



INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE SILENCIADORES RESISTIVOS NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO DE GRUPO GERADORES DE ENERGIA

Nilza Maria Coradi (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, fone 19 3788-2382

(1) e-mail: nilzacoradi@terra.com.br (2) e-mail: rolla@fec.unicamp.br

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 uma das formas de reduzir a emissão do seu ruído é, entre outras coisas, atuar nas aberturas para ventilação. Essas aberturas são geralmente tratadas com a colocação de 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 escolhidos como 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 indica dois parâmetros de avaliação de desempenho acústico: perda de 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 maior influência na eficiência do atenuador e do que a densidade do material absorvente.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the acoustic performance of the silencers for energy group generators. Diesel energy generators are extremely noisy equipments. For generator noise control it is necessary, among other things, the treatment of ventilation openings. The openings are generally treated with silencers. There are several types of silencers, the most common are the passive resistive. Passive resistive silencers are characterized by the use of sound absorbent material in the internal walls of the lined duct. In this work the rectangular lined duct with parallel baffles was studied. For the accomplishment of silencers acoustic performance measures was used the methodology described in ISO 11820 Acoustic – Measurements on silencers in situ. The standard ISO 11820 presents two parameters of performance acoustic evaluation: transmission loss and insertion loss. For acoustic performance evaluation, twenty-two silencers were built, altering baffles dimension, duct size, density and thickness of absorbent material. The results showed that the baffles thickness and duct length have larger influence in the silencer efficiency than the absorbent material density.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da urbanização, dos meios de transportes e do desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos vem ocasionando 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; obras; tráfego aéreo; indústrias; comércio e 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 perseguido por diversos ruídos, desde os estrondos provocados pelos vôos a velocidades supersônicas ao ruído ensurdecedor 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 quais as fontes de ruído e sua parcela de contribuição no ruído ambiental representa o passo inicial para seu controle (Rolla,1995). Dentre as inúmeras fontes de ruído que contribuem para o ruído ambiental, talvez uma das mais recente seja o grupo gerador de energia elétrica. O número dessas fontes vem aumentando consideravelmente nos últimos três anos e já começa a ser mais uma fonte de ruído somando-se a tantas outras.

Os geradores de energia sempre foram conhecidos como uma 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 na 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 causado por eles.

Esses equipamentos antes utilizados em casos de emergência e em alguns locais restritos, passaram a ser usados diariamente pelos mais diversos seguimentos. A maioria passou a utilizá-lo para conseguir a redução de energia imposta pelo governo para evitar o “APAGÃO”, utilizando 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). Para se ter uma idéia do que esse valor significa, segundo a legislação trabalhista uma pessoa pode ficar exposta a esse nível de ruído por apenas 15 minutos.

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 por parte da população. A solução para a redução do ruído é o tratamento acústico específico para os equipamentos.

O tratamento 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 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.

Os silenciadores passivos resistivos são largamente utilizados para grupo geradores. 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, da espessura dos materiais absorventes utilizados e das formas e dimensões do duto de passagem de ar (Bell, 1984).

Segundo informações dos fabricantes, os silenciadores utilizados comercialmente para redução de ruído dos grupos geradores, normalmente tem 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 tal 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. A avaliação dos silenciadores será baseada na norma ISO 11 820 Acoustics – Measurements on Silencers in situ que indica os procedimentos e parâmetros de medição a serem aplicados em campo, reproduzindo o ambiente de teste mais próximo do utilizado pelos consumidores destes equipamentos.

Pretende-se testar diferentes configurações de silenciadores alterando as dimensões das lamelas, o tamanho do duto e a densidade e espessura do material absorvente. Esses são parâmetros importantes a serem considerados no projeto do silenciador e pois interferem no seu desempenho.

2. METODOLOGIA

Nesse trabalho foi avaliado o desempenho acústico de silenciadores passivos resistivos utilizados para redução de ruído de grupos geradores instalados em salas de alvenaria. Como os geradores precisam de ventilação os silenciadores são colocados nas aberturas.

No Brasil não existe uma norma específica para avaliação de desempenho acústico desses equipamentos por isso optou-se pela norma internacional **ISO 11820 – Measurements on silencers in situ**, na qual foram baseados os procedimentos de medidas utilizado no desenvolvimento da pesquisa.

2.1 Objeto de Estudo

Os silenciadores passivos resistivos, objeto desse estudo, caracterizam-se 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). O material absorvente utilizado como revestimento foram os painéis em lã de rocha basáltica THERMAX aglomerados com resinas especiais

Para realização dos testes, vários atenuadores foram montados e testados. A área onde foi colocado o silenciador é de 1,20m x 1,20m e foi mantida constante ao longo dos ensaios. Foram alterados a espessura das lamelas, o comprimento do duto e a densidade do material absorvente. Os comprimentos de dutos usados foram 60cm, 120cm e 180cm. As densidades escolhidas foram 32, 48, 64 e 80 kg/m³. As espessuras das lamelas utilizadas foram 25, 50 75 e 100mm.

2.2 Procedimento de Avaliação de Eficiência de Silenciadores

Para a realização das medidas de desempenho dos silenciadores foi utilizada a metodologia descrita na norma ISO 11 820 Acoustics – Measurements on Silencers in situ, que é aplicável para avaliação de silenciadores no local de instalação, testando situações práticas para análise acústica. Os parâmetros indicados para avaliação do desempenho acústico dos silenciadores são a perda de transmissão e a perda por inserção. Como a norma serve para testar silenciadores em “situ”, ou seja, no local de instalação, existem várias condições apresentadas para as mais diversas configurações que podem ocorrer. Para perda de transmissão a Norma apresenta dezesseis condições de teste: para salas reverberantes; salas absorventes; dutos e espaços abertos. E para perda por inserção são quatro opções também para salas reverberantes; absorventes; dutos e espaços abertos.

A sala para avaliação dos silenciadores onde foram realizadas as medidas para determinação da perda de transmissão e perda por inserção foi construída 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. Foi construída em paredes de tijolo cerâmico 09 furos preenchido com areia com reboco de 2 cm em ambas as faces, teto em laje de concreto e possui uma porta acústica. 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 2 mostra um croqui da configuração da sala de testes.

A sala da fonte é uma sala reverberante e a posição do receptor é um galpão também reverberante. De acordo com a ISO 11820, devem ser determinados pontos de medição de acordo com o tamanho da sala. É recomendável no mínimo 03 pontos de medição afastados 0,5 m de qualquer objeto como paredes, fonte ou abertura do silenciador; a distância mínima preferida é de 1m de distância.

Foram determinados 03 pontos de medição na sala de teste e 03 pontos na sala do receptor. Os pontos de medição localizados na sala do receptor foram dispostos envolvendo parcialmente o silenciador como uma meia esfera, como indicado na Norma. A distância do microfone ao solo foi de cinco metros, o recomendável pela norma era de no mínimo quatro metros. A distância da saída do atenuador até o ponto 1 foi de 1,40 m de distância, o ponto 2 e 3 a distância foi de 1,44m. No croqui da figura 2 também aparecem os pontos de medição.

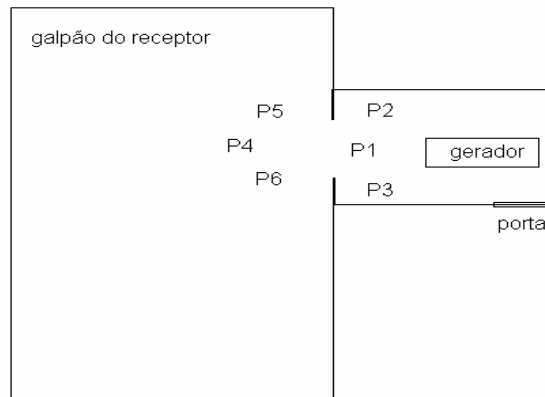


Figura 2 . Croqui com os pontos de medição no interior da sala de teste (1, 2 e 3) e no galpão do receptor (4, 5 e 6).

2.3 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. Para o cálculo da perda por inserção foram medidos os níveis de pressão sonora nos da sala do receptor antes e depois da instalação do silenciador. O valor a ser considerado no cálculo é a média dos pontos de medição. A equação da perda por inserção é dada por:

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

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

As medidas dos níveis de pressão sonora foram realizadas com o medidor integrador de nível de pressão sonora 2238 da Bruel & Kjaer, também conhecido como *Mediator*. Esse equipamento permite a análise espectral em banda de 1/3 de oitava.

A fonte de ruído utilizada foi o grupo gerador de 60 kva, que foi gentilmente cedido pela Rental Center empresa de aluguel de geradores . As características básicas deste equipamento são: motor MWM, 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 e isolamento integral contra vibrações.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

A avaliação de desempenho acústico foi feita em 22 atenuadores diferentes. Nesse trabalho são apresentados os resultados referentes à perda por inserção obtida para os atenuadores e a análise da influência do comprimento do duto, da densidade e espessura do material absorvente no desempenho.

3.1 Avaliação segundo a densidade do material absorvente

Para a avaliação da influência da densidade do material absorvente foram escolhidas as densidades de 32, 48, 64 e 80 kg/m³. Foram mantidos constantes a área de abertura (1,20m x 1,20m) e o comprimento do duto (60cm). Foram analisadas todas as espessuras de lamelas (25, 50, 75 e 100mm).

A figura 3 apresenta o resultado da perda por inserção 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.

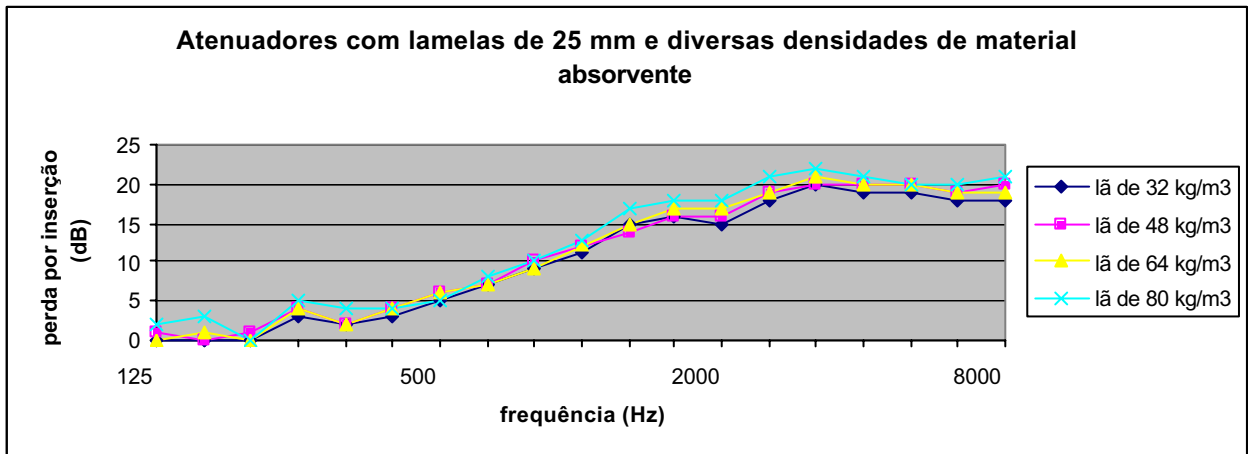


Figura 3. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 25 mm e comprimento de 0,60m para as diferentes densidades de lã de rocha.

Observa-se que os resultados de perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 25mm tem comportamento semelhante em função da frequência. Esse comportamento indica que essa configuração de atenuador sofre pouca influência da densidade de lã de rocha utilizada.

A figura 4 apresenta os resultados da perda por inserção dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 12 lamelas de 50 mm para diferentes densidades de lã de rocha.

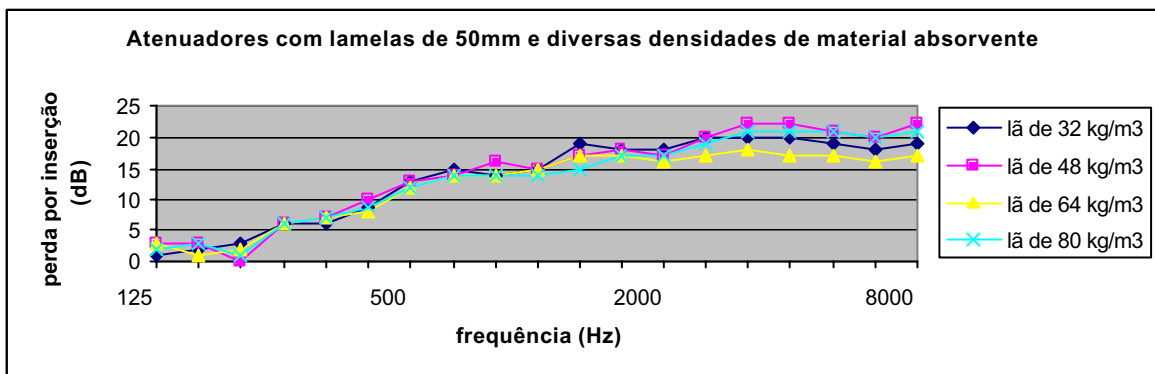


Figura 4. Perda por inserção dos atenuadores com lamelas de 50 mm e comprimento de 0,60 m diferentes densidades de lã de rocha

Os resultados indicam que a perda por inserção do silenciador com lamelas de 50mm não apresentam alterações significativas de atenuação entre as diferentes densidades nas baixas frequências, no entanto, apresentam uma alteração nas altas frequências. Observa-se que a lã de rocha com densidade de 48 kg/m³ apresentou um melhor desempenho e a lã de rocha de 64 kg/m³ apresentou o pior desempenho.

A figura 5 apresenta os resultados da perda por inserção 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.

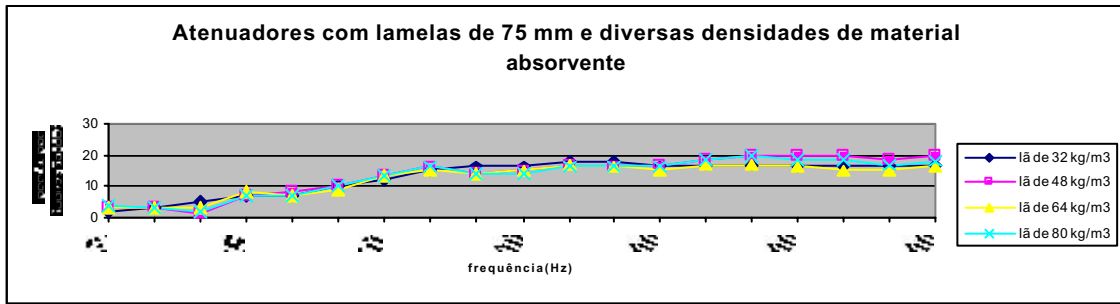


Figura 5. Perda por inserção dos atenuadores de 75 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

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 a figura 5. Nas baixas frequências não há diferença significativa entre as várias densidades, no entanto a partir de 2000 Hz, a lã de rocha com densidade de 48 kg/m³ apresenta a melhor atenuação em relação as demais densidades.

A figura 6 apresenta os resultados da perda por inserção dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com 06 lamelas de 100 mm e diferentes densidades de lã de rocha.

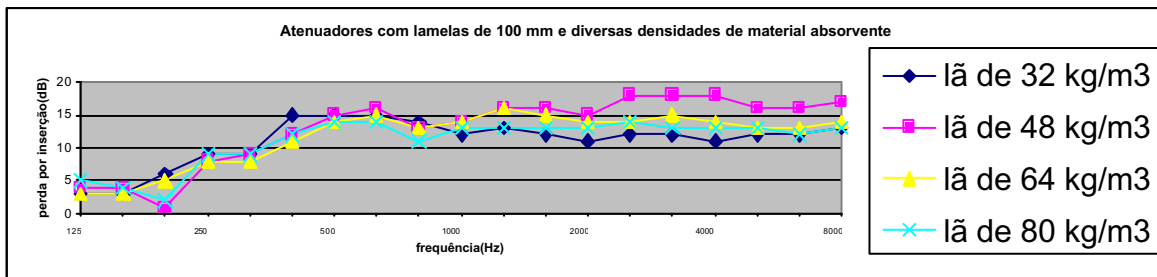


Figura 6. Perda por inserção dos atenuadores de 100 mm e 0,60 m de comprimento e diferentes densidades de lã de rocha

Os resultados mostrados no gráfico da figuras 6, para atenuadores com espessura de lamela de 100mm, indicam que a lã de rocha de 32 kg/m³ apresenta um 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. 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 dos atenuadores testados no parâmetro densidade de lã de rocha, a que apresentou um melhor desempenho nos testes foi a lã de rocha de 48 kg/m³.

3.2 Avaliação segundo a espessura da lamela

A avaliação da influência da espessura da lamela foi feita mantendo-se constante a área de abertura (1,20m x 1,20m) e o comprimento do duto (60cm) e alterando as espessuras da lamela para 25, 50, 75 e 100mm. Todas as densidades foram testadas

A figura 7 apresenta o resultado da perda por inserção 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.

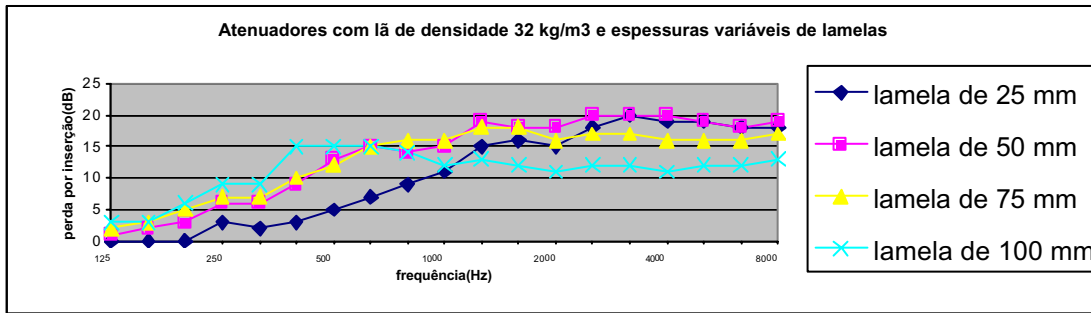


Figura 7. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 32 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

Observa-se que para a 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 um melhor desempenho nas baixas frequências e o pior desempenho nas altas. A espessura de 50mm obteve o melhor desempenho nas altas frequências.

A figura 8 apresenta os resultados da perda por inserção dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lâ de rocha de densidade 48 kg/m³ para diferentes espessuras de lamela.

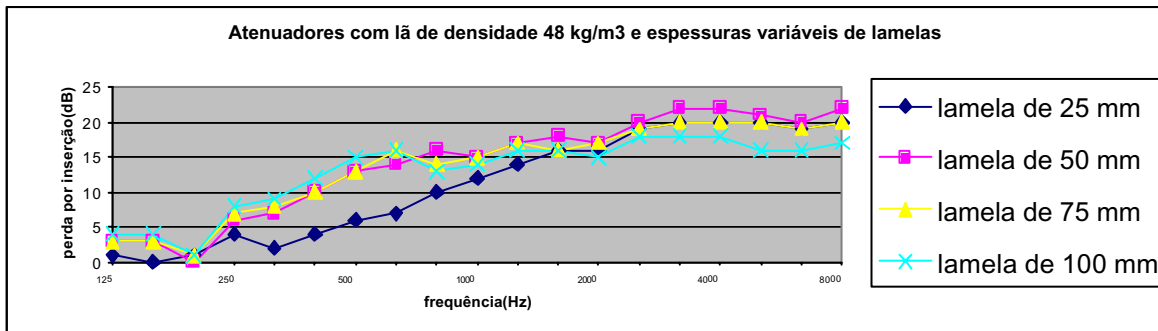


Figura 8. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 48 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

Os resultados apresentados na figuras 8 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.

A figura 9 apresenta os resultados da perda por inserção dos atenuadores de 1,20 x 1,20 x 0,60 m com lâ de rocha de densidade 64 kg/m³ para diferentes espessuras de lamela.

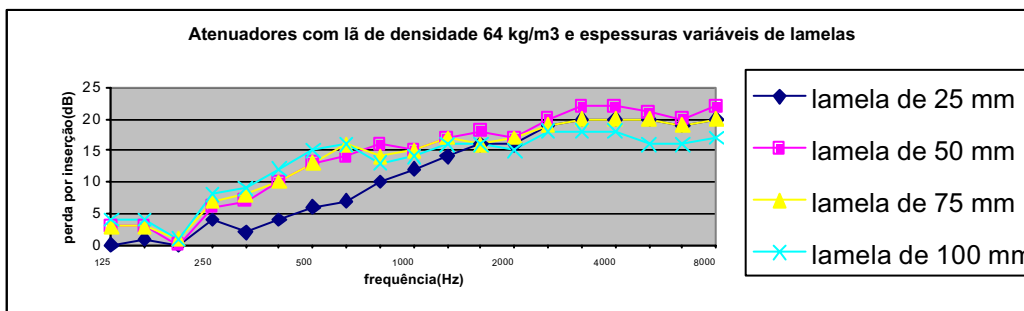


Figura 9. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de

64 kg/m³ e diferentes espessuras de lamela.

O gráfico da figura 9, 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 apresentado para as densidades de 32 kg/m³ e 48 kg/m³, possui o melhor desempenho em baixas frequências e o pior em altas frequências. O melhor desempenho médio continua com a espessura de 50mm.

A figura 10 apresenta os resultados da perda por inserção 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.

Observa-se que os resultados apresentados no gráfico da figuras 10 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. A espessura de 100mm apresenta os piores resultados nas altas frequências e a de 25 mm os melhores resultados.

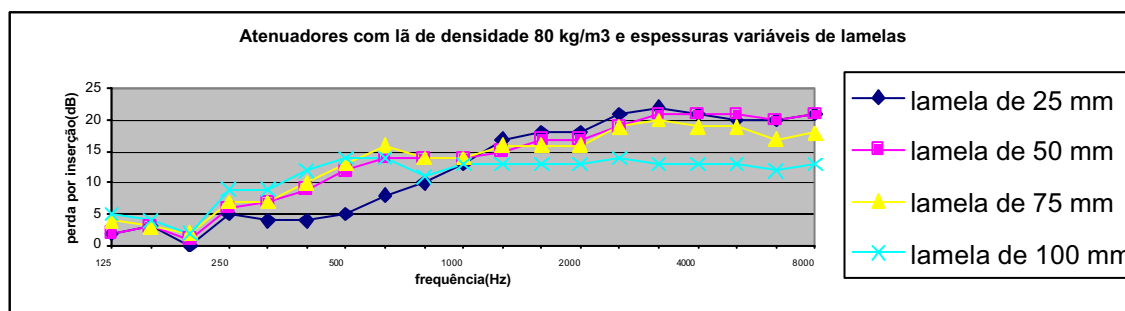


Figura 10. Perda por inserção de atenuadores com material absorvente de 80 kg/m³ e diferentes espessuras de lamelas.

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.

3.3 Avaliação segundo o comprimento do duto

A avaliação da influência da espessura da lamela foi feita mantendo-se constante a área de abertura (1,20m x 1,20m) e a densidade de melhor desempenho (48kg/m³). Foram consideradas as espessuras da lamela para 50, 75 e 100mm.

As figuras 11 apresenta o resultado de perda por inserção dos atenuadores de comprimentos 0,60; 1,20 e 1,80 m, com as lamelas de espessura 50 mm e densidade de lã de 48 kg/m³

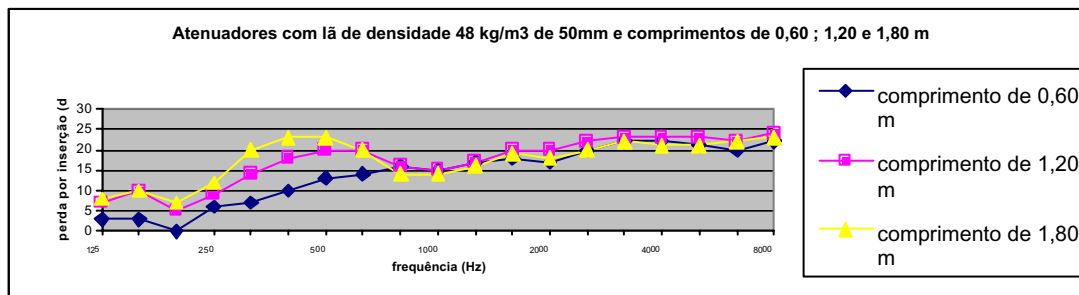


Figura 11 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 50mm e diferentes comprimentos de dutos.

Os resultados de perda por inserção 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 do silenciador. Os resultados mostram que aumentando o comprimento do duto há um aumento considerável da atenuação para frequências inferiores a 1000 Hz. Acima desta frequência não há um aumento significativo na atenuação.

A figura 12 apresenta o resultado de perda por inserção dos atenuadores de comprimento 0,60; 1,20 e 1,80 m, com as lamelas de espessura 75 mm e densidade de lã de 48 kg/m³

A mesma tendência de atenuação observada na espessura de lamela de 50mm se repete na espessura de 75 mm, para frequências inferiores a 1000 Hz, isto é, com o aumento do comprimento do duto há um aumento na atenuação.

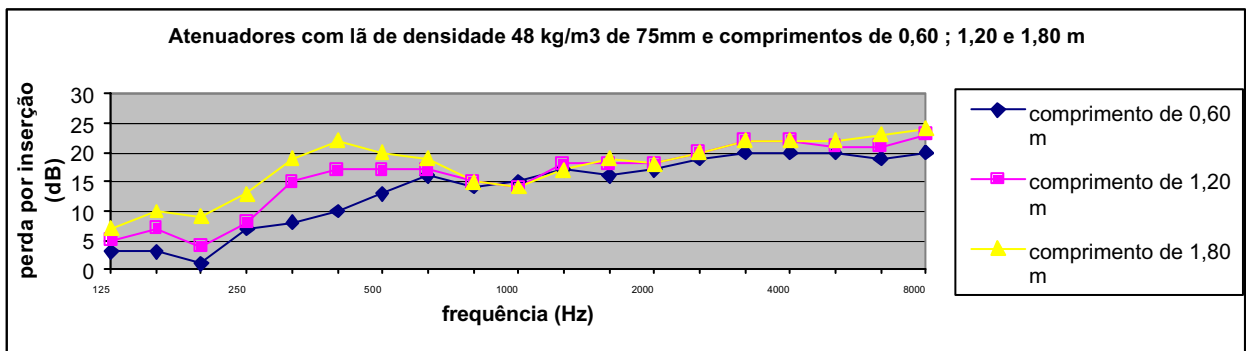


Figura 12 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; lamelas de 75mm e diversos comprimentos de dutos

A figura 13 apresenta os resultados de perda por inserção de atenuadores de comprimentos 0,60; 1,20 e 1,80 m, com as lamelas de espessura 100 mm e densidade de lã de 48 kg/m³

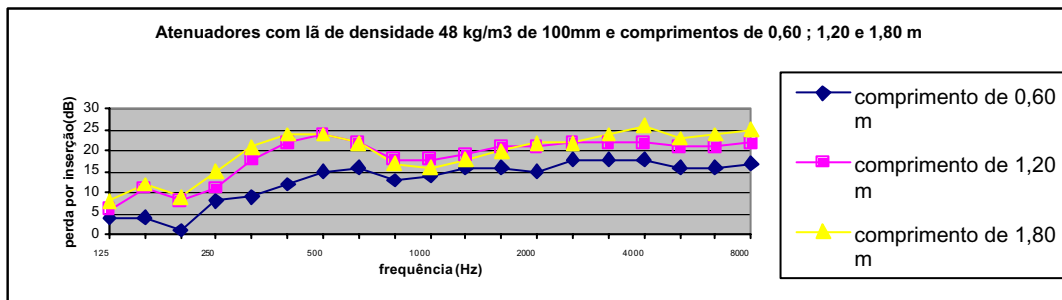


Figura 13 . Perda por inserção dos atenuadores com lã de rocha de 48 kg/m³; espessura de lamelas de 100mm e diferentes comprimentos de dutos

Os resultados 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 1,80m. Esse comportamento sugere uma limitação no prolongamento do duto, pois o ganho na atenuação pelo aumento do duto não é proporcional.

4. CONCLUSÃO

Entre os parâmetros físicos que interferem no desempenho de silenciadores, a espessura das lamelas e o comprimento do duto tem maior influência que a densidade do material absorvente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ZAMBERLINI, H.(1996) *Ruído urbano; Análise das denúncias feitas ao Programa de Silêncio Urbano da Prefeitura de São Paulo (PSIU)*. Dissertação de Mestrado, PUC –SP, São Paulo.
- SARUE, R. (2003) *Poluição Sonora*. Welcome Editora Super Nova, São Paulo.
- ROLLA, S.(1995) Ruído na construção Civil, In 16 Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, *Anais*, São Paulo
- EMBLENTON. T.F. (1971), Mufflers. In: Beranek, L. *Noise and Vibration Control*, Mc Graw Hill, New York.
- GERGES, S. (2000) *Ruído: Fundamentos e Controle*, NR Editora, Florianópolis.
- BELL, L. H. (1982) *Noise Control: Fundamentals and Applications*. Editor Marcel Dekker, New York.
- MENDEZ, A. M., ROCHAIX, E.(1998) Sistema de isolamento acústico para motogerador de emergência, . Simposio de Brasileiro de Acústica, *Anais*, Florianópolis.