

CONTROLE DE RUÍDO

Samir N. Y. Gerges

Supervisor do Lab. de Ruído Industrial
Universidade Federal de Santa Catarina
Dept. Engenharia Mecânica
Cx.P. 476 – Florianópolis – SC
Tel: (048) 2344074 Fax: (048) 2334455 Ramal 4408
e-mail samir@emc.ufsc.br

Resumo - Nesta palestra são apresentados os fundamentos de acústica aplicada e os princípios básicos de controle de ruído, incluindo isolamento, absorção, soluções na fonte, trajetória e receptor.

Abstract - In this presentation, noise control fundamentals are presented. Noise control examples based on absorption and isolation are discussed. Solution at the source, trajectory and receiver are illustrated.

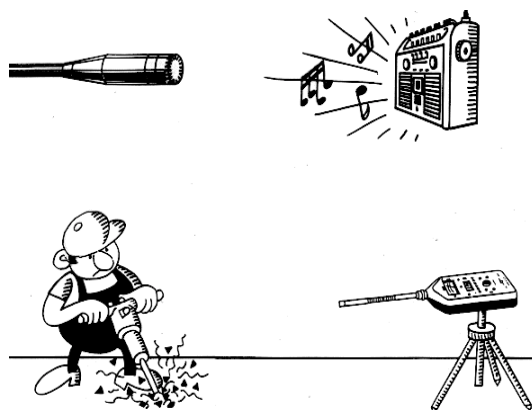
1. INTRODUÇÃO

O som é parte da vida diária e apresenta-se, por exemplo, como: música, canto dos pássaros, uma batida na porta, o tilintar do telefone, as ondas do mar, etc. Entretanto, na sociedade moderna muitos sons são desagradáveis e indesejosos, e esses são definidos como ruído (ver figura 1). O efeito do ruído no indivíduo não depende somente das suas características (amplitude, frequência, duração, etc), mas também da atitude frente a ele. O som se caracteriza por flutuações de pressão em um meio compressível. A sensação de som só ocorrerá quando a amplitude destas flutuações e a frequência com que elas se repetem estiver dentro de determinada faixa de valores. Ainda, existem as ondas cujas frequências de repetição das flutuações, acima referidas, estão acima ou abaixo de frequências geradoras da sensação auditiva e são, respectivamente, denominadas por ondas ultrassônicas e ondas infrassônicas.

Neste trabalho serão apresentados os parâmetros físicos de interesse tal como; pressão sonora, velocidade de som, escala decibel, intensidade, potência e impedância acústica. Serão desenvolvidas também as equações da onda unidimensional e tridimensional, em coordenadas retangular, esférica, cilíndrica e suas soluções.

A. Ondas de Pressão Sonora

Na prática, a geração do ruído é causada pela variação da pressão ou da velocidade das moléculas



O som vai rolar no Festival Universitário da Canção



Figura 1: Sons agradáveis e desagráveis

do meio. O som é uma forma de energia que é transmitida pela colisão das moléculas do meio, umas contra as outras, sucessivamente. Portanto, o som

pode ser representado por uma série de compressões e rarefações do meio em que se propaga, a partir da fonte sonora (ver figura 2).

É importante ficar claro, no entanto, que não há deslocamento permanente de moléculas, ou seja, não há transferência de matéria apenas de energia. A razão de ocorrência da flutuação de pressão é conhecida como frequência. Esta é dada em ciclos por segundo, ou ainda designada internacionalmente por Hertz (Hz). Na faixa de frequência de 20 a 20000 Hz as ondas de pressão no meio são audíveis. Ainda, outro fato que deve ser considerado é que o ouvido humano não é igualmente sensível ao longo desta faixa de frequência. Portanto, conforme já mencionado anteriormente, frequência e amplitude são levadas em consideração na determinação da audibilidade humana (loudness).

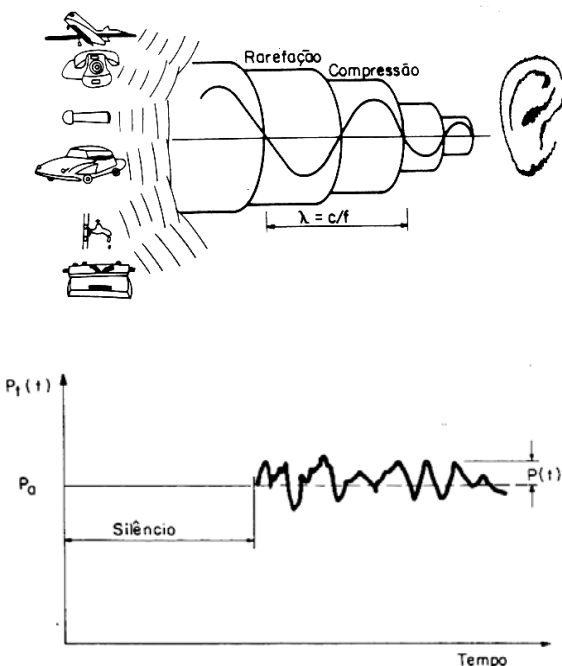


Figura 2: A pressão acústica

B. Velocidade do som no fluido

As ondas acústicas propagam-se através do meio fluido, e sua velocidade “c” é definida pela primeira derivada da pressão com densidade do fluido. Uma fórmula aproximada para determinação da velocidade do som no ar, dentro de um intervalo razoável de temperatura t (em °C) é:

$$c = 331 + 0,6 \cdot t \quad [\text{m/s}]$$

Outra grandeza frequentemente utilizada é o comprimento da onda acústica, ($L = c/f$) que pode ser definida pela: a distância entre dois picos consecutivos de pressão acústica, considerando-se onda harmônica (senoidal), medida na direção de propagação desta onda.

C. Propagação do Som

Teoricamente o som se propaga como ondas esféricas a partir de uma fonte pontual. Duas situações podem dificultar este modelo simples: a

presença de obstáculos na trajetória de propagação e, em campo aberto, a não uniformidade do meio, causada por ventos e/ou gradientes de temperaturas.

D. Grandezas Acústicas

1. Pressão Sonora P [Pascal]
2. Potência Sonora W [Watts]
3. Intensidade Sonora I [Watts/m²]
4. Velocidade de som = $c = 331 + 0,6 \cdot t$ [m/s],
para 20 °C, $c = 331 + 0,6 \cdot 20 = 343$ [m/s]
5. Velocidade da Partícula “U” [m/s]
6. Frequência f [Hz]
7. Comprimento da onda $L = c/f$ [m]

Uma importante propriedade de qualquer fonte é a potência sonora “W” ou energia acústica total emitida pela mesma. A potência sonora é apenas dependente da própria fonte e independe do meio onde ela se encontra ou da distância.

A intensidade das ondas acústicas em campo livre, é dada por:

$$I = P^2 / 2 \cdot c \cdot \rho$$

onde ρ é a densidade (para ar $\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$).

E. Nível de Pressão Sonora - O decibel (dB)

O decibel é a escala mais usada e mais mal entendida. Essa dificuldade advém de sua variação logarítmica. O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limite da audição ao limite da dor.

O nível de intensidade acústica NI é dado por:

$$NI = 10 \cdot \log(I/I_0)$$

onde: I é a intensidade acústica em watt/m², I₀ é a intensidade de referência (I₀ = 10⁻¹²)

A intensidade acústica é proporcional ao quadrado da pressão acústica, então o nível de pressão sonora é dado por:

$$NPS = 10 \cdot \log(P^2/P_0^2)$$

onde P₀ = 0,00002 [Pa] é o valor de referência e correspondente ao limiar da audição em 1000 Hz.

Além do NPS e NI, temos a terceira grandeza acústica importante; o nível de potência sonora NWS definida por;

$$NWS = 10 \cdot \log(W/W_0)$$

Onde: W é a potência sonora em watts e W₀ é a potência sonora de referência (W₀ = 10⁻¹² watts)

F. Escala de Audição

A figura 3 mostra os circuitos de compensação ; dB ou dBL, dBA, dBB, dBC, e dBd

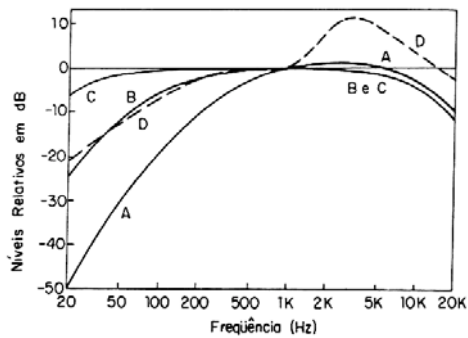


Figura 3: Circuitos de compensação

G. Ondas Acústicas de Propagação Unidimensional

As ondas acústicas de propagação unidimensional, também denominadas ondas acústicas planas, são o tipo mais simples de onda propagada através de meios fluidos. A propriedade característica de tais ondas é que a pressão acústica,

$$P(x,t) = A \cos(\omega t - kx)$$

$$\text{onde: } \omega = 2\pi \cdot f,$$

$$x \text{ é a distância e } k = \omega/c$$

H. Impedância Acústica Específica de Onda Plana

A razão entre a pressão acústica no meio e a velocidade de partícula, é definida como impedância acústica específica: $z = P/U$

I. Ondas Acústicas de Propagação Tridimensional

A equação geral de onda em três dimensões, em coordenadas esféricas, é:

$$P(r,t) = A \cdot \cos(\omega t - kr)/r$$

G. Diretividade de Fonte

Fontes reais dificilmente irradiam de forma igual em todas as direções; elas são, por exemplo, limitadas pelo chão. É necessário, portanto, avaliar o Índice de Diretividade.

2. CONTROLE DE RUÍDO

O técnico responsável pelo projeto de controle de ruído necessita sólidos conhecimentos em acústica aplicada (ver capítulos 1 a 10 de [1]), sobre fontes de ruído em máquinas e equipamentos (ver capítulos 11 a 15 de [1]) e sobre Controle e Isolamento de Vibrações e Choques (ver capítulo 10 de [1]). Além disso, ele deve ter bom conhecimento em instrumentação para medição e análise de ruído e vibração (ver capítulo 3 de [1]). De preferência o mesmo técnico responsável pelo controle de ruído, que orienta o pessoal de medição, faz também a análise e processamento dos dados medidos. O grupo responsável pelo controle de ruído deve receber todo apoio e cooperação dos outros setores de

manutenção, operação, engenharia de projeto e pessoal de administração.

Os fundamentos de acústica aplicada e controle de ruído estão já bem desenvolvidos e os princípios das soluções dos casos típicos são conhecidos. Entretanto, soluções de cada caso específico necessitam não só conhecimento na área de controle de ruído mas também informações completas sobre funcionamento, operação e manutenção das máquinas e processos industriais.

Um programa de conservação da audição e/ou controle de ruído, pode ser elaborado conforme os passos mostrados no capítulo 2. A identificação e a quantificação das fontes de ruído em uma certa área, podem ser feitas a partir do mapa dos níveis de ruído da área, medidos em dB(A), e da medição dos espectros dos níveis de potência e pressão sonora das fontes em dB. O conhecimento da potência sonora das máquinas é essencial para cálculos do projeto de controle. Espectros de potência sonora podem ser obtidos dos fabricantes das máquinas, ou podem ser medidos em laboratório usando câmara anecóica ou reverberante, ou ainda medidos em campo, por técnica de comparação ou com medidor de intensidade acústica, usando dois microfones próximos (ver capítulo 3 e 7 de [1]).

A técnica de medição de intensidade sonora pode fornecer as parcelas de fluxo de energia sonora geradas por cada fonte dentro de uma máquina ou processo complexo. No caso de estudo de um campo acústico, o vetor intensidade fornece a distribuição de energia sonora dentro do ambiente. Através do desacionamento de algumas das fontes dentro de um sistema complexo, é possível quantificar a contribuição de cada fonte de ruído. Também, é possível correlacionar os vários picos dos espectros de ruído com as características de cada fonte e então identificar as fontes responsáveis pela maior parcela de ruído (por exemplo; pico na frequência de rotação ou engrenamento, ver capítulo 11 de [1]).

Na solução do problema de ruído deve-se considerar todas as soluções viáveis e analisar para cada solução o custo/benefício. O custo de redução de ruído envolve o custo de um projeto, fabricação, montagem e manutenção ao longo do tempo. Este custo pode ser quantificado a partir da atenuação desejada dos níveis de ruído. O benefício da redução de ruído é eliminar reclamações, pagamento de insalubridade, aposentadorias por surdez profissional, custo de assistência médica, ausência no serviço, etc. Esses benefícios podem ser avaliados e quantificados. A figura 15.2 mostra as curvas qualitativas de custo e benefício. O ponto de equilíbrio significa um balanço entre custo de redução de ruído e benefícios financeiros através da eliminação das possíveis ilegalidades. Os benefícios sociais de se ter ambiente industrial com níveis de ruído aceitáveis (que significa conservar o sistema auditivo e a saúde dos trabalhadores para que eles possam assumir suas responsabilidades familiares e contribuir para a sociedade) é muito difícil de quantificar. Isto é, a saúde dos trabalhadores não

pode ser vendida por pagamento extra (insalubridade), por aposentadorias antecipadas, por surdez ou por qualquer outra razão do gênero. Portanto, deve-se sempre procurar uma solução de engenharia para o problema de ruído na fonte, na trajetória ou no receptor, apesar dessas soluções serem mais caras do que as despesas de pagamentos extras, custo de protetores e sua implantação .etc.

A solução do problema de alto nível de ruído pode estar na fonte, trajetória e/ou receptor.

Soluções no receptor podem ser conseguidas com:

- (1) Uso de cabine de proteção.
- (2) Uso de protetores auditivos até que ações sejam tomadas para redução do ruído (o uso de protetores auditivos não deve ser considerado como solução permanente do problema).
- (3) Uso de indivíduos surdos nas áreas com alto nível de ruído.
- (4) Redução da jornada de trabalho nos ambientes ruidosos, com deslocamento do pessoal para outros ambientes com serviços mais silenciosos, diminuindo assim a dose de ruído de cada trabalhador.

Soluções na trajetória podem ser conseguidas com:

- (1) enclausuramento
- (2) barreiras acústicas (ver capítulo 6 de [1]).
- (3) absorção e/ou isolamento acústico (ver capítulos 5 e 8 de [1]).
- (4) silenciadores (ver capítulos 8 e 9 de [1]).
- (5) isolamento de vibração e choque (ver capítulo 10 de [1]).

Soluções na fonte podem envolver: (1) Especificação dos níveis máximos permitidos para equipamentos e processos industriais ainda na fase de compra. (2) Predição dos níveis de potência sonora para as fontes a serem instaladas em plantas novas e na expansão das plantas antigas.

(3) Substituição das máquinas, equipamentos e processos industriais usando sistemas mais silenciosos.

(4) Modificações na fonte, que envolvem: redução das forças dinâmicas e velocidade, balanceamento dinâmico, isolamento e controle de vibração, uso de amortecimento, modificação da distribuição das massas e rigidez para evitar ressonância, redução da velocidade de fluidos e turbulência e redução de áreas de superfícies vibrantes.

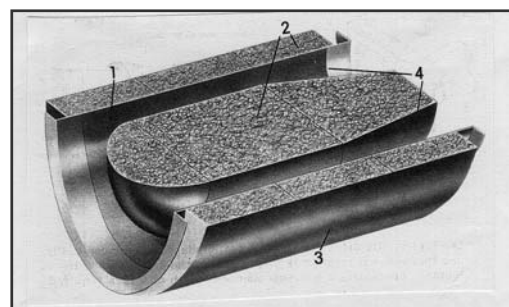
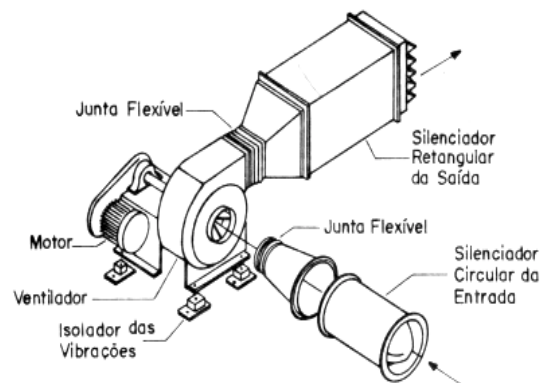
Algumas das recomendações acima citadas serão apresentados, especificamente soluções dos

problemas de ruído para ventiladores, motores elétricos, jatos industriais, e compressores conforme a seguir.

3. ESTUDO DE CASOS

A. Ruído dos Ventiladores e Exaustores

Ventiladores e exaustores são sistemas de movimentação de fluido que tem o mesmo tipo de elemento principal, ou seja, um rotor com pás. Os sistemas de fluxo axial funcionam para baixas pressões estáticas, portanto, são pouco empregados nas indústrias. Entretanto, sistemas de fluxo centrífugo são usados para pressões estáticas altas e grandes velocidades de fluxo, o que determina seu extenso uso industrial. A solução clássica do ruído de ventiladores e exaustores é através da instalação de silenciadores resistivos. A figura 4 mostra uma configuração típica de silenciadores. No projeto de silenciador deve-se considerar os parâmetros de: perda de pressão e ruído aerodinâmico gerados pela presença do silenciador, atenuação necessária em função da frequência e dos materiais de absorção



usados.

Figura 4: Configuração típica de um silenciador[1]

B. Ruído dos Motores Elétricos

As fontes de ruído em motores elétricos são causados por ruído magnético, ruído mecânico e ruído aerodinâmico. Para motores tipo "totalmente fechados com ventilação forçada (TEFC)", que são mais usados nas aplicações industriais, a maior parcela de ruído é o ruído aerodinâmico causado pela ventoinha de pás retas de refrigeração. Uma solução clássica é através da colocação de silenciador na entrada do ar do motor ou substituição da ventoinha de pás retas por outra de pás curvas (figura 5).

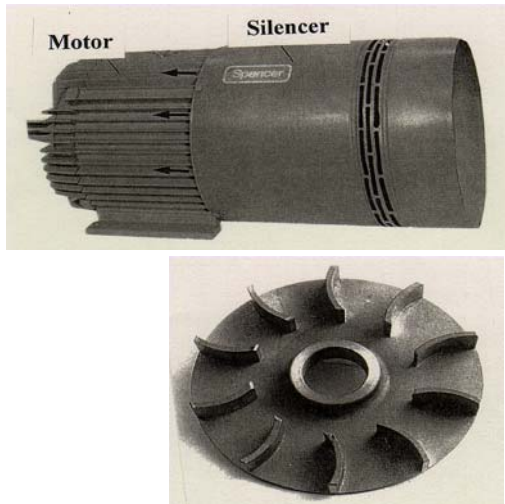


Figura 5: Silenciador (figura acima) e ventoinha de pás curvas (abaixo).

C. Ruído de Jatos

O ruído de jatos de ar comprimido é considerado a segunda fonte causadora de alta índice de perda auditiva. O ruído é gerado por turbulência do ar causado por alta velocidade de fluxo. A figura 6 mostra bocais de jatos silenciosos, tais como; bocal difusor múltiplo, bocal difusor restritivo de fluxo, bocal silenciador e bocal amplificador de ar.

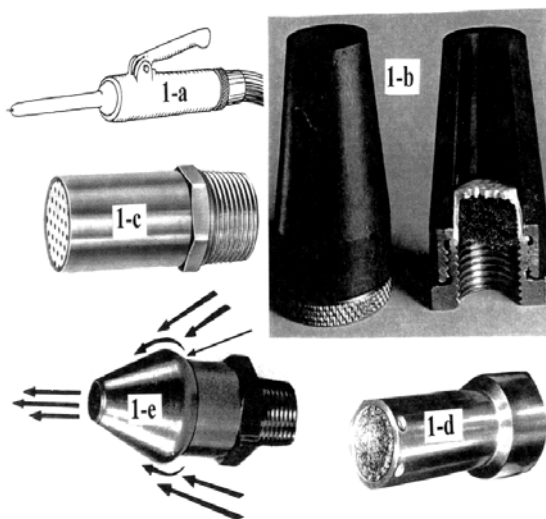


Figura 6: Bocais silenciosos

Silenciadores de materiais porosos podem ser usados para redução de ruído na descarga de ar comprimido das máquinas pneumáticas (ver figura 7).

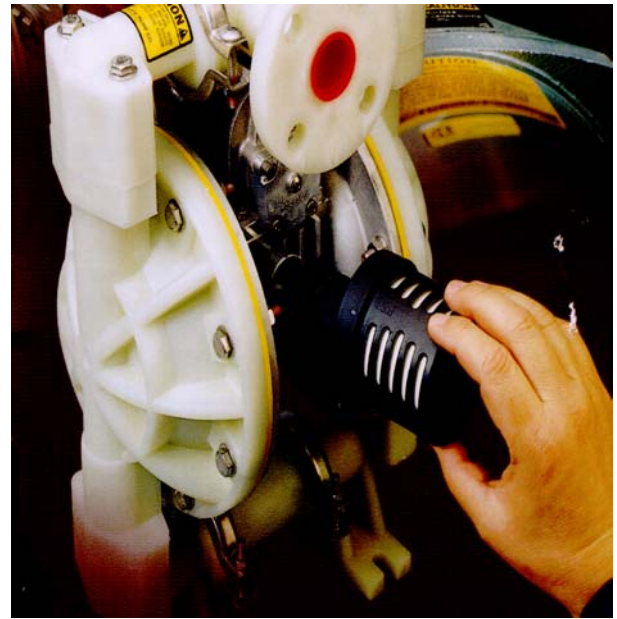


Figura 7: Silenciador de materiais poroso

D. Ruído de Compressores

Compressores são usados para aumentar a pressão dos fluidos. Existe vários tipos de compressores tais como; alternativo, de engrenagens, de lóbulos, de palhetas de êmbolo entre outros. Compressores são máquinas de alta vazão e baixa rotação, portanto, geram ruído alto em baixas frequências, por isto a redução do ruído deve ser feita através de silenciadores reativos (ver figura 8).

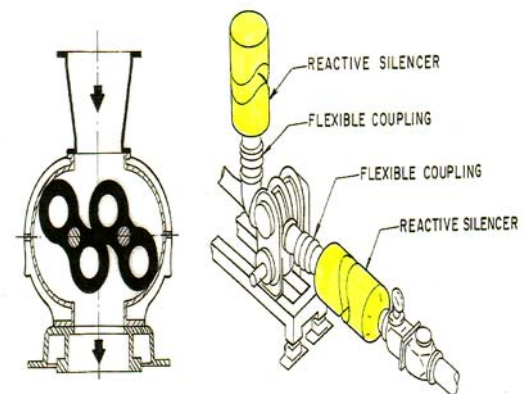


Figura 8: Compressor de lóbulos com silenciadores.

E. Enclausuramento

O controle de ruído por enclausuramento é uma solução do problema na trajetória de propagação do ruído. Sendo um solução prática e viável para redução de ruído de uma máquina que já está instalada e em funcionamento. O mecanismo de redução de ruído, neste caso, se baseia em manter a energia sonora por reflexão dentro do enclausuramento, e também, dissipar parte desta energia através do revestimento interno do enclausuramento com materiais de absorção sonora.

A eficiência e o comportamento de um enclausuramento dependem de seu volume, número de frestas e aberturas, isolamento das paredes e revestimento interno.

As figuras 9, 10 e 11 mostram exemplos típicos de enclausuramentos.

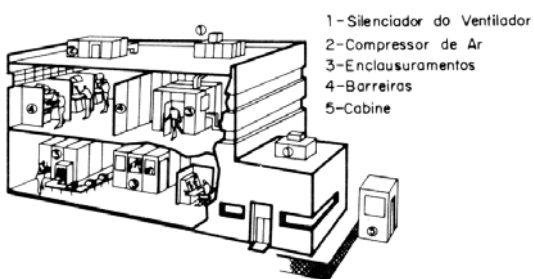


Figura 9: Exemplo de enclausuramentos e cabines

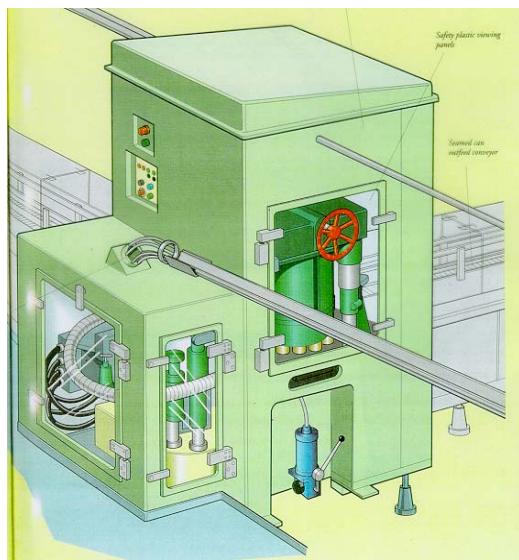


Figura 10: Enclausuramento típico

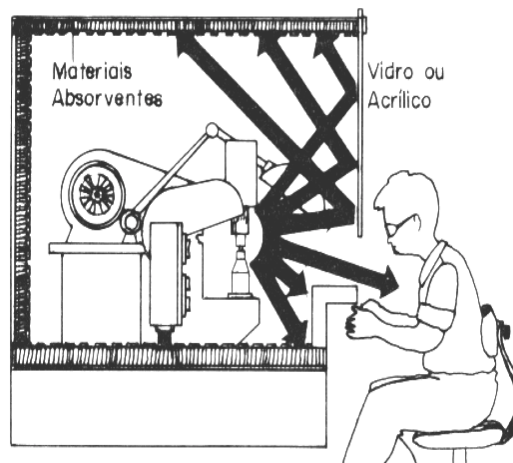


Figura 11: Enclausuramento Parcial

Conclusões

Controle de ruído na fonte deve ser explorado como primeira opção. Qualquer solução através do programa de conservação auditiva e controle de ruído, deve considerar os departamentos de produção, operação, manutenção, seguridade, trabalhadores e medicina do trabalho para garantir uma solução operacional e evitar rejeição das pessoas envolvidas. O custo do controle de ruído sempre é mais barato que a perda irreversível da audição e outros efeitos. O comprador de máquinas deve exigir equipamentos com baixo nível de ruído

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Samir N. Y. Gerges, "Ruído: Fundamentos e Controle", NR editora (fax: 0xx-48-232.0826), segunda edição 2000, 700 páginas.