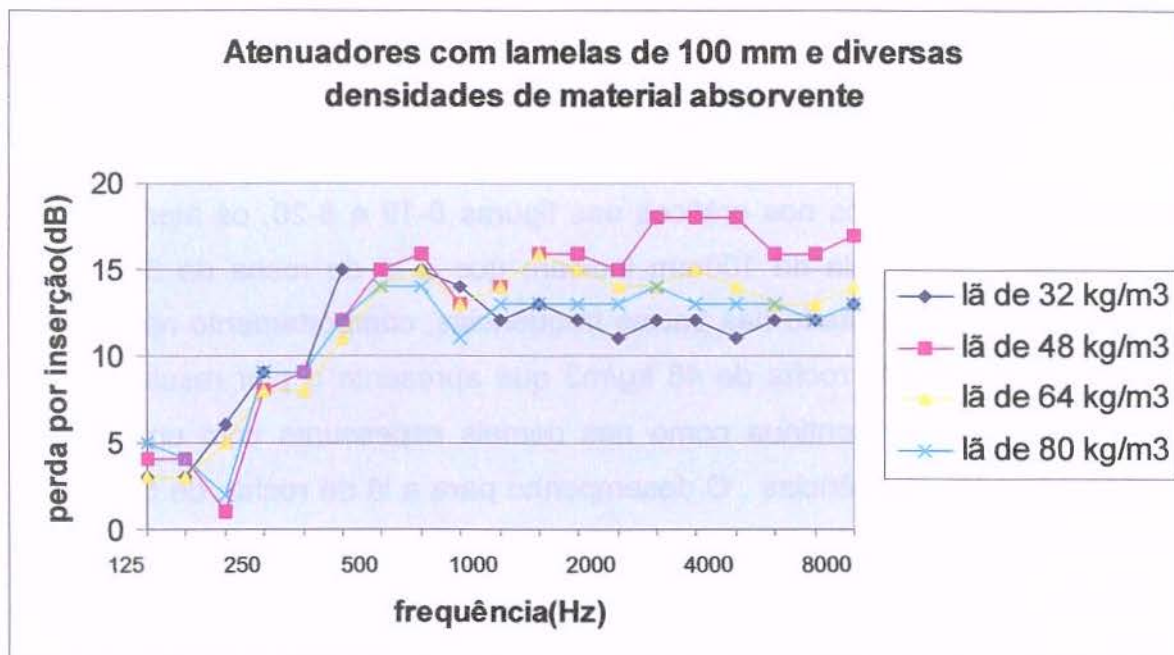


Figura 8-19. Perda por inserção dos atenuadores de 100 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lâ de rocha

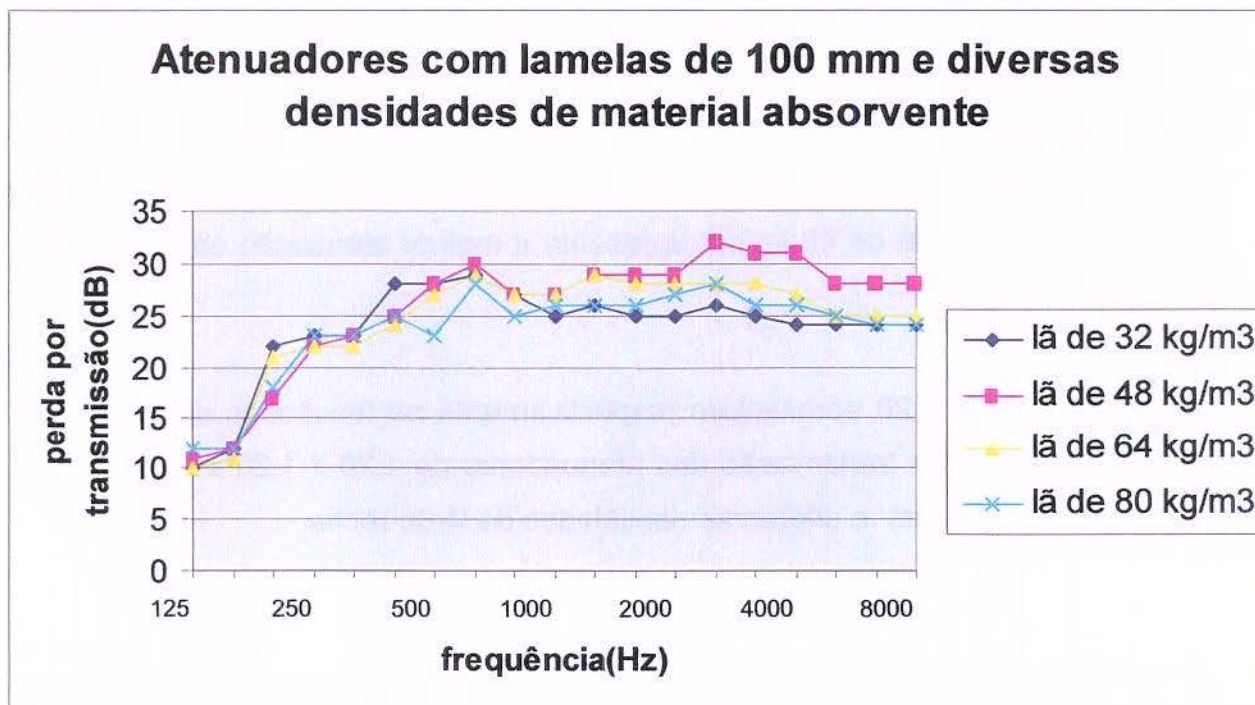


Figura 8-20 . Perda por transmissão dos atenuadores de 100 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Nos resultados mostrados nos gráficos das figuras 8-19 e 8-20, os atenuadores com espessura de lamela de 100mm indicam que a lã de rocha de 32 kg/m³ apresenta o melhor resultado nas baixas frequências, comportamento no entanto é inverso para a lã de rocha de 48 kg/m³ que apresenta o pior resultado nas baixas frequências e continua como nas demais espessuras com um melhor resultado nas altas frequências . O desempenho para a lã de rocha de 64 kg/m³ que nas espessuras de 50 e 75 mm teve o pior desempenho , agora na espessura de 100mm apresentou o segundo melhor desempenho entre as densidades testadas.

De uma maneira geral, os resultados de desempenhos dos atenuadores testados, no parâmetro densidade de lã de rocha, destaca-se a que apresentou o melhor desempenho nos testes o atenuador com a lã de rocha de 48 kg/m³.

8.7 Avaliação dos atenuadores segundo a espessura das lamelas.

Neste item os atenuadores são avaliados em função da espessura das lamelas. Para cada densidade de material absorvente (32; 48; 64 e 80 kg/m³) são avaliadas as espessuras das lamelas de 25 ; 50; 75 e 100mm. O parâmetro utilizado para a análise são os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores testados.

As figuras 8-21 e 8-22 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lã de rocha de densidade 32kg/m³ para diferentes espessuras de lamela.

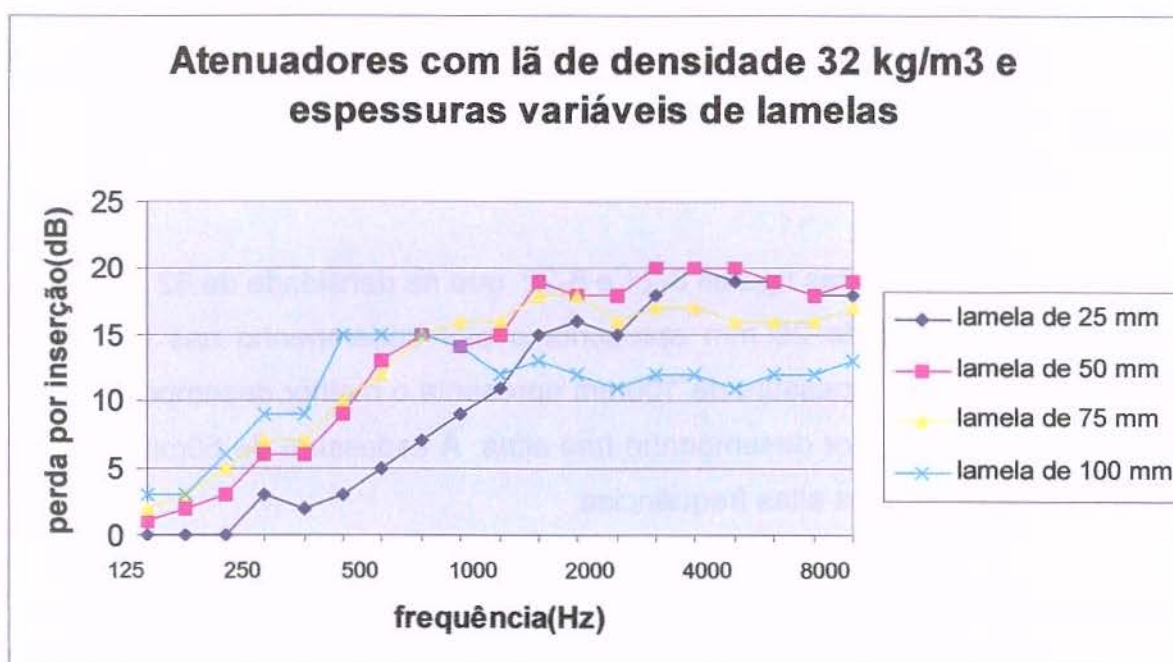


Figura 21. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 32 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

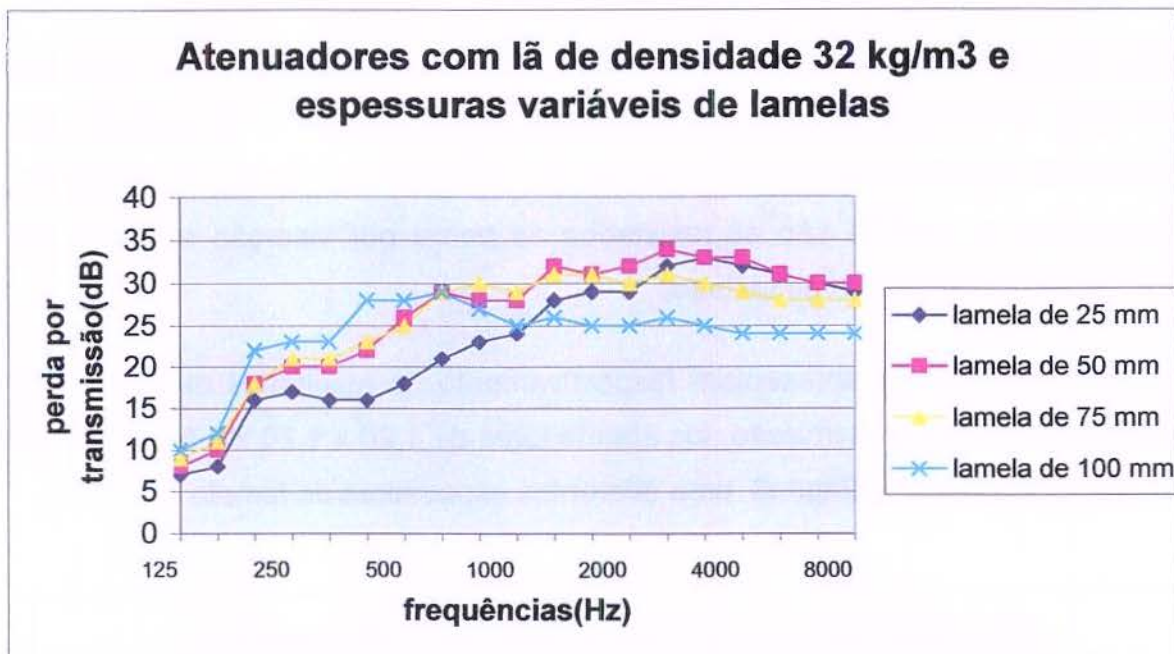


Figura 8-22 . Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 32 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas

Observa-se nos gráficos das figuras 8-21 e 8-22 que na densidade de 32 kg/m³, a lamela com espessura de 25 mm apresenta o pior desempenho nas baixas e médias frequências. A espessura de 100mm apresenta o melhor desempenho nas baixas frequências e o pior desempenho nas altas. A espessura de 50mm obteve o melhor desempenho nas altas frequências.

As figuras 8-23 e 8-24 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lã de rocha de densidade 48 kg/m³ para diferentes espessuras de lamela.

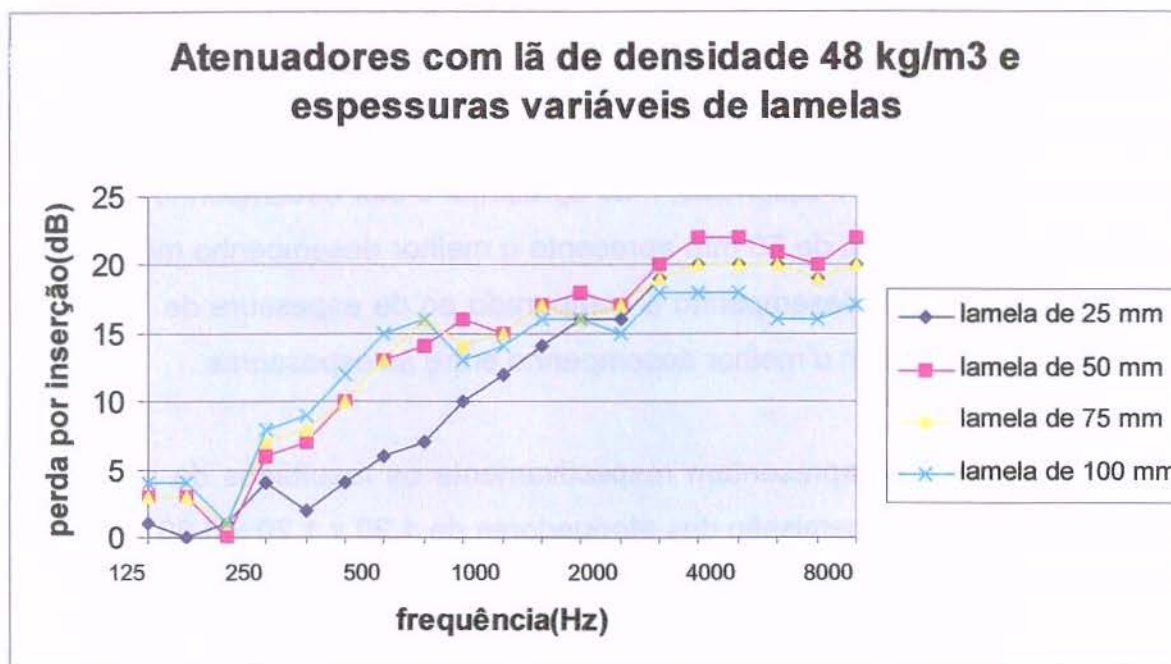


Figura 8-23. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 48 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

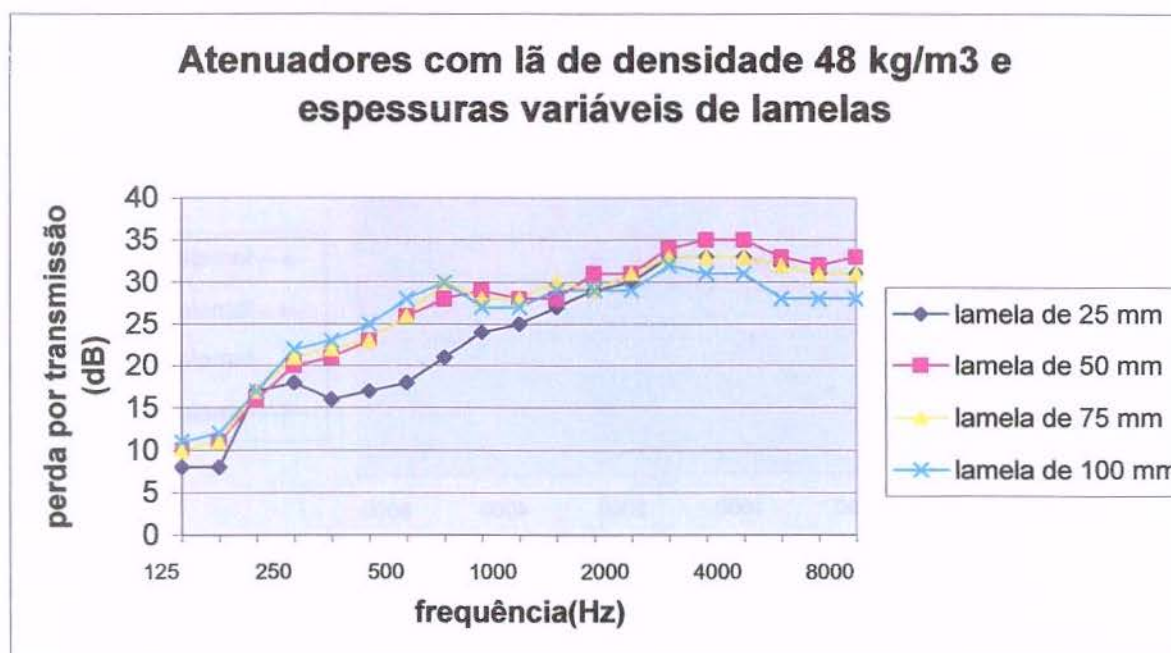


Figura 8-24 . Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 48 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas

Os resultados apresentados nas figuras 8-23 e 8-24 mostram que para a densidade de 48 kg/m³, a espessura de 25 mm, como no caso da densidade de 32 kg/m³ apresenta o pior desempenho. A espessura de 100 mm tem o melhor desempenho nas baixas frequências, mas apresenta o pior desempenho nas altas frequências. A espessura de 50 mm apresenta o melhor desempenho médio; nas baixas frequências seu desempenho é comparado ao de espessura de 100mm e nas altas frequências tem o melhor desempenho entre as espessuras.

As figuras 8-25 e 8-26 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lã de rocha de densidade 64 kg/m³ para diferentes espessuras de lamela.

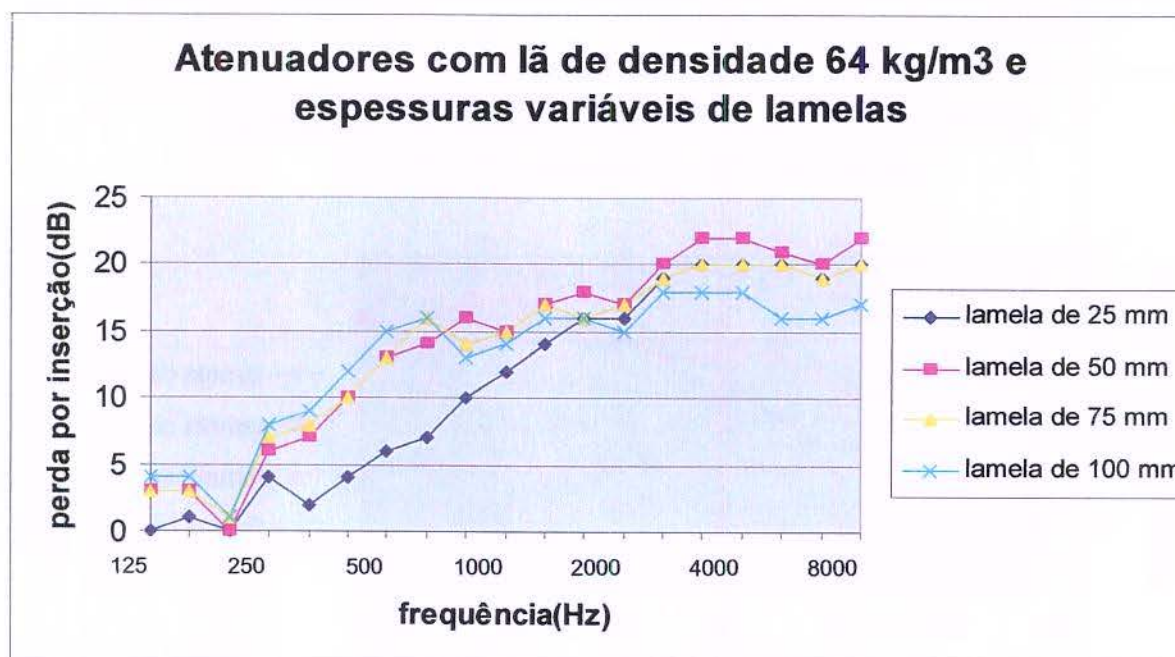


Figura 8-25. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 64 kg/m³ e diferentes espessuras de lamela.

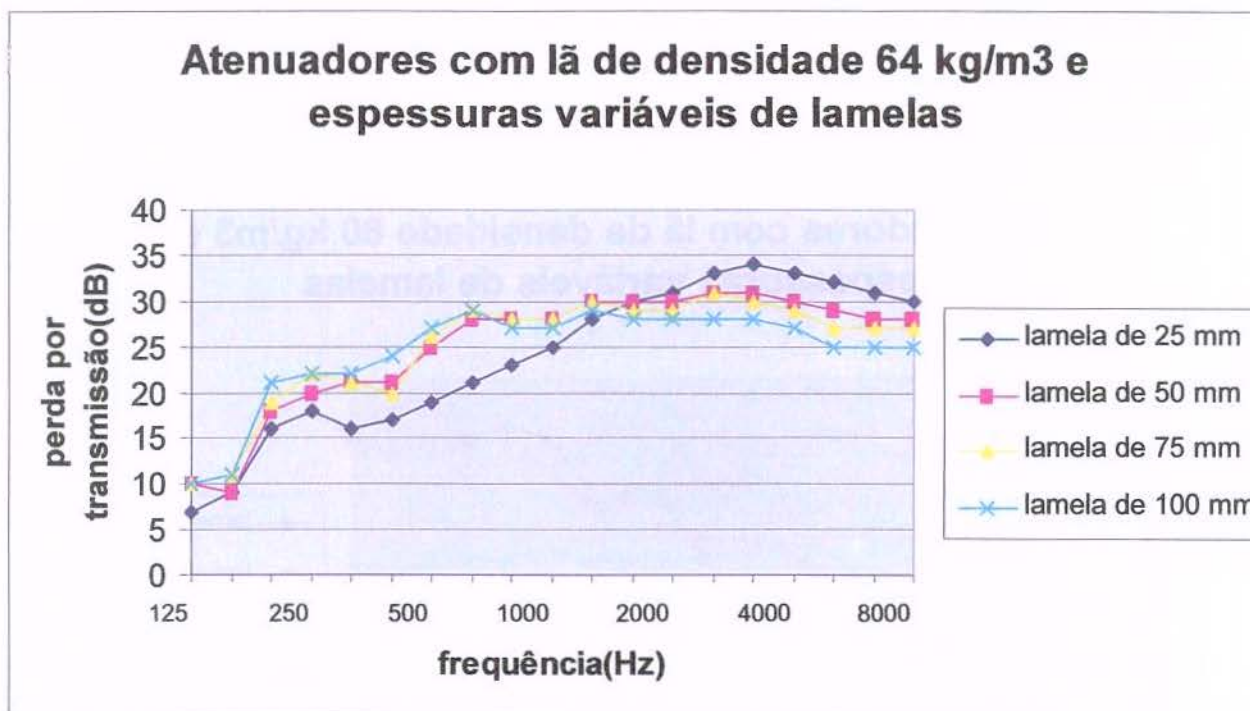


Figura 8-26 . Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 64 kg/m³ e diversas espessuras de lamelas

O gráfico da figura 8-25, que apresenta os valores de perda por inserção indica que a lã de rocha de densidade 64 kg/m³ , lamela de 25 mm de espessura, continua com o pior desempenho em baixas frequências, mesma tendência apresentada para as densidades de 32 kg/m³ e 48 kg/m³. A lamela de 100mm também mantém a mesma tendência que os resultados para as densidades de 32 kg/m³ e 48 kg/m³, isto é, possui o melhor desempenho em baixas frequências e o pior em altas frequências. O melhor desempenho médio continua com a espessura de 50mm.

No gráfico da figura 8-26 que apresenta os valores de perda por transmissão, a espessura de 25 mm ainda tem o pior desempenho em baixas frequências, no entanto apresenta o melhor desempenho nas altas, resultado que difere da tendência demonstrada anteriormente.

As figuras 8-27 e 8-28 apresentam respectivamente os resultados da perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lã de rocha de densidade 80 kg/m³ para diferentes espessuras de lamelas.

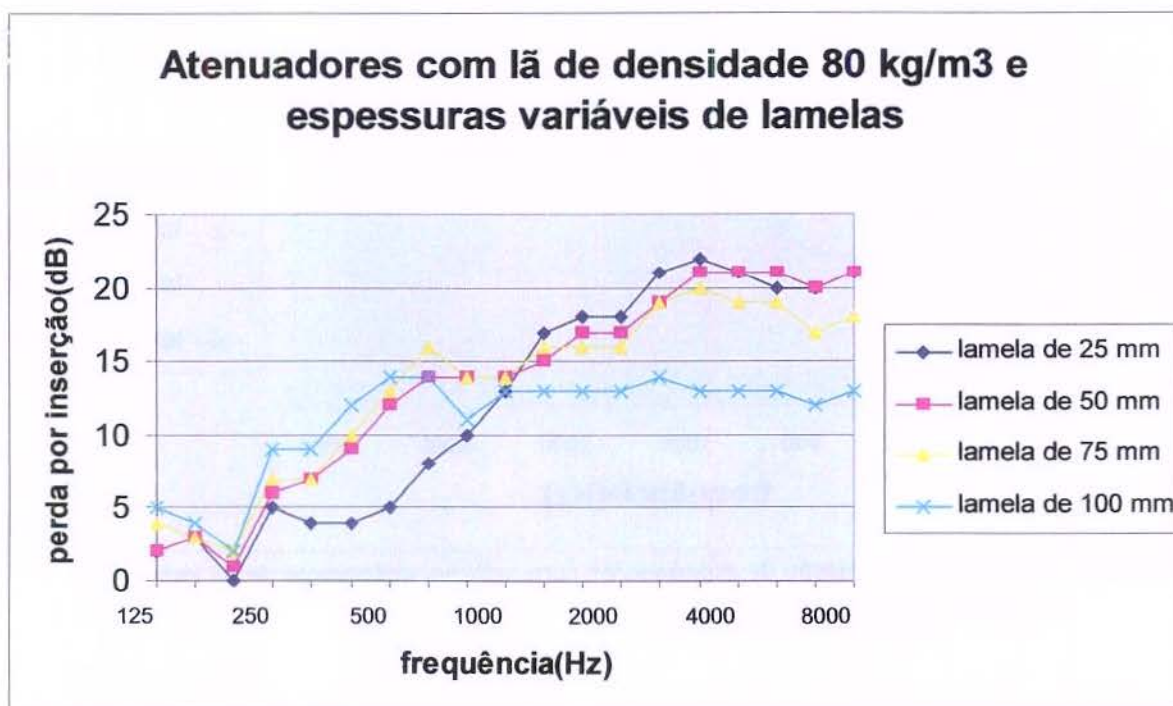


Figura 8-27. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 80 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

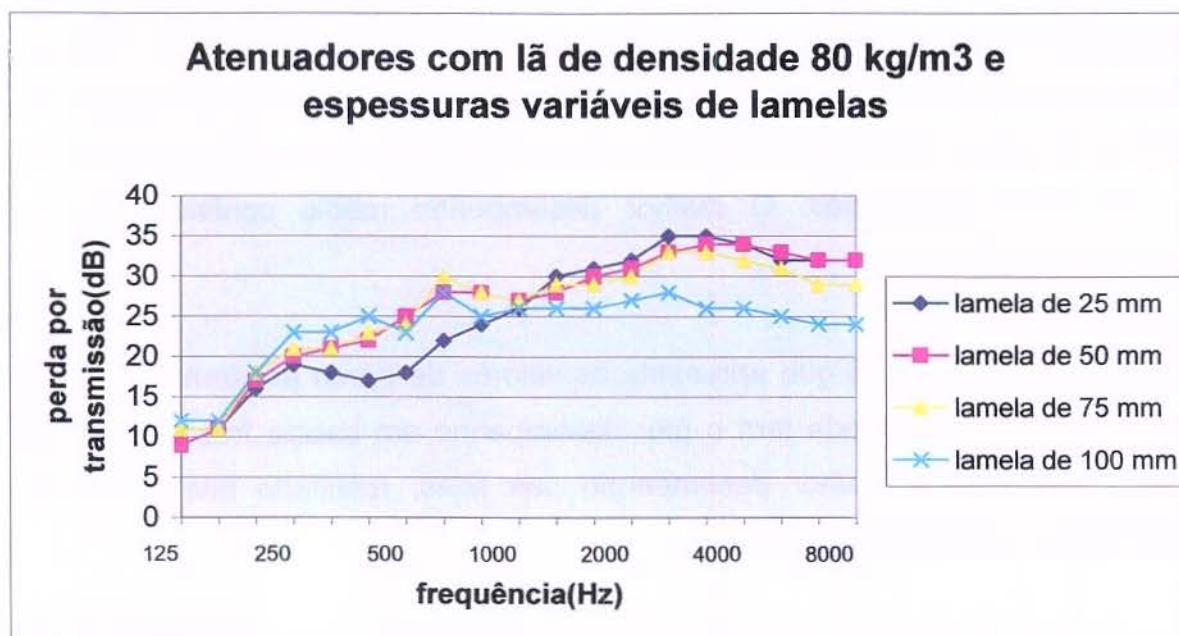


Figura 8-28. Perda por transmissão de atenuadores com material absorvente de 80 kg/m³ e diversas espessuras de lamela

Observa-se que os resultados apresentados nos gráficos das figuras 8-27 e 8-28 para densidade de 80 kg/m³, a espessura de lamela de 25 mm, tem o pior desempenho para as baixas frequências e a espessura de 100mm o melhor desempenho nas baixas frequências. Para as altas frequências a espessura de 100mm apresenta os piores resultados e a de 25 mm os melhores.

Fazendo uma análise global em relação a espessura das lamelas, a que apresentou um melhor desempenho médio foram as espessuras de 50 e 75 mm para todas as densidades testadas . A espessura de 100mm apresentou os melhores resultados em baixas frequências e os piores resultados em altas frequências para todas as densidades testadas. A espessura de 25 mm apresentou o pior desempenho nas baixas frequências para todas as densidades e o melhor desempenho nas altas frequências para as densidades de 64 e 80 kg/m³.

8.8 Avaliação dos Atenuadores segundo o comprimento do duto.

Os Atenuadores são avaliados segundo o comprimento do duto. O duto foi prolongado para 1,20 e 1,80m e para esse prolongamento a lã utilizada foi a de 48 kg/m³, pois apresentou os melhores desempenhos nos testes preliminares com o comprimento de 0,60m. As espessuras das lamelas testadas para esses comprimentos foram de 50; 75 e 100mm. A espessura de 25 mm foi descartada por ter apresentado o pior desempenho. Os parâmetros de avaliação de desempenho foram a perda por inserção e perda por transmissão.

As figuras 8-29 e 8-30 apresentam o resultado de perda por inserção e perda por transmissão do desempenho de atenuadores de 0,60; 1,20 e 1,80 m com as lamelas de espessura 50 mm e lã de 48 kg/m³

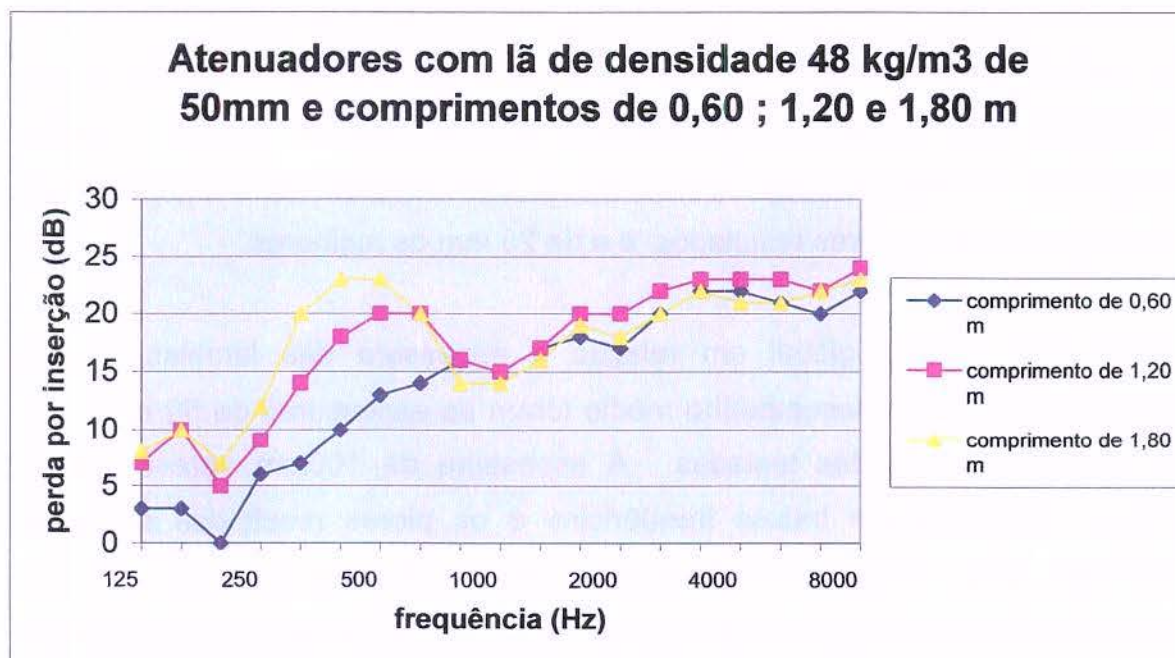


Figura 8-29 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 50mm e diferentes comprimentos de dutos.

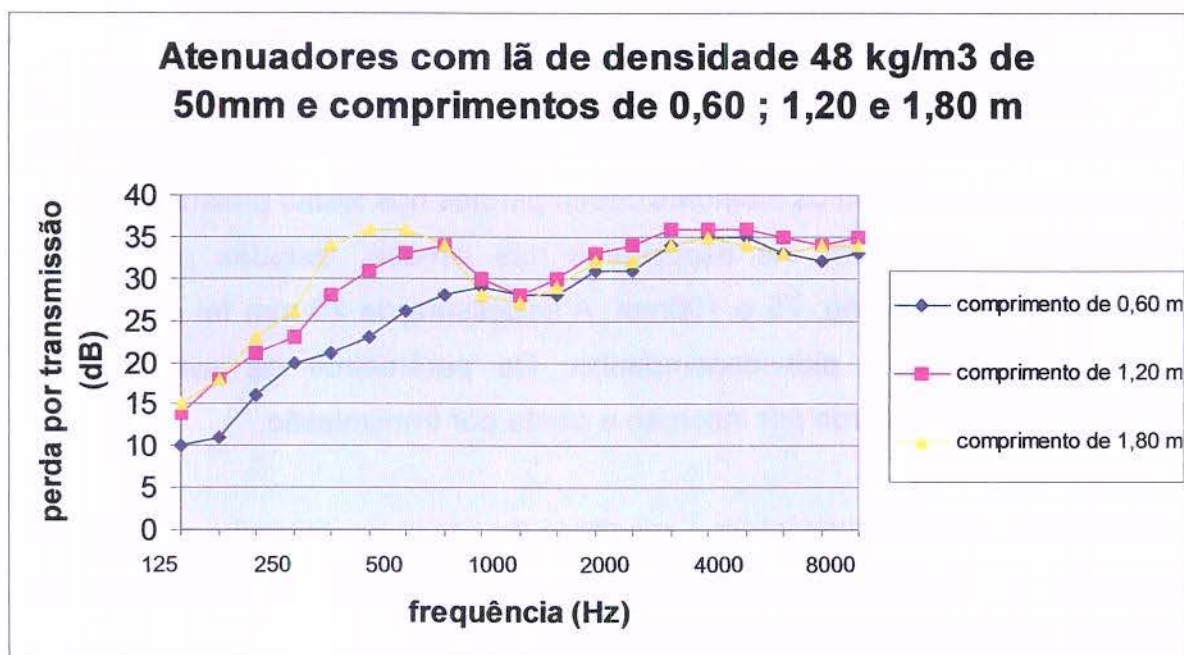


Figura 8-30 . Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 50mm para diferentes comprimentos de dutos.

Os gráficos das figuras 8-29 e 8-30 com resultados de perda por inserção e perda por transmissão dos atenuadores com lamelas de 50 mm e densidade 48 kg/m³, indicam que o comprimento do duto é um fator determinante para a atenuação de um silenciador. Os resultados mostram que aumentando o comprimento do duto há um aumento considerável da atenuação abaixo de 1000 Hz. Acima desta frequência não há um aumento significativo na atenuação.

As figuras 8-31 e 8-32 apresentam o resultado de perda por inserção e perda por transmissão de atenuadores de 0,60; 1,20 e 1,80 m com as lamelas de espessura 75 mm e lã de 48 kg/m³

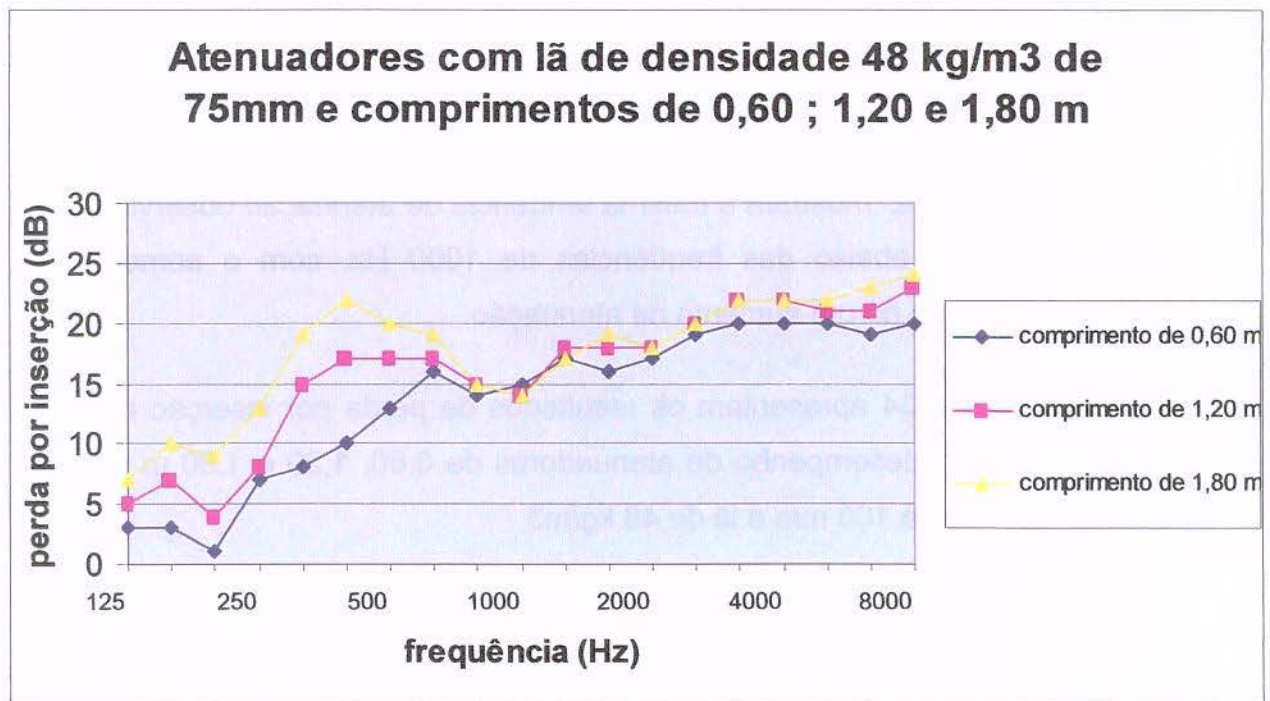


Figura 8-31 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos

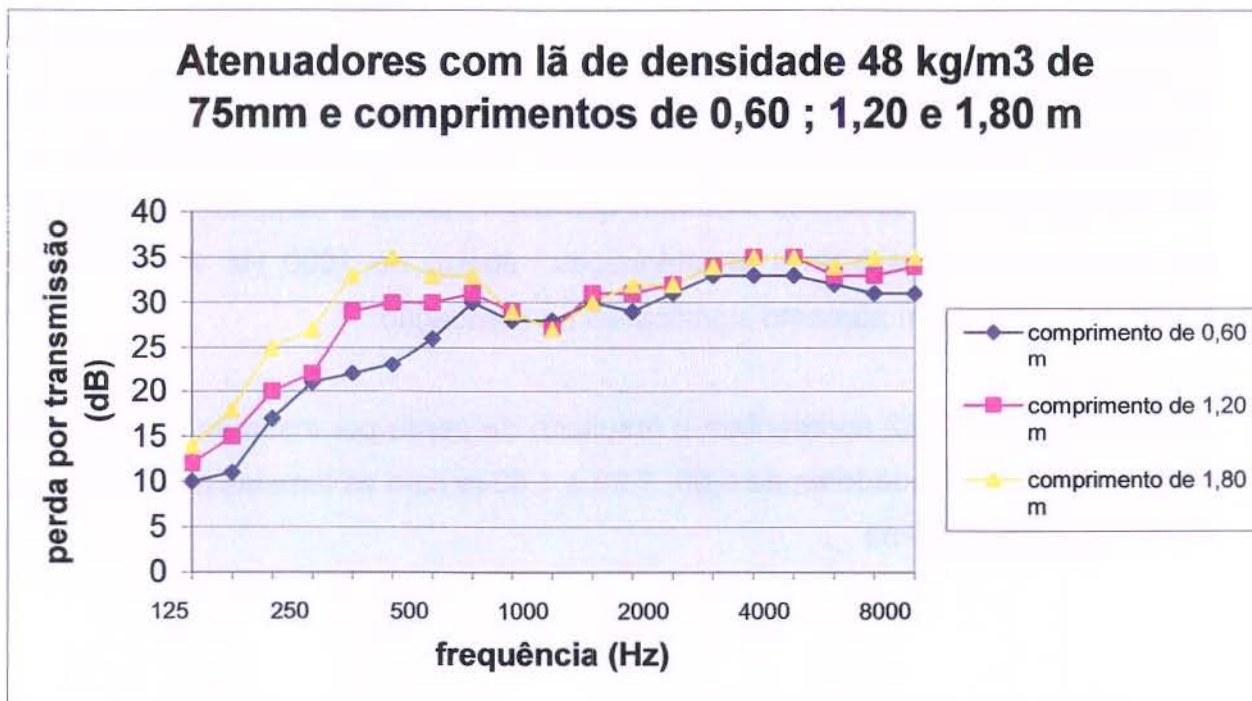


Figura 8-32 . Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos

As figuras 8-31 e 8-32 mostram a mesma tendência de atenuação observada nas lamelas de 50mm, abaixo das frequências de 1000 Hz, com o aumento do comprimento do duto há um aumento na atenuação.

As figuras 8-33 e 8-34 apresentam os resultados de perda por inserção e perda por transmissão do desempenho de atenuadores de 0,60; 1,20 e 1,80 m com as lamelas de espessura 100 mm e lã de 48 kg/m³

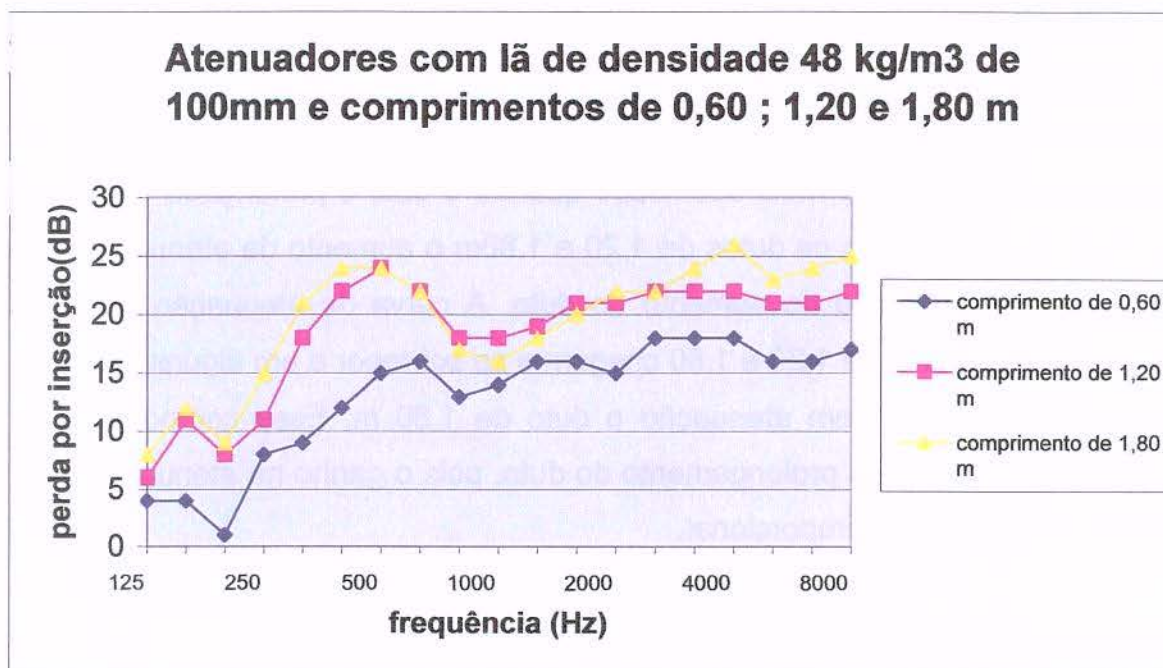


Figura 8-33 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 100mm e diversos comprimentos de dutos

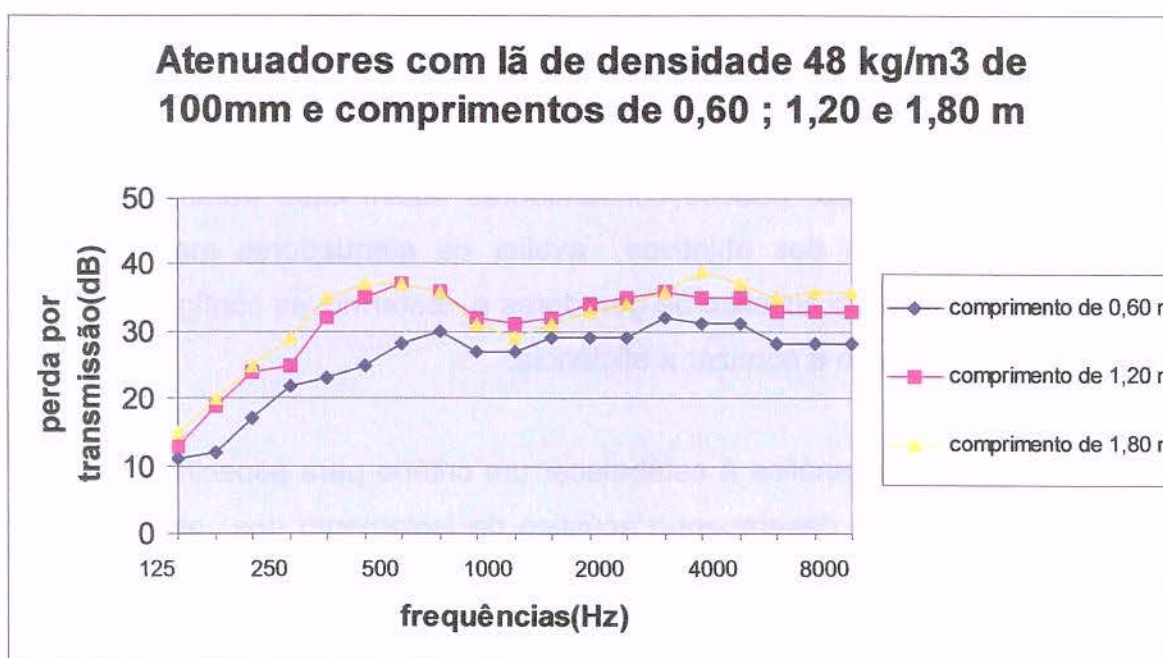


Figura 8-34 . Perda por transmissão dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 100mm e diversos comprimentos de dutos

Os resultados apresentados nas figuras 8-33 e 8-34, indicam que os atenuadores com espessura de lamela de 100 mm apresentam aumento considerável na atenuação em todas as frequências quando há o prolongamento do duto. O aumento da atenuação é mais acentuado quando o duto é prolongado de 0,60m para 1,20 m , mas, entre os dutos de 1,20 e 1,80m o aumento da atenuação não tem a mesma proporção do aumento do duto. A curva de atenuação entre as frequências dos dutos de 1,20 e 1,80 chegam a se sobrepor e em alguns pontos o duto de 1,20m supera em atenuação o duto de 1,80 m. Esse comportamento sugere uma limitação no prolongamento do duto, pois o ganho na atenuação pelo aumento do duto não é proporcional.

8.9 Comparação entre desempenho e custo.

Segundo informações dos fabricantes de silenciadores e geradores, os silenciadores utilizados comercialmente para redução de ruído dos grupos geradores normalmente apresentam uma baixa eficiência e quando eficientes na redução de ruído tem um alto custo chegando em média 60% do valor do gerador. Em função disto poucos consumidores fazem esse tratamento. Este trabalho teve como um dos objetivos avaliar os atenuadores mais comuns utilizados para tratamento acústico de geradores e testar novas configurações no sentido de reduzir o custo e otimizar a eficiência.

Um dos desafios dessa análise é estabelecer um critério para especificar através de um número único o desempenho acústico de isolamento dos atenuadores. Optou-se pelo método de isolamento de paredes simples onde se estabelece o valor RW. O índice Rw, ou Índice de Redução Sonora Ponderado, é um índice único, calculado a partir dos Índices de Redução Sonora nas faixas de frequência de terço de oitava de 100 Hz a 3150 Hz. O índice Rw busca quantificar, com apenas um número, o desempenho de isolamento sonora da amostra, distribuído no espectro sonoro. Método é baseado na ISO 717 – 1:1996

Tabela 8.3 . Valores de RW calculados para Perda por inserção e perda por transmissão de cada um dos atenuadores testados

ATENUADOR	RW (PT)	RW (PI)
Ate1 – 32kg /25 mm	25	12
Ate2 – 32kg/ 50mm	29	16
Ate3 – 32kg/ 75mm	28	15
Ate4 – 32kg/ 100mm	24	11
Ate5 – 48kg/ 25 mm	26	13
Ate6 – 48kg/ 50mm	29	16
Ate7 – 48kg/ 75mm	29	16
Ate8 – 48kg/ 100mm	28	15
Ate9 – 64kg/ 25mm	26	13
Ate10 – 64kg/ 50mm	28	15
Ate11 – 64kg/ 75mm	27	14
Ate12 – 64kg/ 100mm	26	13
Ate13 – 80kg/ 25mm	28	14
Ate14 – 80kg/ 50mm	29	16
Ate15 – 80kg/ 75mm	28	15
Ate16 – 80kg/ 100mm	25	12
Ate17 – 48kg/ 50mm – 1,20m	32	19
Ate18 – 48kg/ 50mm – 1,80m	31	18
Ate19 – 48kg/ 75mm – 1,20m	31	18
Ate20 – 48kg/ 75mm – 1,80m	32	19
Ate21 – 48kg/ 100mm – 1,20m	32	20
Ate22 – 48kg/ 100mm – 1,80m	33	20

Para a análise comparativa de desempenho e custo optou-se por utilizar o valor calculado do RW para perda por inserção de cada um dos 22 atenuadores testados. Utilizou-se o valor de perda por inserção e não perda por transmissão

porque os valores de perda por inserção são mais restritivos, pois compara os resultados com e sem o atenuador. A literatura também recomenda a análise de silenciadores através dos resultados de desempenho de perda por inserção. Os fabricantes também utilizam esse parâmetro para divulgar o desempenho de seus atenuadores. Devemos ressaltar que os valores de R_w aqui determinados não devem ser comparados com resultados de laboratório, já que os ensaios nesse trabalho foram realizados em campo reproduzindo uma situação real de aplicação do atenuador.

O gráfico da figura 8-35 apresenta uma comparação entre eficiência de isolamento e custo dos atenuadores testados utilizando o valor de R_w calculado para perda por inserção dos atenuadores testados.

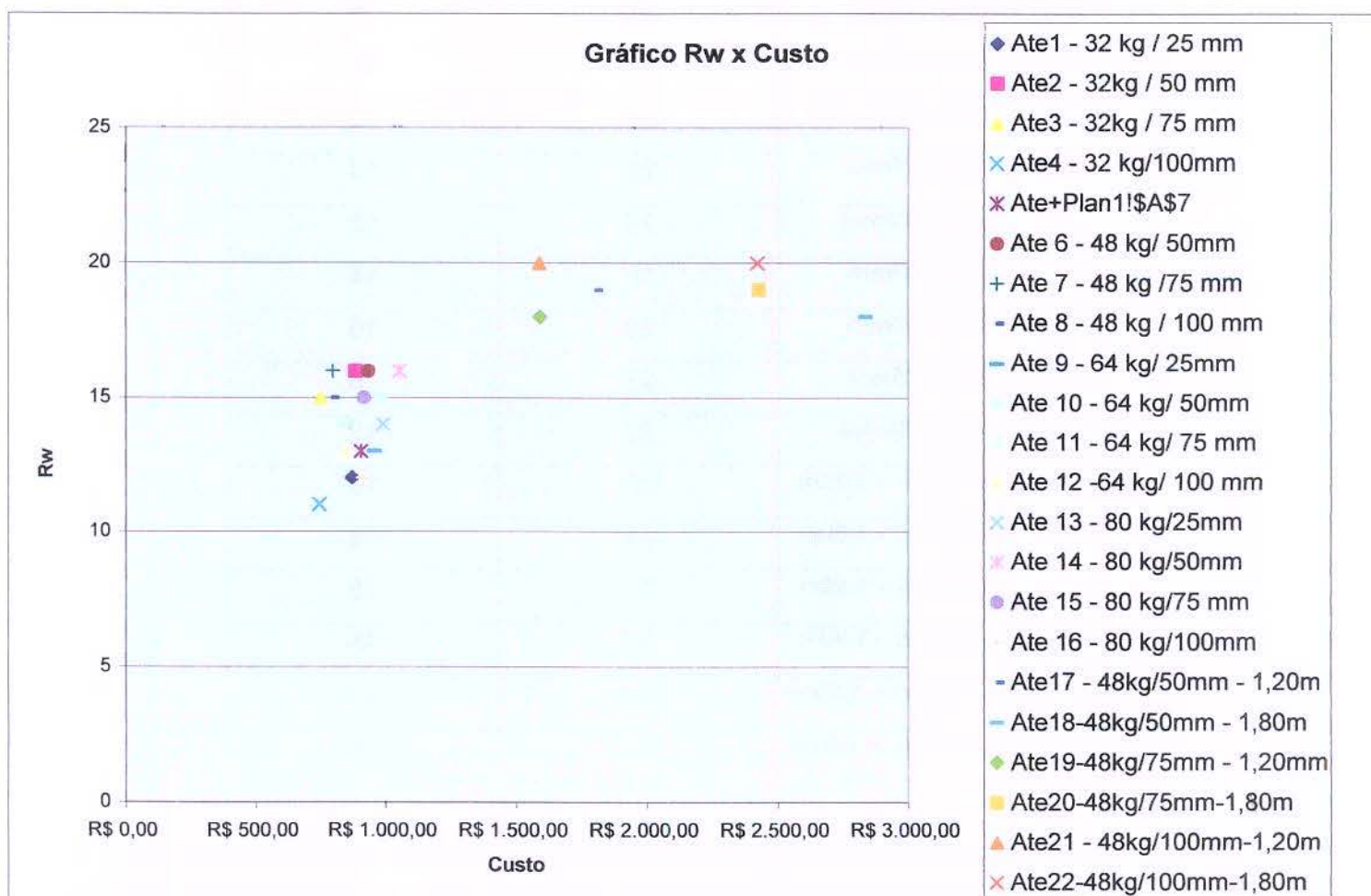


Figura 8-35 . Dados de atenuação(R_w) dos 22 silenciadores testados em função do custo em reais (Custo fornecido pela Empresa ACUSTECNI Controle de Ruídos e Comércio Ltda)

O gráfico da figura 8-35, apresenta o desempenho dos silenciadores testados em função o custo em reais. Podê-se observar duas áreas distintas no gráfico, uma onde existe uma grande concentração de pontos no sentido horizontal, ou seja, o custo entre esses atenuadores estão próximos. No entanto há um espalhamento no sentido vertical, ou seja, o desempenho desses silenciadores tem uma grande variação, nessa área estão situados os atenuadores com 0,60 m de comprimento. Há uma outra área no gráfico onde o desempenho dos silenciadores é bem maior, mas o custo também cresce consideravelmente, nessa área estão localizados os atenuadores com prolongamento do duto para 1,20 e 1,80 m de comprimento.

Observa-se na área onde há um melhor desempenho dos silenciadores, que os atenuadores que tiveram o menor custo e maior eficiência foram aqueles cujo comprimento do duto é de 1,20m. Os atenuadores com comprimento de duto de 1,80m, apresentaram a mesma eficiência em desempenho que os de 1,20m, no entanto seu custo ficou bem mais alto, aproximadamente o dobro.

A figura 8-36 apresenta um detalhamento do gráfico anterior de desempenho e custo, com uma ampliação de escala na área onde houve uma grande concentração de pontos, permitindo uma melhor visualização da variação dos resultados.

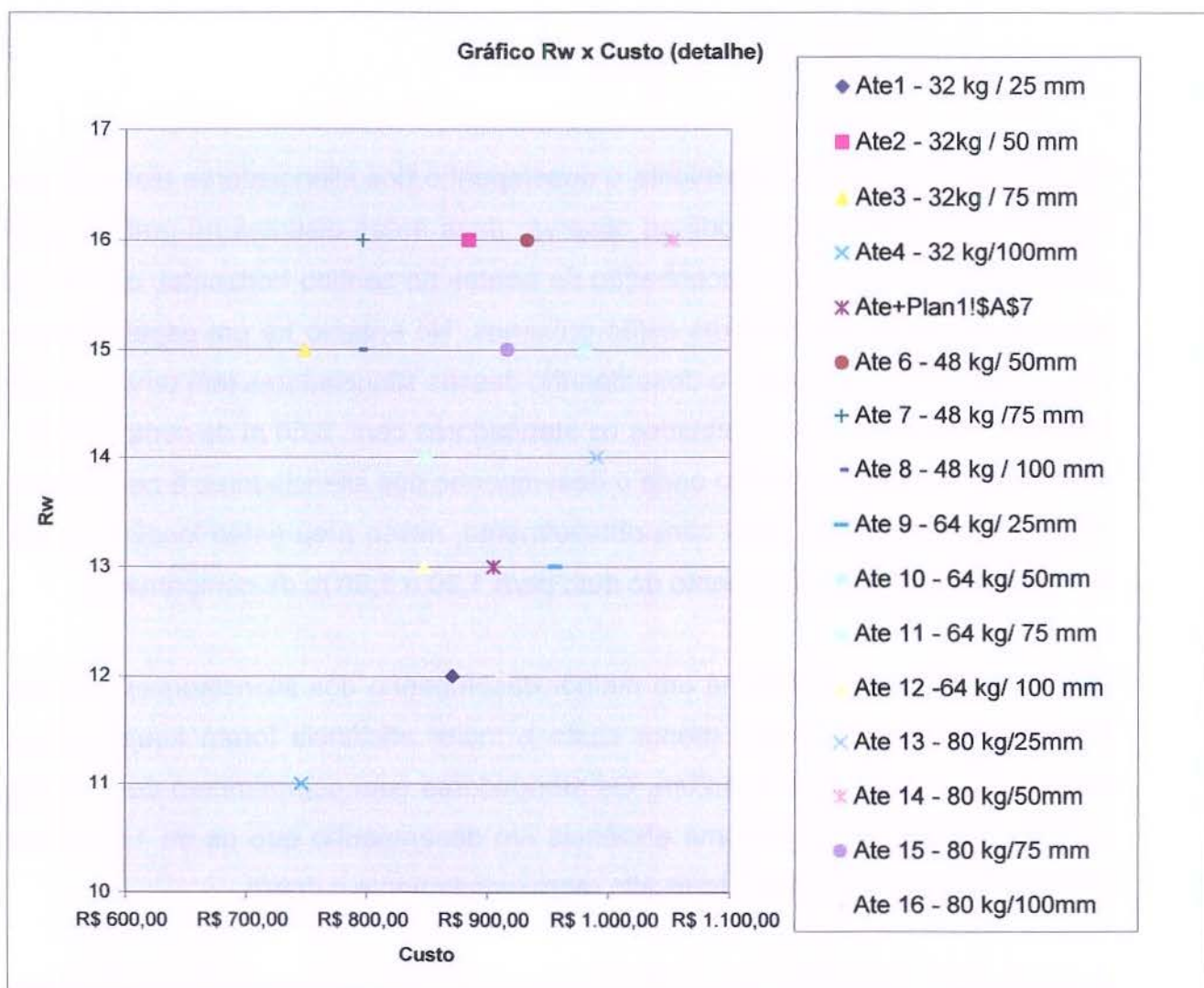


Figura 8-36. Detalhe da figura xx, onde houve uma concentração de pontos.

Observa-se no gráfico da figura 8-36 que a região onde há uma grande concentração de pontos, o custo dos silenciadores estão entre R\$ 700,00 e R\$ 1.100,00. A eficiência dos silenciadores tem uma grande variação (Rw entre 11 e 16 dB). Podemos verificar nessa região que o Ate 7 – 48kg/75mm, com lã de rocha de 48 kg/m³ e lamelas com espessura de 75 mm e comprimento de 0,60m obteve o melhor desempenho e o menor custo. O ate 16 – 80 kg/100mm com lã de rocha de 80 kg/m³ e lamelas com espessura de 100mm apresentou o maior custo com uma menor eficiência.

CAPÍTULO 9 – Conclusões

O trabalho desenvolvido discutiu e aplicou o método de avaliação de desempenho acústico de atenuadores descrito na norma ISO 11820 – Measurements on silencers in situ. Os procedimentos e os parâmetros perda por inserção e perda por transmissão mostraram-se adequados para esse tipo de avaliação em campo.

Ao avaliar o desempenho de 22 atenuadores de grupos geradores na situação de campo concluiu-se que dos parâmetros físicos que interferem no seu desempenho, a espessura das lamelas e o comprimento do duto tem maior influência que a densidade do material absorvente.

A densidade do material absorvente ainda que tendo menor influência no desempenho de atenuadores, apresentou superioridade para a densidade de 48 kg/m³, comparada com as demais.

Dentre as espessuras avaliadas, a de 100 mm foi a que apresentou melhor desempenho, principalmente em baixas frequências, portanto sendo mais eficiente para o uso proposto que é isolamento acústico de grupos geradores.

Dentre os comprimentos de dutos avaliados, os de comprimento 1,20 e 1,80m também apresentaram bons resultados de atenuação em baixas frequências se mostrando mais eficientes que os de 0,60 m de comprimento.

Comparados desempenho e custo, os atenuadores com os melhores desempenhos (R_w) foram os que tiveram seu duto prolongado para 1,20 e 1,80 m, no entanto, o custo destes silenciadores são maiores.

Dentre os atenuadores com menor eficiência, mas com menores custos, destacam-se os atenuadores com comprimento de 0,60 m, e desse conjunto o que obteve um melhor desempenho aliado a um menor custo foi o de densidade 32 kg/m³ e espessura de 75mm.

O espectro sonoro do nosso objeto de estudo, grupos geradores, permitiu destacar dois atenuadores que mais atendem o propósito de isolamento destes equipamentos com melhor relação custo/benefício.

Concluiu-se que quando há uma necessidade maior de isolamento do equipamento, ou seja, está localizado em uma zona residencial urbana ou se está muito próximo do receptor, o atenuador mais indicado que une menor custo e melhor desempenho é o atenuador com material absorvente de densidade 48 kg/m³, com espessura de lamela de 100mm e comprimento do duto em 1,20 m ($R_w = 20$). No caso de haver uma menor necessidade de isolamento e o grupo gerador estar localizado em uma área comercial ou industrial e ainda estar longe do receptor poderemos optar pelo atenuador com material absorvente de 48 kg/m³ com espessura de lamela de 100mm e comprimento do duto de 0,60m ($R_w = 15$).

CAPÍTULO 10 – Trabalhos Futuros

O trabalho desenvolvido tem aplicações práticas imediatas. Com os resultados da avaliação do desempenho acústico dos silenciadores, variando os parâmetros comprimento de duto, espaçamento de lamelas e absorção do material de revestimento, estabeleceu-se a importância de cada parâmetro no desempenho global. Outro resultado importante foi o cálculo do custo da fabricação do atenuador e indicação da melhor relação custo benefício.

O tema é extenso e várias questões relativas ao desempenho acústico de atenuadores permanecem sem solução. Talvez grande parte das respostas ao problema possa ser esclarecida se fosse desenvolvido um modelo matemático. Os resultados desse experimento poderiam ser usados como validação do modelo. Com o modelo validado poderiam ser estudadas novas configurações.

Os fabricantes de silenciadores têm conhecimento de alguns dos parâmetros que interferem no desempenho acústico desses equipamentos, mas não tem ferramenta adequada para prever com precisão o resultado final da atenuação sendo um processo ainda de tentativa e erro. Uma vez estabelecido e validado o modelo matemático que permita relacionar parâmetros físicos e geométricos com a atenuação acústica dos silenciadores resistivos será possível criar um aplicativo que permitirá ao fabricante projetar o melhor silenciador com o melhor custo possível.

11. BIBLIOGRAFIA

11. 1 Referências Bibliográficas

ACUSTECNI Controle de Ruídos e Comércio Ltda, Enclausuramento de máquinas, 2001. Produzido por ACUSTECNI. Disponível em : <http://www.acustecni.com.br/enclausuramento.html> acesso em 10 fev 2004.

ASTM – E477 , Duct Linear Materials and Prefabricated Silencers For Acoustical and Airflow Performance.

Ballagh, K.O. Investigations into Hygienic Attenuators. Applied Acoustics, 40 (1993) p 107 – 122.

Bell, L.H. Noise Control: Fundamentals e Applications. Editora Marcel Dekker. New York, 1982.

Bento Coelho, J.L. Silenciadores – dos Princípios à Prática, Actas 1º Congresso Brasil/Argentina, 15 Encontro SOBRAC, 1996, Florianópolis, SC. P 97 –112.

Bento Coelho, J.L. Silenciadores Industriais. In: I Congresso Iberoamericano de Acústica, 18 encontro da SOBRAC. , 1998, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, Brasil. P 198 – 207.

Cummins Brasil Ltda (Guarulhos – SP) Cummins Brasil – Guarulhos : Catálogo Eletônico, 2002.

Embleton, T.F. “ Mufflers” In L.Beranek (ed), Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, New York, 1971, chapter 12.

Eriksson, L.J.; Zuroski, M.T. From Passive to Active: A Family of Silencing Possibilities, Noise-Con, 1997. Pennsylvania. Anais. Pennsylvania State University. P 325 – 336.

Galitsis, A.G. e Ver, I.L. Passive Silencers e Lined Ducts In Beranek (ed), Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. Cambridge, Massachusetts, 1992, chapter 10.

Gerges, S. Ruído : Fundamentos e Controle. Florianópolis, 2. ed., 2000. 696 p.

ISO 11820:1996, Acoustics – Measurements on Silencers in Situ.

ISO 7235:1991, Acoustics – Measurements procedures for ducted silencers – Insertions loss, flow noise and pressure loss.

ISO 11691. Acoustics Measurements of insertion loss of duct silencers without flow. Laboratory method.

Leistner, P e Kruger, J. Noise Reduction With Actively Absorbing Silencers. Applied Acoustics, vol 51, nº 2(1997), p 113 – 120.

Mendez, A. M.; Rochaix, E. Sistema de Aislamiento Acústico para um Motogerador de Emergência. Simpósio Brasileiro de Acústica, 1998. Anais. p 295 – 298.

Nepomuceno , L.X. Acústica. Editora Edgard Blucher Ltda. 1977. São Paulo. 187p.

Neto,F.F. Estudo de Barreiras Acústicas ao Ar Livre, sob a Perspectiva de Eficiência e Qualidade Sonora, 2002.103 f. Tese (Mestrado em Edificações) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Rivas, I.S. Contaminacion Ambiental por ruído. Congresso Mexicano de Acústica, 1994. México. ref 219 – 224.

Rolla,S. Ruído na Construção Civil. In: 16º Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) , 1995, São Paulo. Anais. São Paulo.p 45 – 48

Saruê, R. Poluição Sonora. Welcome. Editora Super Nova. 2003.

Schultz, T.J. Wrappings, Enclosures, and Duct Linings in L. Beranek (ed). Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, New York, 1971, chapter 15.

Silva P.M. Influência do Factor Ruído no Planejamento Urbano.Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1971.

Tavares, P.C. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica . Relatório do Procel - 1993. P 33 – 36.

VIBRASOM TECNOLOGIA ACÚSTICA LTDA. Produzido por Vibrasom. Disponível em <http://www.vibrasom.ind.br/index2.htm>. Acesso em 12 de fev de 2004.

Wang,C. ; Tse,C. ; Chen,Y. Analysis of three Dimensional Muffler with Boundary Element Method, Applied Acoustics , 40 (1993). P 91 – 106

Zamperlini, H. Ruído Urbano: Análise das Denúncias Feitas ao Programa de Silêncio Urbano da Prefeitura de São Paulo (PSIU).Tese (Mestrado em Distúrbios

da Comunicação) Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo(1996).

11.2 Bibliografia Consultada

Bistafa, S.R. Dimensionamento de Silenciadores para Descarga de Vapor a Altas Pressões na Atmosfera, FIA 18º Encontro da Sobrac, 1998, Florianópolis, SC. p.411 – 414.

Cummings,A.; Chang, I.J. Sound Attenuation of a Finite Length Dissipative Flow Duct Silencer With Internal Mean Flow in the Absorbent. Journal of Sound and Vibration ,127 (1988) , p 1-17.

King,A.J. Attenuation of Sound in Lined Air Ducts. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol 30, nº 6(1958) ,p 505 – 507

Lee, I.J. e Selamet, A. Acoustic Chacacteristics of Hybrid Silencers. Inter-noise, 2002. Dearborn, Anais, USA.

Lilly, J.G. e Partain, J.D. Dynamic Insertion Loss Measurements of Duct Silencers at Low Frequencies. Noise – con, 2000.California, p 1-6.

Nakra, B.C; Said, W.R. e Nassir, A. Investigations on Mufflers For Internal Combustion Engines. Applied Acoustics, 14 (1981).p 135 – 145.

Ramani, R.; Watson, W.R. Design Curves for Rectangular Splitter Silencers. Applied Acoustics, 35 (1992) , p 1-24.

Sabine, H.J. The Absorption of Noise in Ventilating Ducts. Jasa, 12 (1940), p 53 – 57.

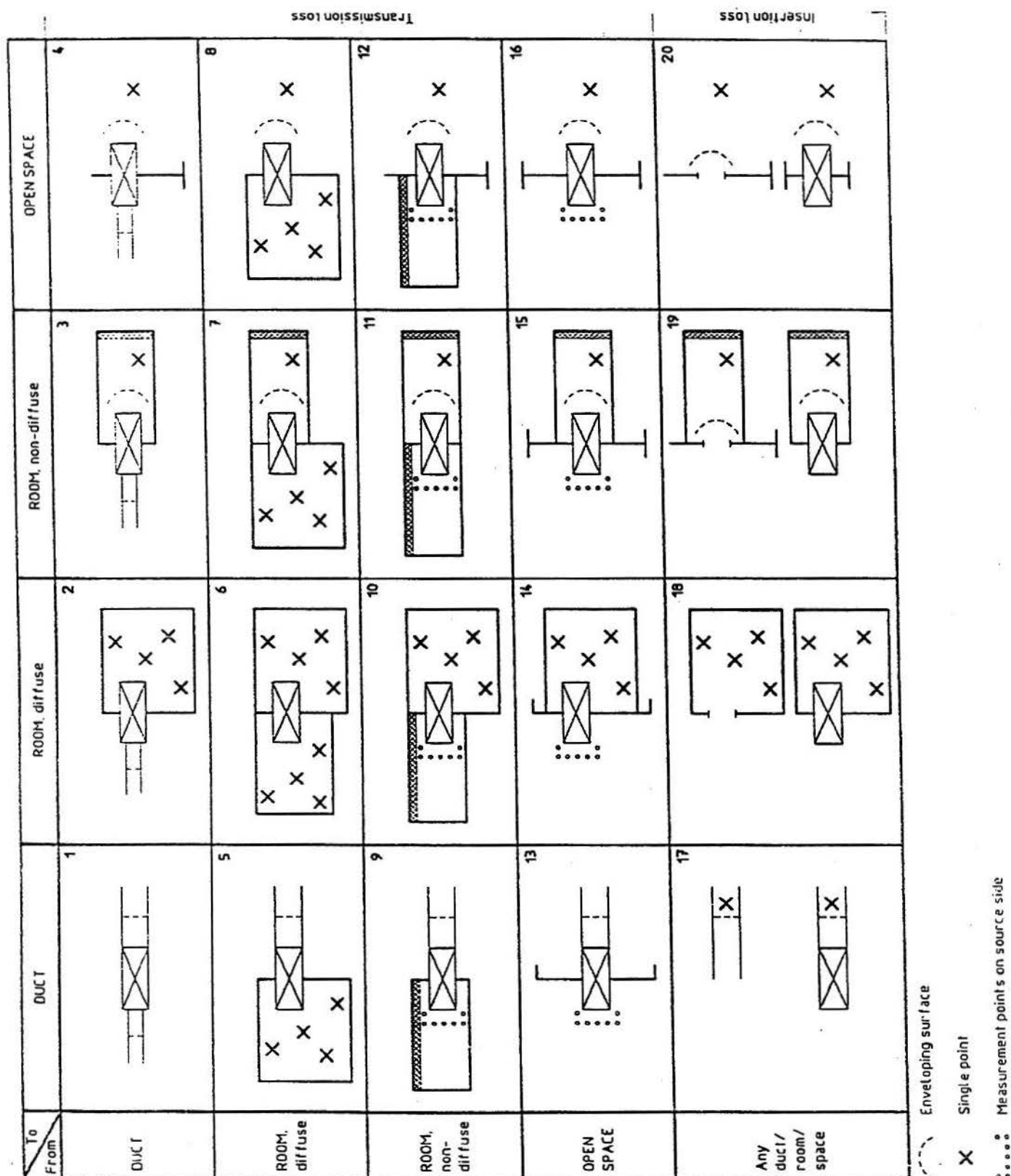
Starobinsk,R.N. The Limit of Absorbing Characteristics of Folded Resonators Silencers and Ways on its Realisation. Institute d'Acoustique et de Mecanique de l'Universite du maine, p 1903 – 1904.

Tandon, N et al. Noise Control of Engine Driven Portable Generator Set. Applied Acoustics , vol. 55, n° 4 (1998). p 307 – 328

Zhou, Z.J.; Sui, G.C. A New Type of Dust Resistant Silencers. Inter-noise, 1996. Liverpool , Anais. p 891 – 894.

ANEXO A

Figura 1 da Norma ISO 11.820



NOTE — The sound source is always on the left-hand side of the silencer; the flow direction is arbitrary.

Figure 1 — General scheme for transmission and insertion loss measurements of silencers

ANEXO B

**Metodologia de Medição de um Grupo Gerador
Catálogo do Fabricante**



Measured Sound Performance

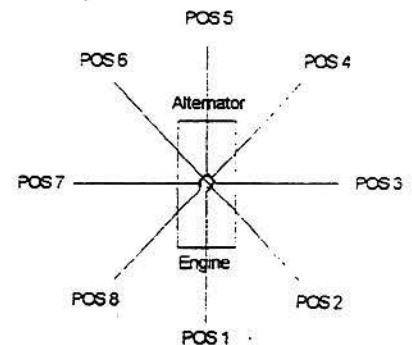
80DGDA 60 Hz

Measured Sound Pressure Levels dB(A)

Configuration		Position								8 Position Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Standard - Unhoused (Note 3)	Infinite Exhaust	82.4	85.1	84.6	84.0	79.8	84.4	83.7	84.9	83.7
F182 - Weather (Note 3)	Infinite Exhaust	83.3	85.2	83.7	83.6	78.9	78.9	84.1	85.4	83.4
F182 - Weather	Mounted Muffler	85.5	87.3	85.3	84.6	80.7	84.5	85.3	86.9	85.0
F172 - Quiet Site II First Stage	Mounted Muffler	83.0	82.2	73.2	71.0	67.7	69.3	72.6	82.9	72.3
F173 - Quiet Site II Second Stage	Mounted Muffler	66.6	69.2	69.5	69.9	65.9	67.4	65.9	68.9	67.9

Note:

1. Measurement locations are 23 feet (7 m) from the center of the generator set.
2. Tests performed at full rated load with standard radiator-fan package.
3. Sound measurements for generator set with infinite exhaust do not include exhaust noise.
4. Tests conducted per ANSI S1.13-1971.
5. Reference sound pressure is 20 μ Pa.
6. The measured sound levels are subject to instrumentation, measurement, and generator set variability.



Measured Sound Power Levels dB(A)

Configuration		Octave Band Center Frequency (Hz)								Sound Power Level
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Standard - Unhoused (Note 3)	Infinite Exhaust	68.9	86.1	96.4	100.5	106.0	105.6	101.4	96.2	110.4
F182 - Weather	Mounted Muffler	77.6	99.6	98.9	103.2	106.1	105.8	101.2	96.8	111.3
F172 - Quiet Site II First Stage	Mounted Muffler	75.0	88.9	91.3	100.5	101.7	102.1	98.5	91.0	107.2
F173 - Quiet Site II Second Stage	Mounted Muffler	73.9	88.7	88.9	87.1	89.1	87.9	84.4	79.6	95.9

Note:

1. Tests performed at full rated load with standard radiator-fan package.
2. Tests conducted per ANSI S12.34-1988.
3. Sound measurements for generator set with infinite exhaust do not include exhaust noise.
4. Reference sound power is $1\text{pW}=1 \times 10^{-12}$ W.
5. The measured sound levels are subject to instrumentation, measurement, and generator set variability.

APÊNDICE A

Dados do Nível de Pressão Sonora

Tabela A-1. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Perda por Inserção medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Dentro da sala	88	94	100	101	98	99	97	95	96	95	96	98	101	99	98	96	97	97	98	109
Sem atenuador	76	80	82	87	82	84	85	83	82	83	82	85	87	86	84	83	84	85	86	96
Ate1 - 32 kg / 25 mm	76	80	80	84	80	81	79	76	72	71	66	66	65	62	60	60	61	65	68	84
Ate2 - 32kg / 50 mm	76	78	76	79	75	76	72	69	67	65	66	68	71	70	70	69	70	71	72	82
Ate3 - 32kg / 75 mm	75	77	75	79	74	75	72	68	67	66	67	70	72	71	71	70	71	72	73	83
Ate4 - 32 kg/100mm	74	76	74	77	73	74	72	69	68	69	70	72	76	76	74	73	74	75	75	85
Ate5 - 48 kg / 25 mm	75	78	79	84	80	80	78	75	73	71	66	65	65	61	59	56	58	59	60	83
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	73	76	76	82	76	74	71	67	66	64	64	66	67	63	61	58	59	59	58	79
Ate 7 - 48 kg /75 mm	72	75	75	81	76	74	73	67	65	64	64	64	65	63	60	58	59	59	60	79
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	72	74	75	82	75	72	70	67	66	65	65	64	67	64	62	61	62	62	65	79
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	75	77	79	86	81	80	76	76	74	72	68	68	68	65	63	62	64	67	70	84
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	73	75	76	83	77	74	71	69	65	64	64	66	66	63	61	59	60	60	61	79
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	75	78	76	82	78	73	72	70	66	66	65	68	70	69	68	67	67	68	69	81
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	75	77	76	81	76	73	71	68	67	66	66	67	68	67	66	64	66	67	69	80
Ate 13 - 80 kg/25mm	77	80	81	87	82	81	79	77	73	70	67	67	67	64	61	60	62	65	67	85
Ate 14 - 80 kg/50mm	75	78	77	83	76	75	72	67	66	66	66	66	68	65	63	62	63	63	65	80
Ate 15 - 80 kg/75 mm	74	77	74	80	75	73	71	68	66	68	69	71	74	72	71	71	71	72	72	83
Ate 16 - 80 kg/100mm	74	75	75	80	76	74	72	69	68	67	68	70	72	71	70	68	70	71	73	83

Tabela A-2. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Perda por Inserção medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 m e 1,80 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Dentro da Sala	88	96	100	102	102	100	100	99	98	100	99	101	104	102	101	99	101	101	101	113
Sem Atenuador	76	82	82	88	86	85	88	87	84	88	85	88	90	89	87	86	88	89	89	99
Ate1A-50mm-1,20m	76	74	76	79	72	68	65	64	69	68	66	67	70	66	63	63	64	65	66	79
Ate2A-50mm-1,80m	68	74	74	73	67	64	65	64	67	68	68	68	70	66	65	63	64	65	65	79
Ate3A-75mm-1,20m	68	74	74	73	67	64	65	64	67	68	68	68	70	66	65	63	64	65	65	79
Ate4A-75mm-1,80m	66	73	70	68	65	63	65	67	69	68	68	68	70	68	66	63	65	65	65	79
Ate5A-100mm-1,20m	71	69	74	76	71	64	63	64	66	65	65	66	69	65	64	63	65	67	68	78
Ate6A-100mm-1,80m	68	71	71	69	66	61	63	65	67	67	65	68	69	65	64	62	63	64	66	77

Tabela A-3. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Perda por Inserção medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60 de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Dentro da sala	83	87	87	86	92	90	91	90	91	89	91	89	88	88	86	84	82	80	78	100
Sem atenuador	76	79	71	72	78	77	78	76	77	76	78	76	74	74	73	71	70	68	67	87
Ate1 - 32 kg / 25 mm	76	79	71	69	76	74	73	69	68	65	63	60	59	56	53	52	51	50	49	77
Ate2 - 32kg / 50 mm	75	77	68	66	72	68	65	61	63	61	59	58	56	54	53	51	51	50	48	73
Ate3 - 32kg / 75 mm	74	76	66	65	71	67	66	61	61	60	60	58	58	57	56	55	54	52	50	73
Ate4 - 32 kg/100mm	73	75	65	63	69	62	63	61	63	64	65	64	63	62	61	60	58	56	54	74
Ate5 - 48 kg / 25 mm	75	79	70	68	76	73	72	69	67	64	64	60	58	55	53	51	50	49	47	77
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	73	76	71	66	71	67	65	62	62	61	63	58	57	54	51	49	49	48	45	73
Ate 7 - 48 kg /75 mm	73	76	70	65	70	67	65	60	63	61	61	60	57	55	53	51	50	49	47	72
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	72	75	70	64	69	65	63	60	64	62	62	60	59	56	55	53	54	52	50	72
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	76	78	71	68	76	73	72	69	68	64	63	59	57	55	52	51	50	49	48	77
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	73	78	69	66	71	69	66	62	63	61	61	59	58	57	55	54	53	52	50	73
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	73	76	68	64	71	68	65	61	63	61	61	60	59	57	56	55	55	53	51	73
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	73	76	66	64	70	66	64	61	64	62	62	61	60	60	58	57	57	55	53	73
Ate 13 - 80 kg/25mm	74	76	71	67	74	73	73	68	67	63	61	58	56	53	51	50	50	48	46	76
Ate 14 - 80 kg/50mm	74	76	70	66	71	68	66	62	63	62	63	59	57	55	52	50	49	48	46	73
Ate 15 - 80 kg/75 mm	72	76	69	65	71	67	65	60	63	62	62	60	58	55	53	52	51	51	49	73
Ate 16 - 80 kg/100mm	71	75	69	63	69	65	64	62	66	63	65	63	61	60	60	58	57	56	54	74

Tabela A-4. Dados de Nível de Pressão Sonora (dB) para cálculo de Perda por Transmissão e Perda por Inserção medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 1,20 e 1,80m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Dentro da Sala	83	87	87	86	92	90	91	90	91	89	91	89	88	88	86	84	82	80	78
Sem Atenuador	76	79	71	72	78	77	78	76	77	76	78	76	74	74	73	71	70	68	67
Ate1AG-50mm-1,20m	69	69	66	63	64	59	58	56	61	61	61	56	54	52	50	48	47	46	43
Ate2AG-50mm-1,80m	68	69	64	60	58	54	55	56	63	62	62	57	56	54	51	50	49	46	44
Ate3AG-75mm-1,20m	71	72	67	64	63	60	61	59	62	62	60	58	56	54	51	49	49	47	44
Ate4AG-75mm-1,80m	69	69	62	59	59	55	58	57	62	62	61	57	56	54	51	49	48	45	43
Ate5AG-100mm-1,20m	70	68	63	61	60	55	54	54	59	58	59	55	53	52	51	49	49	47	45
Ate6AG-100mm-1,80m	68	67	62	57	57	53	54	54	60	60	60	56	54	52	49	47	47	44	42

APÊNDICE B

Dados de Perda por Inserção (dB)

Tabela 1-B. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1 - 32 kg / 25 mm	0	0	2	3	2	3	6	7	10	12	16	19	22	24	24	23	23	20	18	12
Ate2 - 32kg / 50 mm	0	2	6	8	7	8	13	14	15	18	16	17	16	16	14	14	14	14	14	14
Ate3 - 32kg / 75 mm	1	3	7	8	8	9	13	15	15	17	15	15	15	15	13	13	13	13	13	13
Ate4 - 32 kg/100mm	2	4	8	10	9	10	13	14	14	14	12	13	11	10	10	10	10	10	11	11
Ate5 - 48 kg / 25 mm	1	2	3	3	2	4	7	8	9	12	16	20	22	25	25	27	26	26	26	13
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	3	4	6	5	6	10	14	16	16	19	18	19	20	23	23	25	25	26	28	17
Ate 7 - 48 kg /75 mm	4	5	7	6	6	10	12	16	17	19	18	21	22	23	24	25	25	26	26	17
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	4	6	7	5	7	8	15	16	16	18	17	21	20	22	22	22	22	23	21	17
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	1	3	3	1	1	4	9	7	8	11	14	17	19	21	21	21	20	18	16	12
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	3	5	6	4	5	10	14	14	17	19	18	19	21	23	23	24	24	25	25	17
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	1	2	6	5	4	11	13	13	16	17	17	17	17	17	16	16	17	17	17	15
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	1	3	6	6	6	11	14	15	15	17	16	18	19	19	18	19	18	18	17	16
Ate 13 - 80 kg/25mm	0	0	1	0	0	3	6	6	9	13	15	18	20	22	23	23	22	20	19	11
Ate 14 - 80 kg/50mm	1	2	5	4	6	9	13	16	16	17	16	19	18	21	21	21	21	22	21	16
Ate 15 - 80 kg/75 mm	2	3	8	7	7	11	14	15	16	15	13	14	17	14	13	12	13	13	14	13
Ate 16 - 80 kg/100mm	2	5	7	7	8	10	13	14	14	16	14	15	15	15	14	15	14	14	13	13

Tabela 2-B. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1A-50mm-1,20m	0	8	6	9	14	17	23	23	15	20	19	21	20	23	24	23	24	24	23	20
Ate2A-50mm-1,80m	8	8	8	15	19	21	23	23	17	20	17	20	20	23	22	23	24	24	24	20
Ate3A-75mm-1,20m	8	8	8	15	19	21	23	23	17	20	17	20	20	23	22	23	24	24	24	20
Ate4A-75mm-1,80m	10	9	12	20	21	22	23	20	15	20	17	20	20	21	21	23	23	24	24	20
Ate5A-100mm-1,20m	5	13	8	12	15	21	25	23	18	23	20	22	21	24	23	23	23	22	21	21
Ate6A-100mm-1,80m	8	11	11	19	20	24	25	22	17	21	20	20	21	24	23	24	25	25	23	22

Tabela 3-B. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1 - 32 kg / 25 mm	0	0	0	3	2	3	5	7	9	11	15	16	15	18	20	19	19	18	18	10
Ate2 - 32kg / 50 mm	1	2	3	6	6	9	13	15	14	15	19	18	18	20	20	20	19	18	19	14
Ate3 - 32kg / 75 mm	2	3	5	7	7	10	12	15	16	16	18	18	16	17	17	16	16	16	17	14
Ate4 - 32 kg/100mm	3	3	6	9	9	15	15	15	14	12	13	12	11	12	12	11	12	12	13	13
Ate5 - 48 kg / 25 mm	1	0	1	4	2	4	6	7	10	12	14	16	16	19	20	20	20	19	20	10
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	3	3	0	6	7	10	13	14	16	15	15	18	17	20	22	22	21	20	22	14
Ate 7 - 48 kg /75 mm	3	3	1	7	8	10	13	16	14	15	17	16	17	19	20	20	20	19	20	15
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	4	4	1	8	9	12	15	16	13	14	16	16	15	18	18	18	16	16	17	15
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	0	1	0	4	2	4	6	7	9	12	15	17	17	19	21	20	20	19	19	10
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	3	1	2	6	7	8	12	14	14	15	17	17	16	17	18	17	17	16	17	14
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	3	3	3	8	7	9	13	15	14	15	17	16	15	17	17	16	15	15	16	14
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	3	3	5	8	8	11	14	15	13	14	16	15	14	14	15	14	13	13	14	14
Ate 13 - 80 kg/25mm	2	3	0	5	4	4	5	8	10	13	17	18	18	21	22	21	20	20	21	11
Ate 14 - 80 kg/50mm	2	3	1	6	7	9	12	14	14	14	15	17	17	19	21	21	21	20	21	14
Ate 15 - 80 kg/75 mm	4	3	2	7	7	10	13	16	14	14	16	16	16	19	20	19	19	17	18	14
Ate 16 - 80 kg/100mm	5	4	2	9	9	12	14	14	11	13	13	13	13	14	13	13	13	12	13	13

Tabela 4-B. Resultados de perda por inserção (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ruído de Fundo	54	43	47	39	39	42	37	36	30	31	31	34	36	35	36	29	29	31	35	49
Sem Atenuador	76	79	71	72	78	77	78	76	77	76	78	76	74	74	73	71	70	68	67	87
Ate1AG-50mm-1,20m	7	10	5	9	14	18	20	20	16	15	17	20	20	22	23	23	23	22	24	18
Ate2AG-50mm-1,80m	8	10	7	12	20	23	23	20	14	14	16	19	18	20	22	21	21	22	23	18
Ate3AG-75mm-1,20m	5	7	4	8	15	17	17	17	15	14	18	18	18	20	22	22	21	21	23	17
Ate4AG-75mm-1,80m	7	10	9	13	19	22	20	19	15	14	17	19	18	20	22	22	22	23	24	18
Ate5AG-100mm-1,20m	6	11	8	11	18	22	24	22	18	18	19	21	21	22	22	22	21	21	22	19
Ate6AG-100mm-1,80m	8	12	9	15	21	24	24	22	17	16	18	20	22	22	24	26	23	24	25	20

APÊNDICE C

Dados de Perda por Transmissão (dB)

Tabela 1-C Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1 - 32 kg / 25 mm	12	14	20	17	18	18	18	19	24	24	30	32	36	37	38	36	36	32	30	25
Ate2 - 32kg / 50 mm	12	16	24	22	23	23	25	28	29	30	30	30	30	29	28	27	27	26	26	27
Ate3 - 32kg / 75 mm	13	17	25	22	24	24	25	27	29	29	29	28	29	28	27	26	26	25	25	26
Ate4 - 32 kg/100mm	14	18	26	24	25	25	25	26	28	26	26	26	25	23	24	23	23	22	23	24
Ate5 - 48 kg / 25 mm	13	16	21	17	18	19	19	20	23	24	30	33	36	38	39	40	39	38	38	26
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	15	18	24	19	22	25	26	28	30	31	32	32	34	36	37	38	38	38	40	30
Ate 7 - 48 kg /75 mm	16	19	25	20	22	25	24	28	31	31	32	34	36	36	38	38	38	38	38	30
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	16	20	25	19	23	27	27	28	30	30	31	34	34	35	36	35	35	35	33	30
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	13	17	21	15	17	19	21	19	22	23	28	30	33	34	35	34	33	30	28	25
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	15	19	24	18	21	25	26	26	31	31	32	32	35	36	37	37	37	37	37	30
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	13	16	24	19	20	26	25	25	30	29	31	30	31	30	30	29	30	28	29	28
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	13	17	24	20	22	26	26	27	29	29	30	31	33	32	32	32	31	28	29	27
Ate 13 - 80 kg/25mm	11	14	19	14	16	18	18	18	24	25	29	31	34	35	37	36	35	32	31	24
Ate 14 - 80 kg/50mm	13	16	23	18	22	24	25	28	30	29	30	32	33	34	35	34	34	34	33	29
Ate 15 - 80 kg/75 mm	14	17	26	21	23	26	26	27	30	27	27	27	27	27	27	25	26	25	26	26
Ate 16 - 80 kg/100mm	14	19	25	21	22	25	25	26	28	28	28	28	29	28	28	28	27	26	25	26

Tabela 2-C. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1A-50mm-1,20m	12	22	24	23	30	32	35	35	29	32	33	34	34	36	38	36	37	36	35	34
Ate2A-50mm-1,80m	20	22	26	29	35	36	35	35	31	32	31	33	34	36	36	36	37	36	36	34
Ate3A-75mm-1,20m	20	22	26	29	35	36	35	35	31	32	31	33	34	36	36	36	37	36	36	34
Ate4A-75mm-1,80m	22	23	30	34	37	37	35	32	29	32	31	33	34	34	36	36	36	36	36	34
Ate5A-100mm-1,20m	17	27	26	26	31	36	37	35	32	35	34	35	35	37	37	36	36	34	33	35
Ate6A-100mm-1,80m	20	25	29	33	36	39	37	34	31	33	34	33	35	37	37	37	38	37	35	36

Tabela 3-C Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Gerador de 60 KVA, para atenuadores de 0,60 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1 - 32 kg / 25 mm	7	8	16	17	16	16	18	21	23	24	28	29	29	32	33	32	31	30	29	23
Ate2 - 32kg / 50 mm	8	10	18	20	20	22	26	29	28	28	32	31	32	34	33	33	31	30	30	27
Ate3 - 32kg / 75 mm	9	11	18	21	21	23	25	29	30	29	31	31	30	31	30	29	28	28	28	27
Ate4 - 32 kg/100mm	10	12	22	23	23	28	28	29	27	25	26	25	25	26	25	24	24	24	24	26
Ate5 - 48 kg / 25 mm	8	8	17	18	16	17	18	21	24	25	27	29	30	33	33	33	32	31	31	23
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	10	11	16	20	21	23	26	28	29	28	28	31	31	34	35	35	33	32	33	27
Ate 7 - 48 kg /75 mm	10	11	17	21	22	23	26	30	28	28	30	29	31	33	33	33	32	31	31	28
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	11	12	17	22	23	25	28	30	27	27	29	29	29	32	31	31	28	28	28	28
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	7	9	16	18	16	17	19	21	23	25	28	30	31	33	34	33	32	31	30	23
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	10	9	18	20	21	21	25	28	28	28	30	30	30	31	31	30	29	28	28	27
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	10	11	19	22	21	20	26	29	28	28	30	29	29	31	30	29	27	27	27	27
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	10	11	21	22	22	24	27	29	27	27	29	28	28	28	28	27	25	25	25	27
Ate 13 - 80 kg/25mm	9	11	16	19	18	17	18	22	24	26	30	31	32	35	35	34	32	32	32	24
Ate 14 - 80 kg/50mm	9	11	17	20	21	22	25	28	28	27	28	30	31	33	34	34	33	32	32	27
Ate 15 - 80 kg/75 mm	11	11	18	21	21	23	24	30	28	27	29	29	30	33	33	32	31	29	29	27
Ate 16 - 80 kg/100mm	12	12	18	23	23	25	23	28	25	26	26	26	27	28	26	26	25	24	24	26

Tabela 4-C. Resultados de perda por transmissão (dB) medidos com o Ruído Branco, para atenuadores de 1,20 e 1,80 m de comprimento

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	dB(A)
Ate1AG-50mm-1,20m	14	18	21	23	28	31	33	34	30	28	30	33	34	36	36	36	35	34	35	31
Ate2AG-50mm-1,80m	15	18	23	26	34	36	36	34	28	27	29	32	32	34	35	34	33	34	34	31
Ate3AG-75mm-1,20m	12	15	20	22	29	30	30	31	29	27	31	31	32	34	35	35	33	33	34	30
Ate4AG-75mm-1,80m	14	18	25	27	33	35	33	33	29	27	30	32	32	34	35	35	34	35	35	31
Ate5AG-100mm-1,20m	13	19	24	25	32	35	37	36	32	31	32	34	35	36	35	35	33	33	33	32
Ate6AG-100mm-1,80m	15	20	25	29	35	37	37	36	31	29	31	33	34	36	39	37	35	36	36	33

APÊNDICE D

Preços dos Atenuadores Testados

Tabela D-1. Valores em Reais dos 22 tipos de atenuadores testados

	Atenuador de 0,60m	Atenuador de 1,20 m	Atenuador de 1,80 m
Ate1 - 32 kg / 25 mm	R\$ 871,00		
Ate2 - 32kg / 50 mm	R\$ 884,00		
Ate3 - 32kg / 75 mm	R\$ 748,00		
Ate4 - 32 kg/100mm	R\$ 746,00		
Ate5 - 48 kg / 25 mm	R\$ 905,00		
Ate 6 - 48 kg/ 50mm	R\$ 932,00	R\$ 1.804,00	R\$ 2.836,00
Ate 7 - 48 kg /75 mm	R\$ 796,00	R\$ 1.592,00	R\$ 2.428,00
Ate 8 - 48 kg / 100 mm	R\$ 794,00	R\$ 1.588,00	R\$ 2.422,00
Ate 9 - 64 kg/ 25mm	R\$956,00		
Ate 10 - 64 kg/ 50mm	R\$ 980,00		
Ate 11 - 64 kg/ 75 mm	R\$ 848,00		
Ate 12 -64 kg/ 100 mm	R\$ 847,00		
Ate 13 - 80 kg/25mm	R\$ 990,00		
Ate 14 - 80 kg/50mm	R\$ 1.052,00		
Ate 15 - 80 kg/75 mm	R\$ 916,00		
Ate 16 - 80 kg/100mm	R\$ 912,00		

APÊNDICE E

Fotos da sala de teste, da montagem e
detalhes dos atenuadores testados



Foto 1 Passarela montada para realização das medições no Galpão receptor com medidor de nível de pressão sonora, posicionado no ponto 4 , a 05 metros de altura durante medição.



Foto 2 .Grupo Gerador de 60 KVA instalado dentro da sala de teste



Foto 3 Durante Medição do Nível de Pressão Sonora de um dos Atenuadores

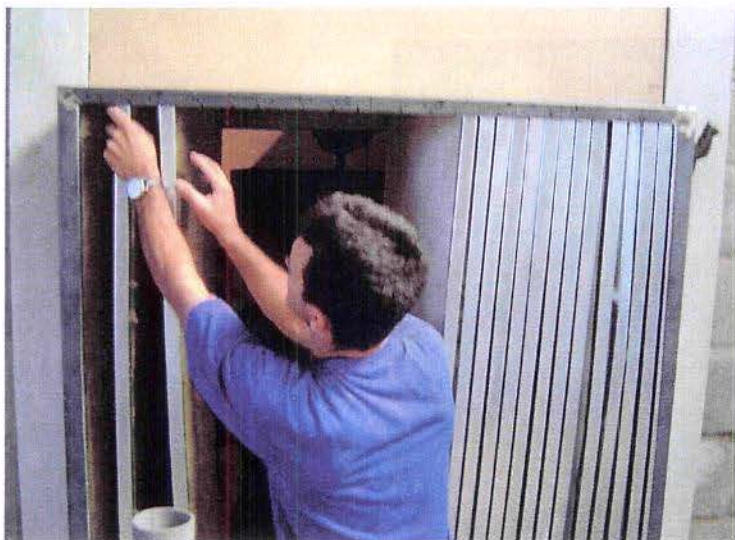


Foto 4 Durante a montagem de um dos atenuadores testados



Foto 5 Detalhe da lamela de 50mm mostrando o material absorvente



Foto 6 Atenuador durante a montagem do prolongamento do Prolongamento do duto.