

Acústica & Vibrações

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA – SOBRAC

MAIO 2010 N^o 41

Uma revisão sobre os métodos de medição in situ da impedância acústica de superfície

Um resumo do desempenho acústico em edifícios habitacionais conforme a norma brasileira ABNT NBR 15575

Análise dos estudos de mapeamento dos níveis de pressão sonora e da avaliação do incômodo sonoro nas cidades de Maringá e Curitiba no estado do Paraná

Controle termoacústico de uma unidade termogeradora: um estudo de caso

A avaliação do ruído ambiental em indústrias da cidade de Curitiba para fins previdenciários

Avaliação da poluição sonora ambiental – normas e leis usadas no Brasil

Ruído ferroviário

ISSN 1983-442X

01dB

Brasil

SOM E AMBIENTE EM HARMONIA

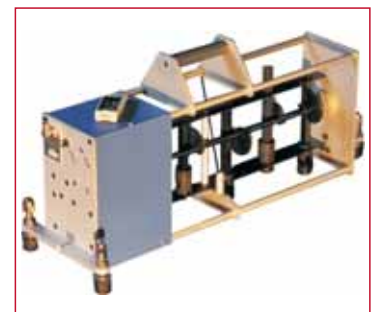


O sonômetro **Blue Solo** da **01dB** dispõe de todos os recursos necessários para medição em acústica arquitetônica.

**APROVEITE!
KITS PROMOCIONAIS**



- Medição de ruído de impacto (tapping machine)
- Isolamento acústico
- Cálculo de tempo de reverberação
- Módulo gerador de ruído (fonte omnidirecional)



*Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos Desempenho e ISO 3382: Acoustics Measurement of room acoustic parameters

Em conformidade com a
ABNT NBR 15575*

Expediente

Revista da Sociedade Brasileira de Acústica –
SOBRAC
ISSN 1983-442X

Caixa Postal 11530 CEP 22020-970
Rio de Janeiro/RJ - Brasil
www.acustica.org.br
e-mail:sobrac@acustica.org.br
Skype ID:sobrac_acustica
Tel: ++55 21 2235-1011

Diretoria SOBRAC 2006/2010

Presidente: Marco Antonio Nabuco de Araujo
nabuco@acustica.org.br
Vice-Presidente: Ana Claudia Fiorini
fiorini@acustica.org.br
1º Secretário: Gilberto Fuchs de Jesus
gilberto@acustica.org.br
2º Secretário: Lilian Seligman Gracioli
lisegra@acustica.org.br
1º Tesoureiro: Roberto Jordan
jordan@acustica.org.br
2º Tesoureiro: Erasmo Felipe Vergara Miranda
efvergara@acustica.org.br
Secretaria Executiva: Maysa Moreno
sobrac@acustica.org.br

Conselho Consultivo

Prof. Samir Gerges, UFSC
Prof. Moyses Zindeluk, COPPE/UFRJ
Prof. Fernando Castro Pinto, COPPE/UFRJ
Profª Elvira Viveiros, UFSC
Prof. Marco Vecci, UFMG
Mauricy C.R. de Souza, UFSC
David Akerman, Harmonia Acústica Ltda

Corpo Editorial

Prof. Julio A. Cordioli - UFSC
Prof. Stephan Paul - UFSM

Sumário

Editorial	2
Artigos	
Uma revisão sobre os métodos de medição in situ da impedância acústica de superfície	3
Brandão, E.; Lenzi, A.	
Um resumo do desempenho acústico em edifícios habitacionais conforme a norma brasileira ABNT NBR 15575	13
Michalski, R.L.X.N	
Análise dos estudos de mapeamento dos níveis de pressão sonora e da avaliação do incômodo sonoro nas cidades de Maringá e Curitiba no estado do Paraná	21
Zanqueta, H.F.B.; Palhano, E.A. de Q.; Ribeiro, C.S.; Cantieri, E.; Catai, R.E.	
Controle termoacústico de uma unidade termogeradora: um estudo de caso	29
Bastos, L.P.; Soeiro, N.S.; Melo, G.S.V.	
A avaliação do ruído ambiental em indústrias da cidade de Curitiba para fins previdenciários	36
Almeida N. U.; Ribas A.; Mendes J.M.	
Avaliação da poluição sonora ambiental - normas e leis usadas no Brasil	47
Bunn, F.; Fiedler, P.E.K.; Zannin, P.H.T	
Ruído ferroviário	55
Vendrami, C.E.; Paul, S.	
Informações	
Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído no Brasil	64
Eleições para diretoria e conselho da SOBRAC - Gestão 2010-2013	68
Congressos	70

Editorial

A revista Acústica e Vibrações vem passando por modificações importantes nos últimos anos sob a atual diretoria da SOBRAC. O principal motor por trás dessas mudanças é a necessidade sentida pela comunidade da área de acústica e vibrações de uma revista científica local de qualidade e indexada. Atualmente, trabalhos de pesquisa desenvolvidos a nível nacional estão, em sua maioria, restritos à apresentação em congressos nacionais e um número pequeno de trabalhos é publicado em jornais científicos internacionais. Isto restringe enormemente a divulgação destes trabalhos, como, por exemplo, trabalhos de mestrado e doutorado, além de limitar bastante a troca de informações entre os membros da comunidade local.

A idéia inicial foi então de transformar a revista Acústica e Vibrações em uma revista indexada, e com este objetivo inicial aceitei assumir a função de editor-chefe da revista. O primeiro passo foi um levantamento de informações com relação ao processo de indexação de uma revista científica. Para tanto, diferentes fontes foram consultadas, incluindo a base de dados Scielo (uma das principais bases de dados do país), pessoas ligadas à incubadora de periódicos da Universidade Federal de Santa Catarina, pessoal ligado a CAPES, além da participação em um seminário sobre o processo editorial de revistas científicas. De uma forma geral, as regras para a indexação de uma revista científica dependem da base de dados escolhida, mas, o que se pode perceber, é que muitos dos critérios de indexação da maioria das bases de dados seriam de difícil implementação na revista Acústica e Vibrações. Toma-se, por exemplo, as exigências da base Scielo de disponibilizar conteúdo online, hoje exclusivo dos associados da SOBRAC, e de conteúdo puramente científico, excluindo artigos de caráter tecnológico que são do interesse de muitos associados. Além disso, com a transformação em revista científica, a revista Acústica e Vibrações não mais poderia desempenhar suas funções de ferramenta de comunicação e divulgação entre a diretoria e os associados.

Em virtude dessas dificuldades e limitações, uma nova proposta passou a ser avaliada: uma nova revista seria criada na área de acústica e vibrações, com um caráter científico e atendendo aos critérios de indexação das principais bases de dados. Desta forma, evitasse muitos dos problemas associados a transformação da revista Acústica e Vibrações em uma revista científica, além de manter-se as funções desta última como um veículo de comunicação da diretoria e seu caráter tecnológico. A solução envolvendo duas revistas na área de acústica e vibrações, uma científica e outra de caráter mais tecnológico, segue exemplos de outras sociedades internacionais na área de acústica e vibrações, como a Sociedade Americana de Acústica (ASA), que edita a revista "Acoustics Today", de perfil informativo e tecnológico, e o "Journal of the Acoustical Society of America" (JASA), de caráter científico, e as sociedades européias de acústica, que editam o "Acta Acústica United with Acustica" e que, em sua maioria, possuem também uma revista tecnológica e informativa. Outra mudança importante com relação à idéia inicial diz respeito ao corpo editorial, que não deverá estar diretamente ligado a SOBRAC (cuja diretoria muda a cada 4 anos), buscando assim garantir uma continuidade da linha editorial da nova revista.

O fato de a nova revista não estar diretamente ligada a SOBRAC também abre espaço para que se busque abranger também a comunidade da área de acústica e vibrações dos demais países latino-americanos, os quais também carecem de uma revista científica local, o que leva a sugestão do nome "Jornal Latino-Americano de Acústica" para a nova revista. De qualquer forma, o apoio da SOBRAC e das demais sociedades acústicas latino-americanas será fundamental para o sucesso desse empreendimento. O projeto da nova revista encontra-se em estado avançado e mais informações deverão ser disponibilizadas no website da SOBRAC em breve.

Em vista da opção pela criação de uma nova revista científica, o número 41 da revista Acústica e Vibrações mantém o formato dos números anteriores. Entretanto, um esforço foi feito para que os artigos submetidos fossem revisados. Um total de 14 artigos foram submetidos para a revista através do site da SOBRAC, sendo que 6 artigos foram aceitos com modificações sugeridas aos autores, garantindo assim a qualidade dos artigos publicados.

O número 41 da revista é o último número sob a atual diretoria. Com a mudança de diretoria, deixo também o cargo de editor, que deverá ser indicado pela nova diretoria e passarei a me dedicar aos trabalhos de organização do Jornal Latino-Americano de Acústica. Finalmente, gostaria de agradecer ao apoio recebido durante o período em que estive como editor, em especial do Prof. Stephan Paul, da Universidade Federal de Santa Maria, e da diretoria atual da SOBRAC.

Uma revisão sobre os métodos de medição *in situ* da impedância acústica de superfície

Brandão, E.*; Lenzi, A.*

* Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, eric@lva.ufsc.br

Resumo

Neste artigo uma revisão bibliográfica dos trabalhos relacionados à medição *in situ* da impedância acústica de superfície é apresentada. Os métodos de medição reportadas na literatura são divididas em três classes neste trabalho: (1) os métodos de separação, em que as pressões incidente e refletida são separadas de alguma forma; (2) os métodos de campo acústico, em que uma formulação matemática para o campo acústico é usada para recuperar a impedância de superfície a partir da impedância medida; (3) os métodos alternativos, que usam técnicas menos convencionais. Devido aos problemas intrínsecos dos métodos de separação os métodos de campo acústico se mostram vantajosos. É mostrado que o problema de propagação de ondas esféricas sob um plano de impedância conhecida esta relacionado à medição *in situ* da impedância. Neste caso é preciso levar em conta que as ondas esféricas não refletem de forma especular, o que acarreta numa maior complexidade para o modelo matemático do campo acústico. Por fim, as pré-suposições dos modelos apresentados são questionadas e um conjunto de fatores que podem levar à incertezas de medição é listado.

Palavras-chave: impedância acústica, coeficiente de absorção, *in situ*

1. Introdução

A impedância acústica é uma grandeza complexa que expressa a razão entre a pressão sonora e a velocidade de partícula. Tal grandeza é usada para definir as características de propagação de um meio ou a quantidade de energia que a interface entre dois meios é capaz de absorver.

Quando a impedância é usada para definir as características de propagação de um meio é chamada de impedância característica (Z_c). Um meio como o ar possui impedância característica $Z_c = \rho_0 c_0$, sendo ρ_0 a densidade volumétrica do ar e c_0 a velocidade do som no ar. Esta é uma grandeza real e constante com a frequência. Um material poroso o meio pode ser modelado como um fluido equivalente e sua impedância característica é o produto de uma densidade e velocidade do som complexas e que variam com a frequência.

Quando a impedância é usada para definir a quantidade de energia que a interface entre dois meios é capaz de absorver ela é chamada de impedância de superfície (Z). No caso mais simples, em que uma onda plana incide obliquamente num plano, de dimensões infinitas, e de impedância Z como mostrado na Figura 1 a impedância de superfície está relacionada ao coeficiente de absorção conforme:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z \cos(\theta) - \rho_0 c_0}{Z \cos(\theta) + \rho_0 c_0} \right|^2 \quad (1)$$

onde θ é o ângulo de incidência.

O que se nota então é que a impedância está relacionada às características de absorção de uma amostra. Quantificar

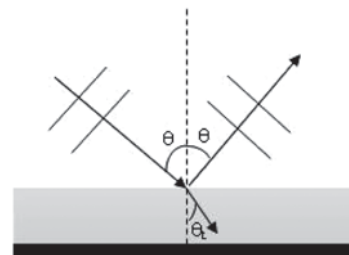


Figura 1: Onda plana em incidência oblíqua.

a impedância torna-se então primordial em muitas aplicações como acústica de salas veicular, ruído industrial, ruído de trânsito, etc.

A medição da impedância e do coeficiente de absorção não é uma preocupação recente. Os trabalhos de 1938 de Power [1] e de 1950 de Sabine H.J. [2] demonstram que este é um assunto de grande interesse há mais de meio século; isto sem mencionar os trabalhos da época relacionados a propagação do som em meios porosos.

Existem duas formas normatizadas para medir o coeficiente de absorção: 1) o método da câmara reverberante (ISO 354), que mede o coeficiente de absorção por incidência aleatória; 2) o tubo de impedância (ISO 10534) que mede a impedância de superfície por incidência normal. Ambos os métodos tem a vantagem de serem procedimentos normatizados, mas possuem várias desvantagens.

Entre as desvantagens do método da câmara reverberante estão: 1) o método requer uma câmara na qual se tenha um campo acústico difuso. Tal câmara tem constru-

ção complexa e custosa; 2) exige amostras de grande área (10-12 m²), o que muitas vezes dificulta a reprodução de condições reais de montagem da amostra; 3) existem erros relacionados ao tamanho finito da amostra e amostras muito absorventes que podem tornar o campo acústico na câmara não suficientemente difuso; 4) o método só mede o coeficiente de absorção e não a impedância.

Entre as desvantagens do método do tubo de impedância estão: 1) somente se mede com incidência normal; 2) a banda de frequências de medição é limitada pelas dimensões do tubo; 3) existem vários problemas relacionados a montagem e compressão da amostra [3]; 4) é um método de medição destrutivo. 5) somente amostras regulares podem ser testadas com confiança. Um trabalho inter laboratorial de 2007 interessante para leitura é reportado em [4]. Neste artigo os autores encontraram desvios da ordem de 20% em suas medidas e sugeriram uma reforma da norma em relação a montagem das amostras.

A medição *in situ*¹ é atrativa porque lida com o problema de condições realistas de montagem. Outra vantagem é que as características da amostra podem variar com o tempo (acúmulo de sujeira) e clima (umidade e neve na grama ou asfalto para predição de ruído urbano). Por estas razões a medição de impedância *in situ* é um tema de grande interesse.

Um primeiro trabalho no tema é o trabalho de Ingard e Bolt [5] de 1951 no qual os autores posicionaram uma sonda (conectada a um microfone) na superfície de uma amostra de material poroso e mediram a pressão na superfície da mesma, estimulando então sua impedância de superfície. Embora este trabalho já tenha mais de 50 anos avanços recentes possibilitaram a aplicação da medição de impedância *in situ* com maior confiabilidade. Este artigo trata de uma revisão sobre diversos trabalhos reportados na literatura sobre o tema.

Os métodos de medição serão divididos em três categorias: os métodos de separação, os métodos de campo acústico, e os métodos alternativos. Após a apresentação dos trabalhos nessas três categorias uma análise dos problemas atuais na medição de impedância *in situ* é feita e conclusões são apresentadas.

2. Métodos de separação

Como a impedância normal de superfície (Z) e o coeficiente de absorção (α) estão relacionados pelo coeficiente de reflexão, e este é a razão entre as pressões refletida e a incidente é natural pensar em métodos de medição em que se consiga separar fisicamente a pressão refletida (p_r) da incidente (p_i).

¹ *in situ* vem do latim e significa em sítio, ou seja, a medida é tomada num ambiente qualquer (uma sala de aula ou um carro, por exemplo). Neste artigo o termo é usado também para descrever medições em câmara anecóica (condição de campo livre).

Em 1974 Barry [6] desenvolveu um método de separação das pressões refletida e incidente baseado na medição da correlação cruzada das medições da pressão sonora em campo livre e da pressão sonora em frente ao material acústico a ser medido. Os valores do coeficiente de absorção obtidos com esta técnica são relativamente similares aos valores obtidos em tubo de impedância. Na época em que este artigo foi publicado as técnicas de FFT ainda não eram tão comuns e aplicadas como são agora. Este trabalho é portanto um marco importante no desenvolvimento de técnicas de medição baseados em processamento de sinais.

O uso de sinais impulsivos foi a técnica utilizada por Cramond e Don [7]. Através da comparação da amplitude e fase dos pulsos incidente e refletido é possível obter o coeficiente de reflexão do material. Segundo os autores foi possível medir a impedância acústica como função do ângulo de incidência da onda sonora.

De forma similar Mommertz [8] desenvolveu em 1995 uma técnica de medição utilizando somente 1 microfone. O autor usou uma técnica de subtração para separar as pressões incidente e refletida. Tal técnica consiste na medição da resposta impulsiva do aparato de medição (alto-falante / microfone) em condições de campo livre (como em uma câmara anecóica). Esta primeira resposta impulsiva corresponde à pressão incidente. Uma segunda resposta impulsiva é obtida *in situ* posicionando o microfone próximo a amostra a ser medida. Tal resposta impulsiva carrega tanto a informação da pressão incidente como a da refletida. Subtraindo-se a segunda resposta impulsiva da primeira obtém-se uma terceira resposta correspondente a pressão refletida. Esta terceira resposta também carrega, além da pressão refletida, as reflexões presentes no ambiente. Estas podem ser retiradas do sinal com o uso de uma janela apropriada. Um esquema do sistema de medição pode ser visto na Figura 2. Por fim a razão das FFT's da terceira resposta impulsiva (devidamente janelada) e da primeira fornece o coeficiente de reflexão no domínio da frequência. O autor aponta que seu método requer amostras de materiais com área relativamente grande e que também podem haver erros de medição devido as mudanças de temperatura e umidade entre os locais de medição (terceira resposta impulsiva) e calibração (primeira resposta impulsiva). Tais erros podem ser diminuídos fazendo-se a calibração no ambiente de medição utilizando-se janelas para a eliminação de reflexões indesejadas na calibração.

Mais recentemente Londhe [9] usou uma técnica similar a de Mommertz combinando a norma ISO 13472-1 com a técnica de subtração para obter a impedância acústica. Vários tipos de gramas em variadas condições atmosféricas foram testadas. As áreas requeridas das amostras são calculadas como função da duração da janela utilizada. Os resultados apresentados pelo autor mostram diferenças significativas em relação ao tubo de impedância.

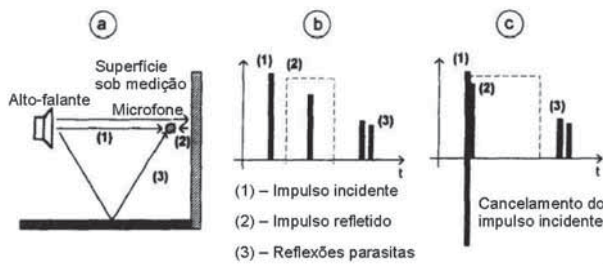


Figura 2: Esquema do método de separação apresentado na referência [8].

Um *array* de microfones (Figura 3) foi utilizado por Ducourneau [10] na medição *in situ* do coeficiente de absorção de amostras de superfície plana. Tal técnica é baseada na combinação dos sinais dos microfones de tal forma que é possível orientar o lóbulo principal do *array* ora para a fonte sonora, medindo-se então p_i , ora para a amostra, medindo-se p_r . Janelas temporais também são utilizadas para eliminar as reflexões indesejadas. Foram encontradas dificuldades nas medições de painéis pouco absorventes e valores negativos no coeficiente de absorção em baixas frequências. Um problema deste método é a necessidade do uso de muitos microfones o que leva a um custo elevado do *array* e pouca portabilidade.

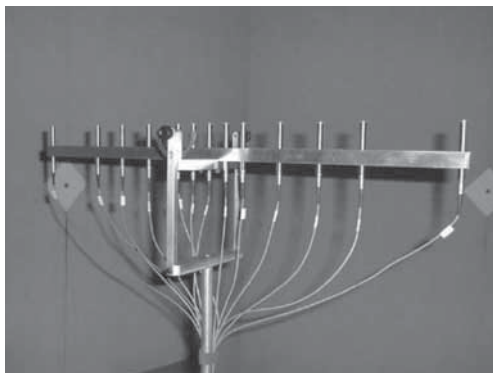


Figura 3: Array de microfones usado no trabalho de Ducourneau [10].

No trabalho apresentado por Kimura e Yamamoto [11] um sinal otimizado é usado como sinal de excitação para a medição. Tal sinal é um sinal estacionário (como ruído branco) otimizado de forma que sua resposta impulsiva é muito próxima de um pulso de curta duração. De acordo com os autores este sinal tem algumas vantagens tais como: O espectro de potência do sinal de excitação é plano e a forma de onda do sinal no tempo é estável, o que não é o caso no uso de sinais de excitação impulsivos tais como pistola e balão. Outra vantagem é que a relação sinal ruído é alta. Usando esta técnica os autores foram capazes de medir o coeficiente de absorção em função do ângulo de incidência para uma amostra cujas dimensões

são $4 \times 5 \text{ m}^2$. Sob estas condições e para frequências maiores que 315 Hz as medições mostraram-se similares aos resultados teóricos esperados.

A falha em comum entre os métodos de separação é que estes assumem que o coeficiente de reflexão da amostra não varia com a posição do sensor, o que é verdade para o caso de ondas planas, mas não para ondas esféricas.

3. Métodos de campo acústico

Os trabalhos de medição de impedância *in situ* que usam uma formulação do campo acústico como base para obter a impedância de superfície da amostra estão intimamente ligados aos trabalhos de acústica teórica. Tais trabalhos estão preocupados em descrever o campo acústico produzido por um monopólio sob um plano de dimensões infinitas com impedância de superfície Z . A motivação principal de tais trabalhos parece ser a predição de ruído urbano causado por tráfego rodoviário, aeroviário, etc.

No coração dos métodos baseados em campo acústico está o fato de que a impedância próxima a amostra a ser medida é diferente da impedância de superfície da mesma. Tal fato pode ser visto na Figura 4 que mostra a impedância medida (Z_r) em algumas posições acima da amostra. Neste caso a amostra em questão tem espessura $d_i = 25 \text{ mm}$ e resistividade $\sigma = 25000 \text{ Rayl/m}$. Sua impedância característica e número de onda complexo são calculados de acordo com o modelo proposto por Allard e Champoux [12]. A conclusão neste caso é que a impedância medida num ponto h milímetros da superfície da amostra de material não é igual a impedância de superfície da amostra, mesmo que o ponto de medição esteja muito próximo da amostra. Por esta razão é preciso corrigir a impedância medida usando um modelo matemático para o campo acústico de forma a recuperar a impedância de superfície da amostra a partir da impedância medida.

Em 1985 Allard e Sieben [13] propuseram um método de medição da impedância por incidência normal que é uma generalização do tubo de impedância. A medição proposta é feita em câmara anecóica. Os autores deste trabalho usaram dois microfones (tal qual em uma sonda de intensidade). A medição de duas pressões sonoras faz possível o cálculo da velocidade de partícula. Com os valores de pressão e velocidade de partícula é possível calcular a impedância no ponto de medição (ponto médio entre os dois microfones da sonda). Os autores assumiram ondas planas incidentes e derivaram uma expressão para a obtenção da impedância de superfície, dada por:

$$Z = \frac{Z_r + i \tan(kh)}{1 + iZ_r \tan(kh)} \quad (2)$$

onde k é o número de onda e h é a distância do ponto médio entre os microfones e a amostra.

Aponta-se que se os microfones estão próximos da amostra ($\approx 1 \text{ cm}$) é possível medir amostras de 1 m^2 de

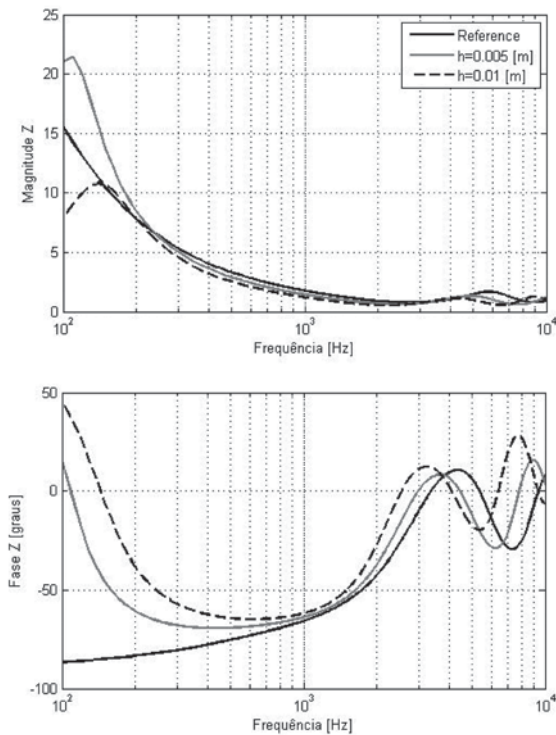


Figura 4: Impedância no ponto de medição (Z_r) comparada à impedância de superfície (Z).

área para frequências acima de 250 Hz. O problema na utilização da técnica é que para baixas frequências os microfones precisam de uma maior separação para serem capazes de medir a diferença de pressão. Como separar os microfones implica em afastá-los da amostra isso implica num limite intrínseco ao método de medição proposto. As medições realizadas foram comparadas com medições feitas em tubo de impedância e os desvios aumentam abaixo de 500 Hz. Tal fato pode ser atribuído a separação entre os microfones e também à pré-suposição de ondas planas.

No trabalho apresentado por Tamura [14] em 1990 nenhuma pressuposição sobre o campo acústico é feita. Ao invés disso o autor propõe o uso da transformada espacial de Fourier na decomposição das pressões sonoras, medidas em dois planos acima da amostra (ver Figura 5), nas pressões incidentes e refletidas no domínio do número de onda, de forma que um coeficiente de reflexão pode ser obtido. Desta forma as ondas esféricas são decompostas em uma série de ondas planas. Neste artigo simulações são realizadas para um monopólio e um dipolo e a técnica mostra melhores resultados para o caso do dipolo. Medições são mostradas num artigo posterior (Tamura *et al.* [15]). As principais limitações desta técnica são: 1) A necessidade de um aparato de medição automatizado para mover os microfones precisamente ao longo dos planos de medição; 2) O longo tempo requerido para a medição (aproximadamente 4 horas por amostra); 3) a limitação do método à câmara anecóica; 4) O método requer amostras com gran-

des áreas para a medição a partir de 500 Hz (4 m^2); 5) Uma limitação do modelo matemático quando o ângulo de incidência se aproxima de 90° .

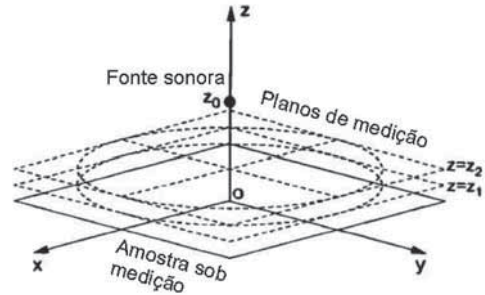


Figura 5: Planos de medição usados por Tamura em [14].

Os trabalhos apresentados em sequência neste artigo se basearam no fato de que o campo acústico pode ser descrito em termos de ondas esféricas. Neste caso duas vertentes aparecem: A primeira considera que as ondas esféricas refletem de forma especular, o que simplifica as equações obtidas. A segunda vertente leva em conta o padrão complexo de reflexão. Em ambos os casos considera-se um monopólio sob um plano infinito de impedância (ou admitância) conhecida. Tal sistema pode ser visto na Figura 6. Em geral, a pressão sonora na posição do receptor pode ser escrita como a soma da pressão incidente (causada pela fonte original) e pela refletida (causada pela fonte imagem e escalonada por um coeficiente de reflexão) como na Equação (3):

$$p = \frac{e^{ikR_1}}{R_1} + Q \frac{e^{ikR_2}}{R_2}, \quad (3)$$

onde Q é o coeficiente de reflexão quando se considera o padrão complexo de reflexão das ondas esféricas.

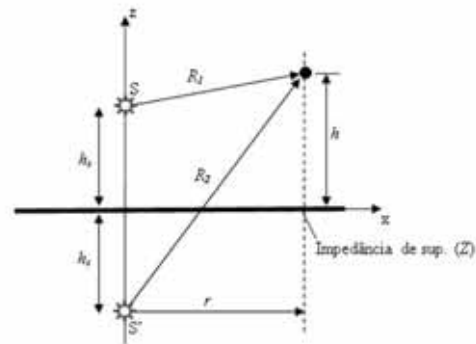


Figura 6: Monopólio sob um plano de impedância conhecida.

3.1. Ondas esféricas em reflexão especular

No trabalho apresentado por Li e Hodgson [16] os autores apresentaram duas formas diferentes para se calcular a impedância de superfície (em função do ângulo de incidência θ_0) com o uso de 2 microfones. As duas formas apresentadas foram comparadas com a pré-suposição de ondas planas de Allard e Sieben [13]. O primeiro método apresentado se baseia na medição da impedância no ponto médio entre os microfones (Figura 7 (a)). No caso de ondas esféricas o ângulo de incidência é ligeiramente diferente para os microfones 1 e 2. Este fato é levado em conta na construção de uma segunda forma para o cálculo da impedância normal de superfície (Figura 7 (b)). Os autores apontam que o erro causado pelo ruído de fundo pode ser determinado por uma média de N medições. Os autores mediram amostras em uma câmara semi-aneecóica e em uma sala semi-reverberante ($T_{60} \approx 1$ s). Os resultados apresentaram concordância entre 300 e 5000 Hz. Também é apontado que tal medição é factível com somente 1 microfone, o que evita o desvio de fase entre dois microfones.

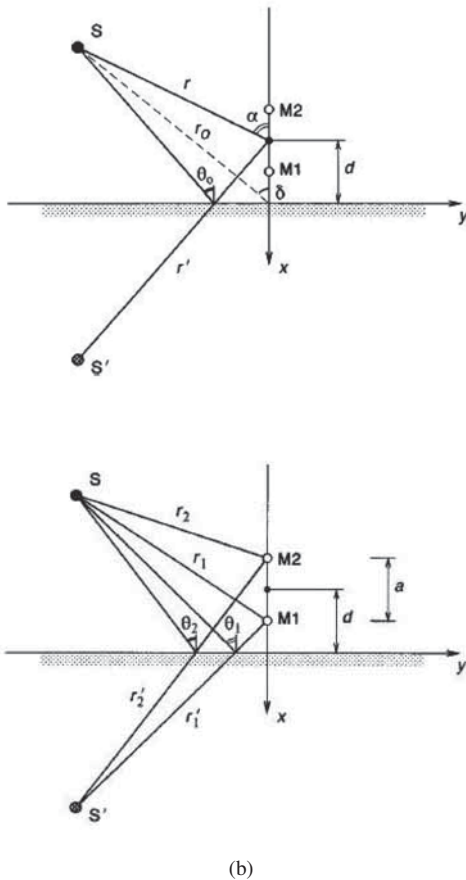


Figura 7: Geometrias de cálculo propostas na referência [16].

Embora tenha havido tentativas de se medir diretamente a velocidade de partícula, como o uso de um microfone de fita² reportado em [17], ou laser [18, 19] um sensor capaz de medir diretamente a velocidade de partícula não estava disponível até 1997. Por isso a velocidade de partícula era medida indiretamente através da medição da pressão em duas posições próximas como em [13].

No ano de 1997 um sensor sensível a velocidade de partícula³ foi inventado na Universidade de Twente (Holanda). Seu princípio de funcionamento está descrito na referência [20]. A combinação de um microfone e um sensor de velocidade de partícula permite a criação de uma sonda capaz de medir em um mesmo ponto pressão e velocidade (e portanto a impedância acústica). Tal sonda será referida aqui como sonda *pu*. A primeira tentativa de medição de impedância com a sonda *pu* é apresentada por Schurer *et al.* [21]. Neste artigo a impedância de um sistema corneta / alto-falante foi medida. Como a sonda é pequena esta pode ser posicionada próxima a uma amostra de material acústico e por este motivo a sonda *pu* se tornou um bom candidato na medição de impedância *in situ*.

No trabalho apresentado por Lanoye *et al.* [22] a medição usando a sonda *pu* é comparada com os métodos de Tamura [14, 15] e 2 e 3 microfones [13, 16]. Os métodos utilizando microfones incorporam em sua formulação a correção do campo acústico. Tal correção não é aplicada a medição com a sonda *pu*⁴. Para incidência normal as medições com a sonda *pu* se mostram em boa concordância com os métodos de referência.

H.-E. de Bree *et al.* [23] mediu a impedância acústica de uma amostra *in situ*. Neste artigo as medições foram em uma sala normal e não em câmara anecóica como em [22]. A calibração da sonda *pu* neste caso é feita na sala onde se mede a amostra o que evita mudanças de temperatura reportadas em [8]. Uma janela temporal é usada para a eliminação das reflexões presentes no ambiente. Nenhuma correção que leva em conta o campo acústico é aplicada neste trabalho.

No trabalho apresentado por Lanoye *et al.* [24] um modelo de recuperação da impedância de superfície chamado de fonte imagem (*image source*) é apresentado. Tal modelo é idêntico ao apresentado por Li e Hodgson [16]. No caso de incidência normal (fonte e receptor na mesma linha) a impedância no ponto de medição é dada por:

$$Z_r = \frac{\frac{e^{ik(h_s-h)}}{(h_s-h)} + R \frac{e^{ik(h_s+h)}}{(h_s+h)}}{\frac{1-ik(h_s-h)}{ik(h_s-h)} \frac{e^{ik(h_s-h)}}{(h_s-h)} - R \frac{1-ik(h_s+h)}{ik(h_s+h)} \frac{e^{ik(h_s+h)}}{(h_s+h)}} \quad (4)$$

² Um microfone de fita é sensível ao gradiente de pressão. Seu diafragma é uma fina fita metálica suspensa num campo magnético.

³ O sensor recebeu o nome de Microflown.

⁴ Assumiu-se, na época, que como a sonda *pu* estava muito próxima da amostra a impedância medida era igual a impedância de superfície da amostra.

onde h_s a distância da fonte ao plano infinito e h a distância do receptor ao plano infinito. $R_2 = h_s + h$. Com a Equação (4) é possível obter o coeficiente de reflexão R e então fazendo-se $h = 0$ tem-se a impedância de superfície da amostra dada por:

$$\frac{Z_r}{\rho_0 c_0} = \frac{1 + R}{1 - R} \frac{ikh_s}{1 - ikh_s}. \quad (5)$$

Outros trabalhos aplicados também se baseiam nesta formulação do campo acústico tais quais os reportados em [25–29].

3.2. Ondas esféricas em reflexão complexa

Os primeiros trabalhos que lidam com o problema da reflexão de ondas esféricas sem simplificar o comportamento físico do sistema, com a suposição de reflexão especular, datam da década de 50. Apesar deste fato os trabalhos apresentados na Seção 3.1 são relativamente recentes. O motivo para isto é provavelmente a complexidade matemática das equações obtidas no caso mais complexo, o que leva a dificuldades de entendimento e implementação. Somados a essas dificuldades existem problemas de aproximações numéricas no cálculo das integrais obtidas. Tais aproximações nem sempre são adequadas dependendo do tipo de problema envolvido.

O primeiro trabalho lidando com ondas esféricas em reflexão complexa é reportado por Rudnick em 1946 [30]. O autor aponta um problema físico quando se consideram ondas planas. Neste caso quando existe incidência rasteira⁵ (*grazing incidence*) o coeficiente de reflexão é igual a -1, o que significa que a onda refletida está 180° defasada da incidente, e por este motivo não há energia se propagando. Como isto não é observado na realidade esta é uma falha crítica quando se assumem ondas planas.

A solução do problema de propagação é obtida através da transformada espacial de Fourier. Neste caso as ondas esféricas (no domínio espacial) são decompostas em uma série infinita de ondas planas (no domínio do número de onda k). O coeficiente de reflexão é escrito no domínio k ($R = R(k)$) e incorporado ao potencial de velocidade. Aplica-se então a transformada espacial de Fourier inversa e obtêm-se o campo acústico no domínio espacial. Em resumo: 1) a geometria do problema, que é composta por ondas esféricas sendo refletidas por um plano em $z = 0$ é muito complexa para ser resolvida no domínio espacial; 2) a transformada espacial de Fourier é aplicada e passa-se a trabalhar no domínio k ; 3) neste domínio tem-se uma série de ondas planas. Sendo assim as os campos acústicos incidente e refletido são facilmente escritos. 4) Aplica-se a transformada inversa de Fourier e obtêm-se uma equação integral no domínio espacial. Rudnick [30] investigou

casos simples como incidência normal e grandes kR_2 (Figura 6).

Vários trabalhos se seguiram nos anos seguintes, tratando da solução da integral obtida, como os reportados nas referências [31–34]. O trabalho de Champoux e Richarz [35] descreve um algoritmo para a integração. Em 1985 Nobile e Hayek [36] fizeram uma exposição intensa do problema e apresentaram soluções para a integral em vários contextos. O problema na Figura 6 foi formulado considerando uma impedância localmente reativa. A equação integral (do potencial de velocidade Φ obtida pelos autores é dada por:

$$\Phi(r, z) = \frac{e^{ikR_1}}{R_1} + \frac{e^{ikR_2}}{R_2} + 2ik\beta \int_0^\infty \frac{e^{-\nu(z+z_0)}}{(\nu - ik\beta)\nu} \Lambda J_0(\Lambda r) d\Lambda \quad (6)$$

onde $\nu^2 = \Lambda^2 - k^2$ é o número de onda complexo e β é a admitância de superfície.

É apontado que a solução exata da integral parece impossível devido a presença de um polo em $\nu = +ik\beta$. Este e a maioria dos trabalhos passados resolvem a integral assintoticamente (para $kR_2 \gg 1$).

Kruse [37] implementa a solução proposta por Nobile e Hayek [36] como um método iterativo para o cálculo da impedância de superfície. Sua proposta se baseia na solução assintótica da integral. Em muitos casos, quando $kR_2 \gg 1$ isto pode ser assumido, especialmente em incidência rasteira quando fonte e receptor estão suficientemente distantes. Neste caso só o primeiro termo da série assintótica proposta em [36] é necessário e o potencial de velocidade se reduz a:

$$\Phi(r, z) = \frac{e^{ikR_1}}{R_1} + \frac{e^{ikR_2}}{R_2} Q \quad (7)$$

Q é o coeficiente de reflexão para ondas esféricas escrito em função de R_p , que é o coeficiente de reflexão considerando reflexão especular. F é um fator multiplicador que muda a amplitude e a fase das ondas refletidas e é o termo responsável por incluir o padrão complexo de reflexão. θ é o ângulo de incidência.

$$Q = R_p + (1 - R_p)F$$

$$F = 1 + i\sqrt{\pi}e^{-\lambda^2} \operatorname{erfc}(-i\lambda)$$

$$\lambda = \sqrt{ikR_2} \sqrt{1 + \beta \sin(\theta) - (1 - \beta^2) \cos(\theta)}$$

Nocke [38] usa a mesma formulação proposta por Kruse [37] na medição da impedância com dois microfones. Uma janela temporal é utilizada na remoção das reflexões indesejadas. Uma análise do tamanho requerido da amostra é realizada com a teoria da zona de Fresnel.

⁵ Ângulo de incidência próximo de 90°.

Em 2006 Lanoye *et al.* [39] compararam o procedimento descrito por Kruse [37] com o método das fontes imagem no cálculo da impedância acústica usando a sonda *pu*. O método descrito em [37] é chamado de “*F-term*”. Os autores concluem que quanto menor a distância entre fonte e sensor maior o erro encontrado com o modelo de fontes imagem. Isto se deve ao fato que o padrão complexo de reflexões fica mais importante quanto menor essa distância.

Em 1988 Champoux e L’espérance [40] simularam uma série de erros numéricos os erros encontrados na medição de impedância (localmente reativa) pelo método de Allard e Sieben [13]. Neste caso o campo acústico é simulado pelas equações descritas em [36] e a impedância calculada com o procedimento em [13] são comparadas com o caso simulado. Os autores concluem que dois erros limitam a faixa de frequência de medição: Em baixas frequências a separação entre os microfones precisa ser suficientemente grande de forma que entre os mesmos exista uma diferença de fase que o sistema de medição seja capaz de medir. Tal separação infelizmente leva a uma maior influência das reflexões indesejadas. A maior separação entre os microfones também leva a um limite em altas frequências, particularmente para distâncias de separação maiores que 1 comprimento de onda. Outros erros também são simulados tais quais a localização exata dos centros acústicos dos microfones e erros de calibração de amplitude e fase dos microfones.

Em 2008 Kruse e Mellert [41] também avaliaram os efeitos dos erros na medição da impedância com o método de dois microfones. Erros de ± 0.2 dB e $\pm 0.5^\circ$ são impostos nas funções de resposta em frequência e os efeitos na impedância de superfície calculada são observados.

Até os anos 90 todas as soluções parecem cobrir aproximações de campo distante ($kR_2 \gg 1$). Em 1993 Di e Gilbert [42] propuseram um outro meio de se obter a solução do problema no domínio espacial dando um passo matemático a mais antes de aplicar a transformada inversa de Fourier. Os autores propuseram que o coeficiente de reflexão no domínio *k* fosse escrito como uma transformada de Laplace de uma distribuição de fontes virtuais *s(q)*. Esta proposição é mostrada na Equação (8) para o caso de uma impedância de superfície localmente reativa⁶.

$$R(k_z) = \frac{k_z - k/Z}{k_z + k/Z} = \int_0^\infty s(q)e^{-qk_z} dq \quad (8)$$

Isto significa que existem a fonte original (S), a fonte imagem (S’) e um número infinito de fontes virtuais *q* no plano complexo. Desta maneira a distribuição *s(q)* das

fontes *q* é encontrada no domínio *k*, o que leva a uma integral numericamente bem comportada quando *s(q)* sofre a transformada inversa de Fourier. Tal integral pode ser realizada numericamente pelo método dos trapézios e uma análise dos erros de truncamento é apresentada pelo autor. A pressão sonora é dada por:

$$p(\vec{r}) = \frac{e^{ikR_1}}{R_1} + \frac{e^{ikR_2}}{R_2} - 2\frac{k}{Z} \int_0^\infty e^{-\frac{k}{Z}q} \frac{e^{ik|\vec{r} + \hat{z}(h_s + iq)|}}{|\vec{r} + \hat{z}(h_s + iq)|} dq \quad (9)$$

onde h_s é a altura da fonte sonora, $R_1 = |\vec{r} - \hat{z}h_s|$, $R_2 = |\vec{r} + \hat{z}h_s|$ e $|\vec{r} + \hat{z}(h_s + iq)| = \sqrt{x^2 + (z + h_s + iq)^2}$.

Em 2008 Alvarez e Jacobsen [43] propuseram um método iterativo (q-term) para o cálculo da impedância acústica de superfície baseado na formulação de Di e Gilbert [42] para incidência normal. Como a formulação proposta em [42] não envolve aproximações na integral o método é bastante atrativo, especialmente se tratando de medições com a sonda *pu* em que a distância fonte-receptor é relativamente pequena (aproximadamente 25 a 30 cm).

Em um artigo recentemente submetido à Acta-Acustica os autores deste artigo apresentam uma comparação entre os métodos de obtenção da impedância de superfície baseados na formulação campo acústico. O que fica claro na Figura 8 é que o método *F-term* leva a um desvio no coeficiente de absorção devido ao fato de kR_2 não ser suficientemente grande. O método das fontes imagem leva a coeficientes de absorção negativos por não considerar o padrão complexo de reflexão. Tal efeito também é observado em algumas medições. O método q-term recupera corretamente a impedância pois não possui nenhuma aproximação na solução da integral.

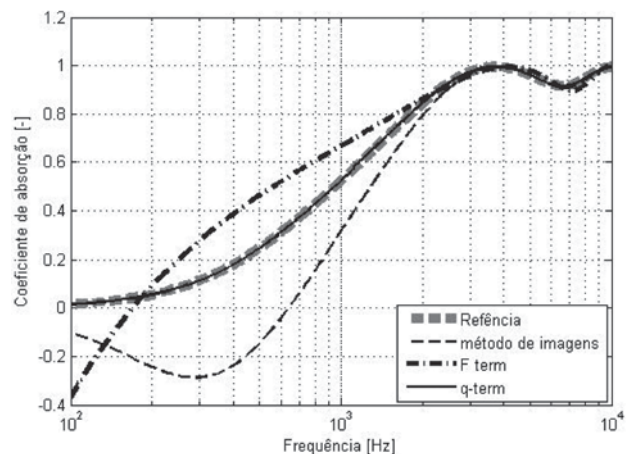


Figura 8: Coeficiente de absorção de um material poroso em simulação de medição in situ para $h_s = 25$ cm.

⁶ Uma amostra localmente reativa é uma amostra com alto índice de refração para ondas sonoras. Em tais amostras uma onda plana incidente com um ângulo θ_0 em relação a normal é refratada na direção da normal. Em outras palavras, a impedância de superfície não é função do ângulo de incidência

4. Métodos alternativos

No trabalho apresentado em 2005 por Takahashi, Otsuru e Tomiku [44] o ruído ambiente foi usado como ruído de excitação. O que é diferente neste caso, é que a grande maioria dos trabalhos apresentados neste artigo usam um ruído estacionário como excitação. De acordo com os autores a vantagem de se usar ruído ambiente é que nenhum modo particular da sala onde se mede é excitado. O método usa dois microfones (próximos a amostra) e considera o ruído ambiente como um campo difuso excitando a amostra. Embora o campo seja difuso a medição é fundamentalmente diferente da medição do coeficiente de absorção em câmara reverberante onde os microfones são espalhados no ambiente distantes da amostra. Medidas foram realizadas em uma sala de escritório, um corredor e uma cafeteria (mais ruidosa) e os resultados em todos os ambientes são concordantes para frequências maiores que 400 Hz.

Castagnede *et al.* [45] usou uma técnica de ultra-som para medir o coeficiente de absorção. O método é baseado no fato que quando se emite um ultra-som de alto nível no ar um efeito não linear acontece existe uma transferência de energia das bandas de ultra-som para as bandas de frequência audível. A principal vantagem segundo os autores é que a fonte sonora gera ondas planas com alta diretividade. Aplicações como a procura de defeitos, inhomogeneidades e pontos ruins de cola são colocadas como prováveis aplicações desta técnica.

5. Problemas da medição *in situ*

O que se nota em comum com a maioria dos trabalhos apresentados neste artigo é que os modelos para cálculo e medição da impedância de superfície possuem várias pré suposições, a saber: 1) assumem que a amostra é infinita; 2) assumem que a amostra é localmente reativa; 3) a fonte sonora é modelada como um monopolo; 4) A posição da fonte e sensor não são conhecidas exatamente, mas os modelos assumem que estes são pontos.

No caso da amostra finita o problema básico é que tanto as técnicas de separação quanto os modelos de campo acústico não possuem em sua formulação nenhum meio de lidar com o tamanho finito da amostra. Algumas propostas para lidar com o problema foram propostas na literatura desde os anos 40 [46–50]. Os dois primeiros trabalhos ([46, 47]) estudam o caso de ondas planas incidentes em um strip (amostra bi-dimensional). Os outros trabalhos ([48–50]) lidam com o caso de ondas esféricas também em strips avaliando casos onde o plano infinito possui uma ou mais descontinuidades na impedância de superfície. Lam e Monazzam [51] apresentam uma boa revisão sobre estes modelos.

Kimura e Yamamoto [52] avaliam o problema do tamanho da amostra experimentalmente usando o mesmo

sinal otimizado em [11]. Um método alternativo usando elementos de contorno (BEM⁷) foi proposto inicialmente por Wilde e Hothersall [53]. Recentemente o método foi usado por Kawai e Meotoiwa [54] e Otsuru *et al.* [55]. Nestes trabalhos o caso de ondas planas [54] e incidência aleatória [55] é investigado. Hirosawa *et al* [56]. usa o método dos elementos de contorno para o caso de ondas esféricas comparando o modelo de fonte imagem para os casos de medição com dois microfones, dois sensores de velocidade de partícula e sonda *pu*. Recentemente uma rotina BEM foi desenvolvida pelo autor do artigo no laboratório de Vibrações e Acústica para futuras investigações da influência do tamanho da amostra.

O segundo problema é que a amostra não é necessariamente localmente reativa. Isto leva a necessidade do desenvolvimento de um modelo de cálculo que considere a amostra como tendo reação estendida. Soluções para o problema de um monopólo gerando um campo acústico sobre uma amostra não localmente reativa foram propostas em [57–59]. O problema nestes casos cai novamente na solução da integral obtida.

Além desses problemas erros de calibração, posição exata da fonte sonora e sensor são fontes de incerteza que precisam ser investigadas para a utilização de um sistema de medição com confiança.

6. Conclusão

Neste artigo uma revisão bibliográfica dos trabalhos relacionados à medição de impedância *in situ* foram apresentados.

Os métodos de separação são baseados na separação (em geral no domínio do tempo) das pressões incidente e refletida. Tais métodos funcionam em alguns contextos em muitos casos não levam em conta que o coeficiente de reflexão é função da posição do sensor (quando o campo acústico pode ser modelado por ondas esféricas).

Os métodos baseados na descrição do campo acústico podem levar este fato em conta. O problema da medição *in situ* da impedância neste contexto está relacionado com o problema de propagação de uma onda esférica sob um plano de impedância conhecida. Simplificações como considerar o campo acústico composto por ondas planas ou que as ondas esféricas refletem de forma especular levam a erros no cálculo da impedância de superfície. É necessário então considerar ondas esféricas sendo refletidas de maneira complexa, o que leva a modelos matemáticos intrincados.

Soluções foram propostas desde de 1950. Tais soluções levam a uma integral que deve ser resolvida numericamente. Em alguns contextos onde $kR_2 \gg 1$ o método iterativo (*F-term*) apresentado se mostra satisfatório. Nas

⁷ BEM - do inglês Boundary Element Method

situações onde a integral não pode ser resolvida assimp-toticamente um método iterativo sem aproximações foi apresentado (q-term).

No entanto os modelos apresentados assumem que a amostra é infinita e localmente reativa. Além disso que a fonte sonora é modelada como um monopolo e sua posição exata é assumida como conhecida. Os efeitos dos erros impostos pelo tamanho da amostra, se esta possui reação estendida, ou os erros impostos pela modelagem da fonte sonora e sua localização ainda precisam ser investigados para o desenvolvimento de um sistema de medição confiável.

Referências

- [1] J.R. Power. Measurement of absorption in rooms with sound absorbing ceilings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 10:98–101, 1938.
- [2] H.J. Sabine. A Review of the Absorption Coefficient Problem. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22:387–392, 1950.
- [3] N. Kino and T. Ueno. Investigation of sample size effects in impedance tube measurements. *Applied Acoustics*, 68:1485–1493, 2007.
- [4] K.V. Horoshenkov, A. Khan, F.X. Bécot, L. Jaouen, F. Sgard, A. Renault, N. Amirouche, F. Pompoli, N. Prodi, P. Bonfiglio, et al. Reproducibility experiments on measuring acoustical properties of rigid-frame porous media (round-robin tests). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122:345–353, 2007.
- [5] U. Ingård and R.H. Bolt. A free field method of measuring the absorption coefficient of acoustic materials. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 23:509–516, 1951.
- [6] T.M. Barry. Measurement of the absorption spectrum using correlation/spectral density techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 55:1349–1351, 1974.
- [7] A.J. Cramond and C.G. Don. Reflection of impulses as a method of determining acoustic impedance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 75:382–389, 1984.
- [8] E. Mommertz. Angle-dependent in-situ measurements of reflection coefficients using a subtraction technique. *Applied Acoustics*, 46:251–264, 1995.
- [9] N. Londhe, M.D. Rao, and J.R. Blough. Application of the ISO 13472-1 in situ technique for measuring the acoustic absorption coefficient of grass and artificial turf surfaces. *Applied Acoustics*, 70(1):129–141, 2009.
- [10] J. Ducourneau, V. Planeau, J. Chatillon, and A. Nejade. Measurement of sound absorption coefficients of flat surfaces in a workshop. *Applied Acoustics*, 70:710–721, 2008.
- [11] K. Kimura and K. Yamamoto. A method for measuring oblique incidence absorption coefficient of absorptive panels by stretched pulse technique. *Applied Acoustics*, 62(6):617–632, 2001.
- [12] J.F. Allard and Y. Champoux. New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91:3346–3353, 1992.
- [13] J.F. Allard and B. Sieben. Measurements of acoustic impedance in a free field with two microphones and a spectrum analyzer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 77:1617–1618, 1985.
- [14] M. Tamura. Spatial Fourier transform method of measuring reflection coefficients at oblique incidence. I: Theory and numerical examples. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88:2259–2264, 1990.
- [15] M. Tamura, J.F. Allard, and D. Lafarge. Spatial Fourier-transform method for measuring reflection coefficients at oblique incidence. II. Experimental results. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97:2255–2262, 1995.
- [16] J.F. Li and M. Hodgson. Use of pseudo-random sequences and a single microphone to measure surface impedance at oblique incidence. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102:2200–2210, 1997.
- [17] C.W. Clapp and F.A. Firestone. The acoustic wattmeter, an instrument for measuring sound energy flow. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 12:124–136, 1941.
- [18] S. Vanlanduit, J. Vanherzeele, P. Guillaume, and G. De Sitter. Absorption measurement of acoustic materials using a scanning laser Doppler vibrometer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117:1168–1172, 2005.
- [19] B.H. Song and J.S. Bolton. Investigation of the vibrational modes of edge-constrained fibrous samples placed in a standing wave tube. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113:1833–1849, 2003.
- [20] H.E. Bree, P. Leussink, T. Korthorst, H. Jansen, T. Lammerink, and M. Elwenspoek. The Micro-Flow, A Novel Device Measuring Acoustical Flows. *Euroensors IX*, pages 536–539, 1995.
- [21] H. Schurer, P. Annema, H.E. De Bree, C.H. Slump, and O.E. Herrmann. Comparison of Two Methods for Measurement of Horn Input Impedance. *Audio Engineering Society*, pages 1–10, 1996.
- [22] R. Lanoye, L. Boeckx, L. De Geetere, G. Vermeir, and W. Lauriks. Experience with different free field techniques to evaluate the surface impedance. *18th ICA*, 2004.
- [23] H.E. de Bree, R. Lanoye, S. de Cock, and J. van Heck. In situ, broad band method to determine the normal and oblique reflection coefficient of acoustic materials. *Proceedings of the Noise and Vibration Conference and Exhibition, Traverse City, Michigan (USA)*, 2005.
- [24] R. Lanoye, H-E. de Bree, W. Lauriks, and G. Vermeir. A practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials in-situ based on a Microflow and microphone sensor. *ISMA, Leuven*, 2004.
- [25] M. Nosko, E. Tijs, and H.E. de Bree. A study of influences of the in situ surface impedance measurement technique. *DAGA*, 2008.
- [26] E. Tijs, H.E. de Bree, and E. Brandao. In situ PU surface impedance measurements for quality control in an assembly line. *SAE international*, 2009.
- [27] E. Tijs and H.E. de Bree. Acoustic absorption measurements of moving structures and under influence of flow. *ISMA, Leuven*, 2008.
- [28] E. Tijs, H-E de Bree, P. Ferrante, and A. Scofano. PU surface impedance measurements on curved liner materials in the presence of a grazing flow. *CEAS*, 2008.
- [29] E. Tijs, H.E. de Bree, and E. Brandão. Large scale in situ acoustic reflection measurements in a theatre. *NGA/DAGA*, 2009.
- [30] I. Rudnick. The Propagation of an Acoustic Wave Along an Absorbing Boundary. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 18:348–356, 1946.
- [31] D.I. Paul. Acoustical radiation from a point source in the presence of two media. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 29:1102–1109, 1957.
- [32] A.R. Wenzel. Propagation of waves along an impedance boundary. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 55:956–963, 1974.
- [33] R.J. Donato. Propagation of a spherical wave near a plane boundary with a complex impedance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 60:34–39, 1976.
- [34] S.I. Thomasson. Reflection of waves from a point source by an impedance boundary. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 59:780–785, 1976.

- [35] Y. Champoux and W.G. Richarz. An aid in the numerical integration for in situ acoustic impedance and absorption coefficient measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87:1809–1812, 1990.
- [36] M.A. Nobile and S.I. Hayek. Acoustic propagation over an impedance plane. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78:1325–1336, 1985.
- [37] Roland Kruse. In-situ measurement of ground impedances with special regard to frequencies below 500 Hz. Master's thesis, Der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften der Carl von Ossietzky Universität, 2008.
- [38] C. Nocke. In-situ acoustic impedance measurement using a free-field transfer function method. *Applied Acoustics*, 59(3):253–264, 2000.
- [39] R. Lanoye, G. Vermeir, W. Lauriks, R. Kruse, and V. Mellert. Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119:2826–2831, 2006.
- [40] Y. Champoux and A. L'espérance. Numerical evaluation of errors associated with the measurement of acoustic impedance in a free field using two microphones and a spectrum analyzer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84:30–38, 1988.
- [41] R. Kruse and V. Mellert. Effect and minimization of errors in in situ ground impedance measurements. *Applied Acoustics*, 69(10):884–890, 2008.
- [42] X. Di and K.E. Gilbert. An exact Laplace transform formulation for a point source above a ground surface. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93:714–720, 1993.
- [43] Jorge Daniel Alvarez and Finn Jacobsen. An Iterative Method for Determining the Surface Impedance of Acoustic Materials In Situ. *Internoise*, 2008.
- [44] Y. Takahashi, T. Otsuru, and R. Tomiku. In situ measurements of surface impedance and absorption coefficients of porous materials using two microphones and ambient noise. *Applied Acoustics*, 66(7):845–865, 2005.
- [45] B. Castagnede, A. Moussatov, D. Lafarge, and M. Saeid. Low frequency in situ metrology of absorption and dispersion of sound absorbing porous materials based on high power ultrasonic non-linearly demodulated waves. *Applied Acoustics-Kidlington*, 69(7):634–648, 2008.
- [46] J.R. Pellam. Sound diffraction and absorption by a strip of absorbing material. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 11:396–400, 1940.
- [47] A. Levitas and M. Lax. Scattering and absorption by an acoustic strip. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 23:316–322, 1951.
- [48] M. Naghieh and S.I. Hayek. Diffraction of a point source by two impedance covered half-planes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 69:629–637, 1981.
- [49] B.A. De Jong, A. Moerkerken, and J.D. Van Der Toorn. Propagation of sound over grassland and over an earth barrier. *Journal of Sound and Vibration*, 86(1):23–46, 1983.
- [50] BO Enflo and PH Enflo. Sound wave propagation from a point source over a homogeneous surface and over a surface with an impedance discontinuity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82:2123–2134, 1987.
- [51] Y.W. Lam and M.R. Monazzam. On the modeling of sound propagation over multi-impedance discontinuities using a semiempirical diffraction formulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120:686–698, 2006.
- [52] K. Kimura and K. Yamamoto. The required sample size in measuring oblique incidence absorption coefficient experimental study. *Applied Acoustics*, 63(5):567–578, 2002.
- [53] S.N. Chandler-Wilde and D.C. Hothersall. Sound propagation above an inhomogeneous impedance plane. *Journal of Sound and Vibration*, 98:475–491, 1985.
- [54] Y. Kawai and H. Meotoiwa. Estimation of the area effect of sound absorbent surfaces by using a boundary integral equation. *Acoustical Science and Technology*, 26(2):123–127, 2005.
- [55] T. Otsuru, R. Tomiku, N.B.C. Din, N. Okamoto, and M. Murakami. Ensemble averaged surface normal impedance of material using an in-situ technique: Preliminary study using boundary element method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125:3784–3791, 2009.
- [56] K. Hirose, H. Nakagawa, M. Kon, and A. Yamamoto. Comparison of three measurement techniques of normal absorption coefficients in free field method using boundary element method. *SAPEM*, 2008.
- [57] Gareton V. Jansens G. Allard J.F., Henry M. and Lauriks W. Impedance measurements around grazing incidence for nonlocally reacting thin porous layers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113:1210–1215, 2003.
- [58] G. Jansens, W. Lauriks, G. Vermeir, and J.F. Allard. Free field measurements of the absorption coefficient for nonlocally reacting sound absorbing porous layers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112:1327–1334, 2002.
- [59] K.M. Li, T. Waters-Fuller, and K. Attenborough. Sound propagation from a point source over extended-reaction ground. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 104:679–685, 1998.

Um resumo do desempenho acústico em edifícios habitacionais conforme a norma brasileira ABNT NBR 15575

Michalski, R. L. X. N*

*Laboratório de Ensaios Acústicos, Inmetro, Duque de Caxias, RJ, rlnascimento@inmetro.gov.br

Resumo

O presente trabalho aborda o conjunto de normas brasileiras de desempenho de edificações habitacionais de até cinco pavimentos ABNT NBR 15575 no que tange aos requisitos e critérios relacionados ao desempenho acústico. As normas habitacionais consideram níveis de ruído, de acordo com a NBR 10151 e NBR 10152, e parâmetros de isolamento sonoro aéreo e de impacto, medidos de acordo com normas internacionais ISO, pois não existem normas brasileiras relativas a essas medições. O objetivo é informar os valores de desempenho acústico estabelecidos nas seis partes da norma para que sejam de conhecimento de nossa sociedade. São apresentados comentários sobre aplicação e limitações da norma e sugestões de melhorias que podem ser adotadas em edições futuras.

Palavras-chave: acústica de edificações, desempenho acústico, isolamento sonoro, edifícios habitacionais

1. Norma de desempenho de edificações

O conjunto de normas brasileiras para a avaliação do desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, ABNT NBR 15575 [1], foi publicado no ano de 2008 e passa a ser válido a partir de maio de 2010. As normas foram elaboradas pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil e seu projeto circulou em consulta nacional antes da publicação.

A norma de desempenho busca atender às exigências dos usuários e é composta de seis partes que se referem a diferentes sistemas que compõem edifícios habitacionais de até cinco pavimentos: sistemas estruturais, pisos internos, vedações verticais internas e externas, coberturas e sistemas hidrossanitários, sendo que a primeira parte da norma se refere a requisitos gerais comuns aos outros sistemas.

O estabelecimento do desempenho é definido através de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação que permitem mensurar o seu cumprimento e que podem ser desde a realização de ensaios laboratoriais ou ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, até simulações ou análise de projetos.

Dentre vários tópicos, como desempenho estrutural, térmico e lumínico, o desempenho acústico é considerado e as normas apresentam valores mínimos, intermediários e superiores para alguns parâmetros de isolamento sonoro, que devem ser medidos em função da frequência de acordo com as normas internacionais ISO 140 [2] ou ISO 10052 [3] e seus valores ponderados (números únicos independentes da frequência) devem ser determinados conforme os procedimentos descritos na ISO 717 [4].

1.1 Aplicação da norma de desempenho

Embora a norma ABNT NBR 15575 [1] considere edificações de até cinco pavimentos, a maioria dos requisitos e critérios pode ser aplicada a edifícios com mais de cinco pavimentos, com exceção daqueles que dependam diretamente da altura do edifício.

A norma não se aplica a obras em andamento ou a edificações concluídas até a data da entrada em vigor da mesma, nem a projetos protocolados nos órgãos competentes até seis meses após essa data e também não se aplica a obras de reformas e nem de “retrofit” (remodelação ou atualização do edifício). Isto significa, na prática, que até a norma brasileira de desempenho ser realmente atendida, levará certo tempo, embora não haja dúvida de que acarretará uma demanda por medições em campo ainda não ocorrida em nosso país.

1.2 Níveis de desempenho

Para cada requisito dos sistemas considerados nas partes da norma, são estabelecidos critérios com níveis de desempenho em função de necessidades básicas como segurança, saúde, higiene e economia. Os níveis de desempenho mínimos (M) devem ser considerados e atendidos com exceção de alguns casos para os quais são somente recomendados, enquanto os níveis intermediários (I) e superiores (S) objetivam possibilitar uma melhora na qualidade da edificação e uma análise da relação custo/benefício por parte dos usuários. Ou seja, ao comprar uma residência que atenda aos níveis de desempenho superiores (S), o morador saberá que está pagando mais caro por uma edificação com melhor desempenho, como se estivesse comprando tal desempenho. Para isto, a norma recomenda informar o nível de desempenho obtido quando este exceder o nível mínimo (M).

1.3 Avaliação do desempenho

A avaliação do desempenho exige o domínio de conhecimentos sobre cada aspecto funcional da edificação, desde materiais e técnicas de construção, até as diferentes exigências dos usuários nas diversas condições de uso. A norma recomenda que a avaliação do desempenho seja realizada por “*instituições de ensino ou pesquisa, laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multi-profissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica*”, sem especificar claramente qual a formação ou especialização desses profissionais, o que pode vir a se tornar um problema no futuro, pois será complicado garantir a confiabilidade metrológica dos resultados dessas medições.

No projeto das normas [5], antes de sua publicação, e que passou por consulta pública, considerava-se que, sempre que possível, os laboratórios especializados fossem “*acreditados pela Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE)*”, mas essa consideração foi retirada na versão publicada.

2. Desempenho acústico

Em relação ao comportamento acústico, um edifício habitacional deve proporcionar conforto e privacidade acústica aos seus ocupantes, assegurando a não inteligibilidade da comunicação verbal entre ambientes adjacentes, através tanto do isolamento sonoro adequado entre ambientes do próprio edifício, como do isolamento sonoro adequado das vedações externas com relação aos ruídos aéreos provenientes de fontes externas à habitação. Ou seja, o edifício deve prover atenuação da propagação do som produzido e transmitido via ar ou estrutura devido a ruídos comuns, de impactos ou de equipamentos (TV, conversa, música, passos, queda de objetos, elevadores, aparelhos de ar condicionado, etc.). A parte 1 da NBR 15575 [1] lista as seguintes premissas que devem ser consideradas durante a fase de projeto:

- a) avaliação das condições do entorno, em relação ao ruído de fundo;
- b) nível de ruído externo à edificação e valores-limites estabelecidos para uso interno dos ambientes, ou seja, os níveis de ruído de fundo para o conforto acústico determinados conforme a NBR 10151 [7] e com limites especificados na NBR 10152 [8] a partir do local de implantação da obra e do uso a que se destina a edificação ou suas dependências, e de acordo com a legislação local;
- c) redução do ruído entre o lado externo e o lado interno de ambientes de uso específico, inclusive fachadas;
- d) condições de geração, propagação e recepção dos sons na edificação;
- e) ruídos variáveis, contínuos, de impactos e de vibrações de equipamentos, como motores-bomba,

elevadores, válvulas de descarga, motores geradores de energia, tubulações de água e esgoto, ventilação e ar-condicionado.

3. Parte 1 - Requisitos gerais

A primeira parte da norma [6] adota os seguintes requisitos e critérios gerais para desempenho acústico que devem ser considerados junto à análise do projeto e devem atender às NBR 10151 [7] e NBR 10152 [8], além de considerar os métodos de avaliação descritos nas outras partes da norma.

3.1 Requisito 1 - Isolação acústica de vedações externas

O critério relativo a esse requisito é chamado “*nível tolerável de ruído no interior da habitação*” e considera que a edificação submetida aos níveis de ruído especificados na NBR 10151 [7] deve atender aos limites especificados pela NBR 10152 [8], para níveis de ruído nos ambientes internos. A norma brasileira de desempenho cita que o método de avaliação deve ser “*o mesmo especificado na NBR 10152*”; entretanto, a NBR 10152 não descreve nenhum método de avaliação, ela apenas fornece os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes e informa que devem ser seguidas as disposições de avaliação descritas na NBR 10151.

3.2 Requisito 2 - Isolação acústica entre ambientes

Esse requisito considera dois critérios: “*isolação ao som aéreo entre pisos e paredes internas*” e “*isolação ao som aéreo da envoltória da habitação (vedações externas e coberturas)*”, estabelecidos nas partes 3, 4 e 5 da ABNT NBR 15575 junto com seus respectivos métodos de avaliação.

3.3 Requisito 3 - Ruídos por impactos e ruídos de equipamentos

O critério relativo a esse requisito é chamado “*ruídos gerados por impactos ou vibrações*”, abordado nas partes 3, 4, 5 e 6 da norma, com seus métodos de avaliação especificados.

4. Parte 2 - Requisitos para sistemas estruturais

A segunda parte da norma [9] se refere ao sistema estrutural do edifício e não aborda o desempenho acústico.

5. Parte 3 - Requisitos para sistemas de pisos internos

O piso do edifício deve proporcionar isolamento sonoro tanto entre unidades distintas como entre dependências de uma mesma unidade, principalmente aquelas destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual.

A NBR 15575-3 [10] se aplica a pisos internos ou sistemas de pisos, incluindo acabamentos sujeitos a desgastes e seus substratos que podem gerar ruídos em edificações de vários pavimentos. Ela pode ser aplicada a edifícios habitacionais independente do número de pavimentos, mas não a pisos industriais.

Com relação ao desempenho acústico, as seguintes normas são referenciadas nessa parte: NBR 10151 [7], NBR 10152 [8], ISO 10052 [3], ISO 140-3 [11], ISO 140-4 [12], ISO 140-7 [13], ISO 717-1 [14] e ISO 717-2 [15]. Como essas normas ISO não possuem versão em português, a norma brasileira manteve os símbolos originais em inglês.

5.1 Requisito 1 - Ruído de impacto em piso

O critério é chamado “ruído de impacto aéreo para ensaio de campo”, com os valores para os níveis de desempenho do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado proporcionado pelo entrepiso entre os ambientes, $L'_{nT,w}$, estabelecidos na Tabela 1 e obtidos de acordo com as normas ISO 140-7 [13] ou ISO 10052 [3] e ISO 717-2 [15].

Tabela 1: $L'_{nT,w}$ para ensaio em campo [10].

Elemento	$L'_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	< 80	<i>M</i>
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	55 a 65	<i>I</i>
	< 55	<i>S</i>

O valor exigido na norma para o nível de desempenho mínimo de aceitação, *M*, corresponde a valores representativos de ensaios realizados em pisos de concreto maciço, com espessura de 10 cm a 12 cm, sem acabamento. O método de avaliação para determinar os valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado, L'_{nT} , em função de bandas de frequência, considera medições executadas em todos os entrepisos, com portas e janelas fechadas, e pode ser um dos dois métodos:

- método de engenharia, realizado em campo conforme a ISO 140-7 [13], que determina rigorosamente o isolamento de ruído de impacto global entre ambientes, para bandas de terço de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz ou bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz, caracterizando diretamente o comportamento acústico do sistema; entretanto, seu resultado se restringe somente a esse sistema.
- método simplificado, realizado em campo de acordo com a ISO 10052 [3], que permite obter uma estimativa do isolamento de ruído de impacto em campo, em

bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter esse parâmetro.

A escolha do método deve ser feita considerando-se as necessidades e características de cada um. A partir do conjunto de valores de L'_{nT} , dependentes da frequência, determina-se o valor do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado entre os ambientes, $L'_{nT,w}$, conforme descrito na ISO 717-2 [15].

5.2 Requisito 2 - Isolamento de ruído aéreo entre pisos de unidades habitacionais

Dois parâmetros de isolamento (para pisos ou para o conjunto piso e forro da unidade habitacional inferior) são considerados critérios para esse requisito: a “diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes $D_{nT,w}$ ” ou o “índice de redução sonora ponderado R_w ”, dependendo se as medições são realizadas em campo ou em laboratório. Nos dois casos, portas e janelas devem estar fechadas durante as medições. A Tabela 2 apresenta os valores dos níveis de desempenho para esses critérios, sendo *M* o nível de desempenho mínimo de aceitação.

Tabela 2: $D_{nT,w}$ para ensaio em campo e R_w para ensaio em laboratório [10].

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]	R_w [dB]	Nível de desempenho
Piso de unidade habitacional, posicionado sobre áreas comuns, como corredores	35	40	<i>M</i>
	40 a 45	45 a 50	<i>I</i>
	> 45	> 50	<i>S</i>
Piso separando unidades habitacionais autônomas (unidades habitacionais posicionadas em pavimentos distintos)	40	45	<i>M</i>
	45 a 50	50 a 55	<i>I</i>
	> 50	> 55	<i>S</i>

Os critérios podem ser avaliados pelo:

- método de precisão, realizado em laboratório conforme a ISO 140-3 [11], que determina o índice de redução sonora *R* dos componentes construtivos, em bandas de terço de oitava entre 100 Hz e 5000 Hz; e seu resultado é aplicável a diferentes projetos.
- método de engenharia, realizado em campo de acordo com a ISO 140-4 [12], que determina rigorosamente a diferença de nível padronizada global entre ambientes, D_{nT} , para bandas de terço de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz ou bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz, mas seu resultado se restringe apenas ao sistema avaliado.
- método simplificado, realizado somente em campo conforme a ISO 10052 [3], que fornece uma estimativa da diferença de nível padronizada, D_{nT} , em bandas de

oitava entre 125 Hz e 2000 Hz, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter esse parâmetro.

A escolha entre os métodos deve ser feita levando-se em conta as necessidades e características de cada um, embora, para medições em campo, a norma recomende utilizar o método de engenharia.

Caso o piso entre os ambientes consista de mais de um componente construtivo, o sistema composto pode ser ensaiado em campo ou em laboratório ou então cada componente pode ser ensaiado separadamente em laboratório e depois calculado o isolamento resultante do conjunto a partir dos valores individuais de cada componente, pela Eq. (1):

$$R_G = -10 \log \frac{\sum (S_i 10^{-R_i/10})}{\sum S_i} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

onde R_G é o índice de redução sonora global, R_i é o índice de redução sonora do i -ésimo componente construtivo e S_i é a área do i -ésimo componente. Os valores ponderados R_w ou $D_{nT,w}$ devem ser obtidos conforme a ISO 717-1 [14].

6. Parte 4 - Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas

A NBR 15575-4 [16] se aplica a sistemas de vedações verticais internas e externas, que exercem importantes funções como: isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, compartimentação em casos de incêndio e capacidade de fixação de peças suspensas.

Apenas um requisito acústico é considerado nessa parte, com quatro critérios de desempenho, e deve ser compatível com os níveis de ruído de fundo conforme a NBR 10151 [7] e a NBR 10152 [8]. As normas relativas à acústica também referenciadas são: ISO 140-3 [11], ISO 140-4 [12], ISO 140-5 [17], ISO 717-1 [14] e ISO 10052 [3].

As vedações verticais devem proporcionar isolamento sonoro entre o meio externo e o interno, bem como entre unidades condominiais distintas, além de isolamento sonoro entre dependências de uma mesma unidade, principalmente quando destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual. O requisito acústico definido é chamado “níveis de ruído admitidos na habitação” e para verificar seu atendimento, as medições de isolamento sonoro podem ser feitas em campo ou em laboratório, com um dos três métodos a seguir:

a) método de precisão, realizado em laboratório de acordo com a ISO 140-3 [11], que determina o índice de redução sonora R , para bandas de terço de oitava entre 100 Hz e 5000 Hz, de componentes construtivos e de elementos com mais de um componente (parede com

janela ou com porta), ensaiando separadamente cada um e depois calculando o isolamento global do conjunto através da Eq. (1). Seu resultado é aplicável a diferentes projetos.

b) método de engenharia, realizado em campo conforme a ISO 140-4 [12] para vedações verticais internas ou conforme a ISO 140-5 [17] para vedações verticais externas e fachadas (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas, e somente fachada, nos edifícios multipiso), para bandas de terço de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz ou bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz. Esse método é o mais recomendado para medições em campo, pois é rigoroso ao determinar o isolamento sonoro global das vedações, caracterizando diretamente o comportamento acústico do sistema. Entretanto, seu resultado se restringe a apenas esse sistema.

c) método simplificado, realizado em campo de acordo com a ISO 10052 [3], que fornece uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação interna ou externa (conjunto fachada e cobertura, em casas térreas, e apenas fachada, em edifícios multipiso), para bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz.

6.1 Critério de desempenho 1 - Diferença padronizada de nível ponderado promovida pela vedação externa em ensaio de campo

Os ambientes da unidade habitacional que devem ser avaliados são os dormitórios e a sala de estar, e estes devem atender à NBR 10152 [8]. No caso de edifícios multifamiliares ou conjuntos habitacionais, devem ser avaliados os dormitórios de unidades habitacionais escolhidas como sendo representativas.

As medições devem ser realizadas com portas e janelas fechadas, ensaiando a fachada completa, através de um dos dois métodos de campo descritos acima (método de engenharia conforme a ISO 140-5 [17] ou método simplificado) junto com o procedimento da ISO 717-1 [14], para determinar o valor da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada, $D_{2m,nT,w}$.

Os níveis de desempenho estabelecidos para esse critério estão listados na Tabela 3, sendo o nível de desempenho mínimo M recomendado, e não obrigatório. Para vedação externa de cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas. Se a habitação estiver localizada junto a vias de tráfego intenso (rodoviário, ferroviário ou aéreo), deve-se acrescentar 5 dB aos valores de $D_{2m,nT,w}$.

Tabela 3: $D_{2m,nT,w}$ da vedação externa para ensaio em campo [16].

Sistema (Elemento)	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	$D_{2m,nT,w} + 5$ [dB]	Nível de desempenho
Vedação externa de dormitórios	25 a 29	30 a 34	M - recomendado
	30 a 34	35 a 39	I
	≥ 35	≥ 39	S

6.2 Critério de desempenho 2 - Índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos da fachada pelo ensaio de laboratório

Os níveis de desempenho para o índice de redução sonora ponderado da fachada, R_w , estão indicados na Tabela 4, que considera valores para paredes cegas obtidos pelo método de precisão junto com o procedimento da ISO 717-1 [14]. O nível mínimo M é recomendado, e não obrigatório. Para verificar o desempenho global da fachada, incluindo janelas, e na ausência de valores de R_w para fachadas com janelas, a norma informa que devem ser adotados os valores da Tabela 3, relativos a medições em campo.

Tabela 4: R_w da fachada para ensaio em laboratório [16].

Sistema (Elemento)	R_w [dB]	$R_w + 5$ [dB]	Nível de desempenho
Fachada	30 a 34	35 a 39	M - recomendado
	35 a 39	40 a 44	I
	≥ 39	≥ 45	S

Os níveis de desempenho para a diferença padronizada de nível ponderada das vedações verticais internas, $D_{nT,w}$, são fornecidos na Tabela 5 que considera os valores para paredes cegas medidos através de um dos métodos de campo descritos (de engenharia de acordo com a ISO 140-4 [12] ou simplificado) junto com o

Tabela 5: $D_{nT,w}$ entre ambientes para ensaio em campo e R_w dos componentes construtivos para ensaio em laboratório [16].

Elemento da edificação	$D_{nT,w}$ [dB]	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, halls e escadaria nos pavimentos-tipo	30 a 34	35 a 39	M - recomendado
	35 a 39	40 a 44	I
	≥ 40	≥ 45	S
Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, halls e escadaria nos pavimentos-tipo	40 a 44	45 a 49	M
	45 a 49	50 a 54	I
	≥ 50	≥ 55	S
Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	50 a 54	M
	50 a 54	55 a 59	I
	≥ 55	≥ 60	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40 a 44	45 a 49	M
	45 a 49	50 a 54	I
	≥ 50	≥ 55	S

6.3 Critério de desempenho 3 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes (vedações verticais internas) em ensaio de campo

Com relação ao desempenho acústico, o sistema de cobertura deve proporcionar condições de isolamento sonoro para repouso noturno nos dormitórios e para atividades intelectuais, de descanso e de lazer doméstico nas salas de estar e, no caso de edifícios que possibilitam acesso coletivo à cobertura, o projeto deve especificar o uso coletivo da cobertura que deve apresentar isolamento sonoro para ruídos transmitidos

procedimento da ISO 717-1 [14] para obter seu valor ponderado. O nível de desempenho mínimo M é recomendado, mas não é obrigatório.

6.4 Critério de desempenho 4 - Índice de redução sonora ponderado entre ambientes pelo ensaio de laboratório

O isolamento entre ambientes deve apresentar níveis de desempenho para o índice de redução sonora ponderado, R_w , conforme indicado na terceira coluna da Tabela 5. O método de avaliação é o mesmo do critério de desempenho 2 e o nível de desempenho M também é recomendado e não obrigatório. Para verificar o desempenho global, incluindo portas, e na ausência de valores de R_w para paredes com portas, a norma informa que devem ser adotados os valores de $D_{nT,w}$, medidos em campo, indicados na segunda coluna da Tabela 5.

7. Parte 5 - Requisitos para sistemas de coberturas

A parte 5 da norma [18] considera sistemas de coberturas e seus componentes. O termo sistema de cobertura se refere à cobertura disposta no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, contribuir para o conforto termo-acústico do edifício e protegê-lo da deterioração por agentes naturais.

por impactos. As normas referenciadas são: NBR 10151 [7], NBR 10152 [8], ISO 140-3 [11], ISO 140-4 [12], ISO 140-5 [17], ISO 140-7 [13], ISO 717-1 [14], ISO 717-2 [15] e ISO 10052 [3]. Os níveis de desempenho acústico estabelecidos devem ser compatíveis com o nível de ruído de fundo do local de implantação da obra e com seu uso, de acordo com a NBR 10151 [7] e a NBR 10152 [8]. É uma premissa de projeto especificar o uso de cada ambiente e, para essa parte da norma, o nível de desempenho mínimo é de atendimento obrigatório e dois requisitos acústicos são especificados com seus critérios de avaliação.

7.1 Requisito 1 - Isolação acústica da cobertura devida a sons aéreos (fontes de emissão externas)

Esse requisito se refere ao isolamento de ruído aéreo, mas não ao ruído de impacto de chuva e, segundo a parte 5 da norma [18], o nível de desempenho M foi estabelecido considerando nível de ruído de fundo ponderado em A de até 75 dB. As medições de isolamento sonoro podem ser realizadas em campo ou em laboratório, com um dos três métodos abaixo, com portas e janelas fechadas:

- método de precisão, realizado em laboratório conforme a ISO 140-3 [11], para determinar o índice de redução sonora R dos componentes construtivos ou do conjunto de componentes.
- método de engenharia, realizado em campo conforme a ISO 140-5 [17], para determinar o isolamento sonoro global da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, sendo esse o método mais recomendado entre as medições em campo.
- método simplificado, realizado em campo de acordo com a ISO 10052 [3].

7.2 Critério de desempenho 1 - Isolação acústica da cobertura devida a sons aéreos para casas térreas pelo ensaio de campo

A vedação externa da unidade habitacional (fachada e cobertura) deve apresentar diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada, $D_{2m,nT,w}$, conforme os níveis indicados na Tabela 6. Para habitações localizadas junto a vias de tráfego intenso, deve ser acrescido 5 dB aos valores de $D_{2m,nT,w}$. Para medir $D_{2m,nT,w}$ pode-se utilizar um dos métodos de avaliação em campo com a ISO 717-1 [14] e, sempre que possível, deve-se adotar o método de engenharia.

Tabela 6: $D_{2m,nT,w}$ da vedação externa para ensaio em campo [18].

Elemento (Sistema)	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	$D_{2m,nT,w} + 5$ [dB]	Nível de desempenho
Vedação externa (fachada + cobertura)	30 a 34	35 a 39	M
	35 a 39	40 a 44	I
	≥ 40	≥ 45	S

7.3 Critério de desempenho 2 - Índice de redução sonora ponderado da cobertura pelo ensaio de laboratório

A cobertura da unidade habitacional deve apresentar índice de redução sonora ponderado, R_w , conforme a Tabela 8. Se a habitação estiver localizada junto a vias de tráfego intenso, deve-se somar 5 dB ($R_w + 5$ dB) e quando o sistema de cobertura for constituído por vários componentes, o ensaio deve ser realizado ou no sistema completo ou para cada componente e então calculado o isolamento resultante. Para determinar os valores de R_w ,

deve ser usado o método de precisão em laboratório e o procedimento da ISO 717-1 [14].

Tabela 7: R_w da cobertura para ensaio em laboratório [18].

Elemento (Sistema)	R_w [dB]	$R_w + 5$ [dB]	Nível de desempenho
Cobertura	35 a 39	40 a 44	M
	40 a 44	45 a 49	I
	≥ 45	≥ 50	S

7.4 Requisito 2 - Isolação de ruído de impacto para as coberturas acessíveis de uso coletivo

O critério é chamado “*isolação de ruídos de impactos em coberturas acessíveis de uso coletivo*” com valores de níveis de desempenho para o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado para coberturas de uso coletivo, $L'_{nT,w}$, fornecidos na Tabela 8 e obtidos pelo método de engenharia conforme a ISO 140-7 [13] ou pelo método simplificado conforme a ISO 10052 [3].

Tabela 8: $L'_{nT,w}$ para ensaio em campo [18].

Elemento (Sistema)	$L'_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Cobertura acessível, de uso coletivo	56 a 65	M
	46 a 55	I
	≤ 45	S

8. Parte 6 - Requisitos para sistemas hidrossanitários

A sexta e última parte da norma [19] se refere aos sistemas hidrossanitários, que são os sistemas hidráulicos prediais destinados a suprir os usuários com água potável e reuso, a coletar e afastar os esgotos sanitários, bem como a coletar e dar destino às águas pluviais.

Essa parte da norma não faz nenhuma referência a normas da área de acústica, embora especifique um requisito de desempenho acústico com dois critérios de avaliação. O requisito acústico é chamado “*limitação de ruídos*” e considera que os sistemas hidrossanitários da edificação não devem “*provocar ruídos desagradáveis aos seus usuários*”.

Os critérios especificados para o requisito são “*velocidade de escoamento da água*” e “*ruídos gerados por vibrações*”. Para o primeiro critério, de acordo com a norma, a velocidade de escoamento da água nas tubulações dos sistemas prediais de água fria, água quente e águas pluviais não deve ser superior a valores fornecidos por algumas normas brasileiras específicas referenciadas, incluindo a NBR 10152 [8] quando aplicável. Para o segundo critério, as tubulações, equipamentos e demais componentes sujeitos a esforços dinâmicos devem ser projetados para que não propaguem vibrações aos elementos das edificações.

A norma cita que os métodos de avaliação consistem na análise de projeto quanto aos dispositivos previstos para eliminação de ruídos, incluindo a avaliação das justificativas técnicas, e quanto ao atendimento das normas referenciadas. Entretanto, não são especificados valores para nenhum desses critérios, o que nos permite concluir que são critérios ainda pouco estudados e verificados.

9. Considerações

Foram apresentados os requisitos e critérios relacionados ao desempenho acústico considerados na norma brasileira de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos [1]. A norma é composta de seis partes e aborda 12 tipos de desempenho para cinco sistemas que compõem os

edifícios, sendo, portanto, bastante extensa. A norma passa a ser válida a partir de maio de 2010 e sua aplicação levará a um aumento na demanda de avaliações do desempenho dos vários critérios definidos na mesma. A NBR 15575 [1] confirma a importância das normas brasileiras NBR 10151 [7] e NBR 10152 [8], que devem ser utilizadas e atendidas.

A Tabela 9 relaciona resumidamente os requisitos e critérios de desempenho acústico considerados na norma [1] divididos para isolamento sonoro aéreo e isolamento sonoro de impacto com: o local da medição, o parâmetro que deve ser medido, as normas internacionais que devem ser utilizadas para as medições e a parte da norma que estabelece os níveis de desempenho.

Tabela 9: Resumo dos critérios de desempenho acústico considerados na norma brasileira de edificações.

		local da medição	índice de isolamento ponderado	normas ISO usadas para obter os índices de isolamento sonoro	parte da norma ABNT NBR 15575 relativa ao índice	norma ISO para obter o índice ponderado
isolamento sonoro aéreo	entre pisos	campo	$D_{nT,w}$	ISO 140-4 ou ISO 10052	Parte 3	ISO 717-1
		laboratório	R_w	ISO 140-3	Parte 3	
	de vedações externas (fachadas)	campo	$D_{2m,nT,w}$	ISO 140-5 ou ISO 10052	Parte 4	
		laboratório	R_w	ISO 140-3	Parte 5	
	entre vedações internas (paredes ou divisórias)	campo	$D_{nT,w}$	ISO 140-4 ou ISO 10052	Parte 4	
		laboratório	R_w	ISO 140-3	Parte 4	
	de cobertura	campo	$D_{2m,nT,w}$	ISO 140-5 ou ISO 10052	Parte 5	
		laboratório	R_w	ISO 140-3	Parte 5	
isolamento sonoro de impacto	de piso	campo	$L'_{nT,w}$	ISO 140-7 ou ISO 10052	Parte 3	ISO 717-2
	de cobertura				Parte 5	

No caso do desempenho acústico, as medições de isolamento sonoro aéreo e de impacto devem ser feitas de acordo com normas internacionais que ainda não possuem tradução para a língua portuguesa, diferente do que ocorre com outros tipos de desempenho, como o estrutural, por exemplo, que possui normas brasileiras.

Portanto, os símbolos originais dos parâmetros de isolamento sonoro de acordo com a ISO 140 [2] foram mantidos na NBR 15575 [1].

Recomenda-se que as normas ISO 140 [2] e ISO 717 [4] sejam traduzidas para a língua portuguesa de modo a padronizar melhor em nosso país os seus procedimentos e nomenclaturas.

Assim como o Brasil, muitos países possuem algum tipo de regulamentação de isolamento sonoro em edificações, mas geralmente os critérios são mais exigentes que os estabelecidos na norma brasileira de desempenho.

Um ponto da ABNT NBR 15575 [1] que pode gerar controvérsias é o fato das medições acústicas poderem ser realizadas por qualquer profissional ou equipe que se julgue capaz, quando essa capacitação além de não ser definida, também não será verificada por um órgão acreditado, o que poderia ser feito.

Outro ponto em aberto é em relação a limites de tolerância ou incertezas nas medições. Os parâmetros sonoros medidos por diferentes profissionais deverão ser comparáveis não somente entre si, mas também com os valores estabelecidos na norma e para que isto seja possível, as incertezas das medições devem ser expressas. Embora na versão do projeto de norma [5], anterior a sua publicação, houvesse notas com valores admissíveis de incertezas relativas às medições, essas notas foram retiradas na versão publicada da norma de desempenho [1], na qual não é fornecido nenhum valor relativo à incerteza de medição para os parâmetros

acústicos considerados nos diferentes critérios de desempenho.

Apesar do conceito de incerteza ainda ser pouco utilizado e não estar difundido em todas as áreas de conhecimento consideradas na norma de desempenho, alguma informação poderia ser dada sobre incerteza, pois existe um documento internacional que padroniza como estimar a incerteza do resultado de qualquer medição: o *Guia para a Expressão da Incerteza de Medição* (GUM), [20], [21], que está sendo cada vez mais utilizado mundialmente.

Referências

- [1] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*, Associação Brasileira de Normas Técnicas - todas as partes.
- [2] ISO 140: *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*, International Organization for Standardization - todas as partes.
- [3] ISO 10052: 2004: *Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of equipment sound - Survey method*, International Organization for Standardization.
- [4] ISO 717: 1996: *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements*, International Organization for Standardization - todas as partes.
- [5] ABNT/CB 02 PROJETO 02:136.01-001: 2006, *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*, Comitê Brasileiro de Construção Civil, Associação Brasileira de Normas Técnicas - todas as partes.
- [6] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [7] NBR 10151: 2000: *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [8] NBR 10152: 1987: *Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [9] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para sistemas estruturais*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos internos*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [11] ISO 140-3: 1995: *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation between rooms*, International Organization for Standardization.
- [12] ISO 140-4: 1998: *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*, International Organization for Standardization.
- [13] ISO 140-7: 2006: *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*, International Organization for Standardization.
- [14] ISO 717-1: 1996: *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Airborne sound insulation*, International Organization for Standardization.
- [15] ISO 717-2: 1996: *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation*, International Organization for Standardization.
- [16] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [17] ISO 140-5: 1998: *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*, International Organization for Standardization.
- [18] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [19] ABNT NBR 15575: 2008: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 6: Requisitos para sistemas hidrossanitários*, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [20] ISO/IEC Guide 98-3: 2008: *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*, International Organization for Standardization.
- [21] ABNT, INMETRO: 2003: *Guia para a Expressão da Incerteza de Medição, Terceira Edição Brasileira do Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Edição Revisada.

Análise dos estudos de mapeamento dos níveis de pressão sonora e da avaliação do incômodo sonoro nas cidades de Maringá e Curitiba no estado do Paraná

Zanqueta, H. F. B.*; Palhano, E. A. de Q.*; Ribeiro, C. S.*; Cantieri, E.*; Catai, R. E.*

*Akustica & Engenharia, Curitiba-Pr, contato@akustica.net

+Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba-Pr

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e comparar estudos independentes de mapeamento dos níveis de pressão sonora – NPS – e de incômodo sonoro, realizados nas cidades de Maringá e Curitiba, ambas no estado do Paraná. A comparação é realizada quanto aos níveis de pressão sonora, o grau de incômodo sonoro percebido pela comunidade – determinado através de pesquisas e ou entrevistas -, suas principais causas, as soluções propostas pelos autores e quanto às metodologias utilizadas em cada trabalho. São identificadas as semelhanças nas conclusões dos autores, bem como a aplicabilidade das soluções propostas. Outro objetivo é verificar a viabilidade das metodologias utilizada pelos autores, além de conscientizar a população dos danos e riscos que os níveis excessivos de pressão sonora podem trazer para a qualidade de vida das pessoas nos grandes centros urbanos. Por fim, apresentar uma proposta de metodologia para elaboração de trabalhos conjuntos de mapeamento dos níveis de pressão sonora com avaliação, por parte da comunidade, do incômodo sonoro nas ruas das cidades.

Palavras-chave: incômodo sonoro, nível de pressão sonora, ruído, poluição sonora.

1. Introdução

A poluição sonora é um dos problemas ambientais mais graves nos grandes centros urbanos, sendo uma constante ameaça ao ser humano. Embora ela não se acumule no meio ambiente, como outros tipos de poluição – poluição visual, poluição atmosférica -, esta causa vários danos ao corpo e à qualidade de vida das pessoas.

Na definição de psicologia [5], o homem se constitui no contexto físico e social, sendo dialeticamente modificado ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento deste ambiente. Desta forma, a construção da subjetividade humana, bem como os aspectos psicológicos implicados (percepção, ação, sensações etc) estão pautados em estímulos – nos quais se incluem o sonoro – que criamos dentro do ambiente no qual vivemos, que mediam a realidade atribuída a nós, humanos.

Segundo a World Health Organization, 2003 [10], a poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas, o que conseqüentemente altera os sentidos e a forma de se relacionar com o mundo e com as outras pessoas, já que os sujeitos incorporam as experiências que são vivenciadas diariamente. Ocorrem, a partir do aumento do ruído, alterações nas reações psíquicas como, por exemplo, a motivação, nervosismo, a agressividade, a capacidade de

aprendizagem e de concentração; influenciando diretamente na qualidade de vida dos indivíduos moradores de zonas urbanas.

Este tipo de poluição é provocado pelo ruído excessivo das indústrias, canteiros de obras, meios de transporte, áreas de recreação, tráfego de veículos, uso irresponsável de megafones e propagandas em carros de som, entre outros. Estes ruídos provocam efeitos negativos para o sistema auditivo das pessoas, além de provocar alterações comportamentais e orgânicas. Dentre os efeitos negativos destacam-se: a insônia - dificuldade de dormir -, o estresse, a depressão, a perda auditiva, o aumento da agressividade, a dificuldade de concentração, a perda de memória, dores de cabeça, o aumento da pressão arterial, o cansaço, gastrites, úlceras e a diminuição do rendimento escolar e no trabalho.

Segundo Belojevic *et al.* e Maschke (*apud* Zanin e Szeremetta [6]) o nível de pressão sonora excessivo é um fato comum nos grandes centros urbanos, gerado principalmente pelos meios de transporte. Seus estudos mostram que o ruído de tráfego de 66dB(A) é considerado como o limiar do dano à saúde e, conseqüentemente, a medicina preventiva estabelece 65dB(A) como o nível máximo a que um cidadão pode se expor no meio urbano, sem riscos.

Nos últimos anos, a preocupação das pessoas para com o meio ambiente em que vivem e com a qualidade de vida tornou-se constante. Devido ao

incontrolável aumento da poluição a que os cidadãos e trabalhadores urbanos estão expostos, como poluição atmosférica, visual ou sonora, torna-se necessário a elaboração urgente de medidas para o controle. Por este motivo, justifica-se o desenvolvimento de um tema que envolva esta preocupação e tente da forma mais coerente possível solucioná-lo.

Assim, uma revisão da literatura apresenta alguns trabalhos que foram realizados nas cidades do estado do Paraná, dentre eles destacam-se: Zanqueta e Sousa [1], apresentaram um trabalho de mapeamento dos níveis de pressão sonora em 225 pontos da região central da cidade de Maringá-PR, identificando as principais fontes sonoras e apresentando meios para atenuação dos níveis de pressão sonora excessivos. Cantieri *et al.* [2], realizou o mapeamento dos níveis de pressão sonora em 55 pontos na região central de Curitiba-PR, identificando as principais fontes sonoras e apresentando meios para atenuação dos níveis de pressão sonora excessivos. Zanin e Szeremetta [6], realizaram um estudo da poluição sonora no parque Jardim Botânico de Curitiba. Efetuaram medições do nível de pressão sonora em 21 pontos espalhados dentro da área do parque, além de entrevistas com os freqüentadores do local. Bortoli [3], apresentou os resultados e as respectivas análises referentes aos dados auferidos pelas medições dos níveis de pressão sonora, realizadas por meio de um medidor de nível de pressão sonora padrão e por cinco monitores acústicos instalados, estrategicamente, em zonas urbanas distintas na região central da cidade de Curitiba, no estado do Paraná. A partir da análise dos resultados obtidos, verificaram-se algumas características fenomenológicas ao longo dos períodos anuais compreendidos entre 1998 e 2000. Zanin *et al.* [4], descrevem a reação da população de Curitiba-PR ao ruído ambiental, sendo os dados coletados por meio de questionários distribuídos aleatoriamente aos moradores da cidade.

2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e comparar os estudos independentes de mapeamento dos níveis de pressão sonora e da avaliação do incômodo sonoro, realizados nas cidades de Maringá e Curitiba, ambas no estado do Paraná. A comparação será realizada quanto aos níveis de pressão sonora, suas principais causas, as soluções propostas pelos autores e a percepção dos cidadãos sobre o grau de incômodo sonoro a que estão expostos - levantadas por meio de pesquisa e ou entrevistas. Serão identificadas as semelhanças nas metodologias utilizadas e nas conclusões dos autores, bem como, a aplicabilidade das soluções propostas. Um segundo objetivo é delinear uma nova metodologia, mais

abrangente e eficiente que as utilizadas pelos autores anteriormente citados como forma de padronizar uma avaliação dos níveis de pressão sonora e correlacionar esses níveis com o grau de incômodo sonoro percebido pela comunidade.

Além do exposto acima, outro objetivo do presente trabalho é conscientizar a população dos danos e riscos que os níveis de pressão sonora excessivos e a poluição sonora podem trazer para a qualidade de vidas nas comunidades dos grandes centros urbanos.

3. Metodologias utilizadas

Ao se comparar os trabalhos de Zanqueta e Sousa [1] e de Cantieri *et al.* [2], percebe-se que ambos os estudos utilizaram metodologias semelhantes, onde a região de análise fora escolhida em função do grande fluxo de pessoas, veículos e atividade comerciais. Em ambos os estudos as áreas analisadas tiveram seus níveis de pressão sonora máximo estabelecidos em função do tipo de zoneamento, o qual é definido por leis orgânicas municipais e plano diretor de cada cidade – em Maringá a Lei Orgânica Municipal número 218/1998 e em Curitiba a Lei Orgânica Municipal número 10625/2002.

A Figura 1 demonstra a região avaliada na cidade de Maringá-PR.

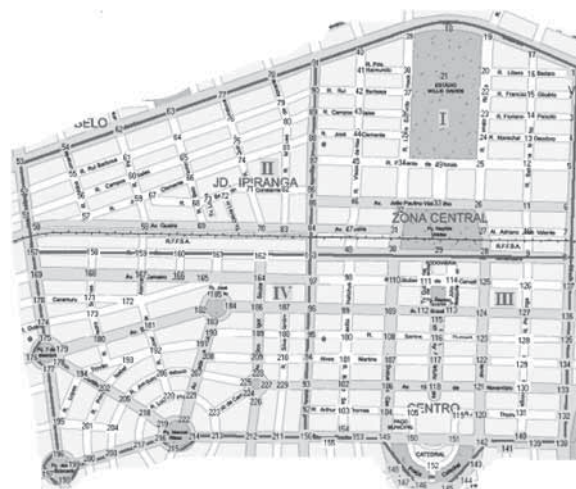


Figura 1: Região de avaliação dos níveis de pressão sonora em Maringá-PR, Fonte: [1]

A Figura 2 demonstra a região avaliada na cidade de Curitiba-PR. As duas metodologias de medições são idênticas, diferenciando-se apenas na quantidade de pontos analisados. Os dois estudos realizaram medições de pressão sonora nas esquinas das ruas, com um medidor de nível de pressão sonora DEC 460 (Padrão: IEC tipo II, faixa de freqüência: 31,5 Hz – 8 kHz, faixa dinâmica: 30 – 130 dB, resolução: 0,1 dB) com ponderação A e tempo de integração *fast* (125 ms) conforme recomendação d NBR 10151.



Figura 2: Região de avaliação dos níveis de pressão sonora em Curitiba-PR, Fonte: [2].

As medições foram realizadas a uma distância mínima de 1,5 m das paredes e outras superfícies refletoras e a uma altura de 1,5 m do solo. O horário das 9:00 às 18:00 escolhido fora função do grande movimento de pessoas e veículos. Os autores evitaram a influência de sons não desejados como vento – pelo uso de *windscreen* -, ruído de interferências elétricas e condições climáticas extremas.

Em seu trabalho, Zanin, *et al.* [6], elaboraram um questionário sobre dados demográficos do ambiente residencial urbano e o desconforto causado pelos níveis de pressão sonora, com a finalidade de identificar as principais fontes do ruído do ambiente urbano e a reação da população a essas fontes. Os participantes da pesquisa foram escolhidos de modo aleatório, de forma a representar os moradores dos bairros residenciais da cidade de Curitiba, conforme disposto na Lei de Zoneamento e Ocupação do Solo da prefeitura municipal de Curitiba. Os participantes da pesquisa foram contatados por telefone. Posteriormente, receberam o questionário pelo correio. Após duas semanas, 50 colaboradores tiveram a incumbência de buscar os questionários na residência de cada participante. Houve retorno de 86% dos mil questionários enviados.

Bortoli [3], elaborou uma pesquisa descritiva, na qual foram realizadas medições por meio de um medidor de nível de pressão sonora portátil. Os níveis de pressão sonora foram também auferidos a partir da análise de aproximadamente 540.000 mil dados armazenados pelos cinco monitores de NPS fixos na cidade de Curitiba-PR.

Por meio dos cinco monitores acústicos fixos, localizados em pontos distintos de acordo com a ocupação humana caracterizada pelo zoneamento urbano da prefeitura municipal de Curitiba – conforme demonstrado na Figura 3 -, foram realizadas medições contínuas de ruído em escala de ponderação “A”, com integração do tempo de 1,0

segundo (*slow*) durante 24 horas diárias ao longo dos anos de 1998, 1999 e 2000. Tais monitores armazenavam dados auferidos de 10 em 10 segundos, e disponibilizava os níveis de pressão sonora equivalentes (L_{Aeq}) a cada hora do dia, durante todo o ano. Os níveis de pressão sonora mínimos (L_{min}) e máximos (L_{max}) também eram armazenados e apresentados de hora em hora, gerando-se, desta maneira. Os medidores de nível de pressão sonora utilizados nos monitores acústicos fixos são da marca Larson Davis e atendem às recomendações do tipo II da IEC 651, norma complementar da NBR-10.151/87. Sua precisão e tolerância são, respectivamente, 0,7 dB(A) e 1,0 dB(A).



Figura 3: Posicionamento dos medidores de pressão sonora fixos na cidade de Curitiba-PR, Fonte: [3].

Para verificar a confiabilidade dos dados medidos por meio deste monitoramento fixo, foi utilizado um medidor de nível sonoro portátil da marca Minipa, modelo MSL-1351C, tipo II da IEC 651, a fim de buscar a reprodutibilidade dos mesmos. O procedimento consistiu em medições intercaladas de 15 em 15 segundos durante um período de oito horas não consecutivas em cada um dos cinco monitores acústicos. Estas medições comparativas seguiram as recomendações da NBR-10.151, 1987 [8], referentes às medições no ambiente externo, ou seja, as mesmas foram efetuadas a 1,2 metros acima do solo numa distância superior a 1,5 metros de paredes de edifícios e outras superfícies refletoras. Durante as medições, foi tomado o cuidado para se evitar a influência de sons não desejados no resultado, como por exemplo, o ruído do vento. Para tal finalidade, utilizou-se o *windscreen*.

Em Zanin e Szeremetta [6] há a separação do trabalho em duas fases distintas: (1) medições dos níveis de pressão sonora em diferentes pontos do parque Jardim Botânico, para compará-los com o nível de 65dB(A) e com a Lei Municipal nº 8.583, que estabelece o nível de 55dB(A) como limite máximo para emissões sonoras em Áreas Verdes; (2) utilização de um questionário elaborado pelos

autores, aplicado por meio da técnica de entrevistas, com o objetivo de conhecer a reação dos freqüentadores do parque aos níveis de pressão sonora deste local.

A amostra de freqüentadores (52% homens e 48% mulheres), num total de 50, foi selecionada aleatoriamente. As faixas etárias foram classificadas da seguinte forma: de 19 a 29 anos (34%); de 30 a 40 anos (26%); de 41 a 51 anos (20%); e acima de 52 anos (20%). Os entrevistados foram abordados durante a realização de caminhadas e corridas. As entrevistas foram realizadas por dois entrevistadores, de segunda a sexta-feira, totalizando dez entrevistas por dia, no período das 18 às 19 horas, horário de maior utilização do parque.

O tamanho reduzido da amostra, de 50 entrevistados, deve-se à dificuldade encontrada em se obter a colaboração dos freqüentadores do parque para responder ao questionário. Essa dificuldade pode ser explicada pelo fato de as entrevistas terem sido efetuadas durante a realização dos exercícios e por tomarem um determinado tempo das pessoas. Como posteriormente ficou evidente, 96% dos entrevistados procuram o parque para praticar atividades físicas. Onze pessoas recusaram-se a responder o questionário.

As medições foram efetuadas no horário de tráfego veicular mais intenso (das 18 às 19 horas), e com ausência de fontes sonoras atípicas: chuva e vento forte. As medições dos níveis sonoros foram realizadas com o medidor Brüel & Kjaer 2238, de acordo com as seguintes etapas: (a) foram escolhidos 21 pontos de medição por meio da análise de carta topográfica; (b) as medições foram realizadas nas pistas por onde os freqüentadores do local circulam; (c) o tempo de medição em cada ponto foi de cinco minutos.

3.1. Determinação do nível de pressão sonora equivalente

Todos os autores que realizaram medições dos níveis de pressão sonora utilizaram a norma NBR 10151, 2000 [7], para determinação do nível de pressão sonora equivalente, tal norma define o cálculo do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) como:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (1)$$

sendo:

L_i o nível de pressão sonora lido em resposta rápida – *fast* – a cada 5 segundos, durante o tempo de medição;

n é número total de leituras;

4. Resultados

Os trabalhos de Zanqueta e Sousa [1] e Cantieri *et al.* [2], podem ser separados em 3 aspectos: mapa dos níveis de pressão sonora, identificação das fontes e propostas de atenuação. A Figura 4 apresenta o mapa dos níveis de pressão sonora, segundo a referência [1], para a cidade de Maringá-PR. A Tabela 1 representa um resumo dos dados gerais das medições.



Figura 4: Mapa dos níveis de pressão sonora em Maringá-PR, Fonte [1]

Tabela 1: Resumo dos níveis de pressão sonora para a cidade de Maringá-PR, Fonte [1]

Pontos analisados	225
Horário de medição [hs]	9 às 18
Pontos com NPS maior que o permitido [65 dB(A)]	214
Nível médio de pressão sonora [dB(A)]	74
Média da diferença entre medido e permitido [dB(A)]	15
L_{Aeq} máximo medido [dB(A)]	94
L_{Aeq} mínimo medido [dB(A)]	52

A Tabela 2 apresenta o resumo dos NPS para a cidade de Maringá-PR, mas agrupados conforme as regiões de análise, ilustradas na Figura 1.

Tabela 2: Resumo dos resultados dos níveis de pressão sonora para a cidade de Maringá-PR, agrupado para as regiões de análise, Fonte: [1].

	Região I	Região II	Região III	Região IV
% de pontos 2 dB(A) maior que o permitido	95,8	90,5	95,3	91,9
L_{Aeq} médio [dB(A)]	77	73	73	73
Média da diferença entre L_{Aeq} medido e L_{Aeq} permitido	17,7	14,3	14,3	13,8

Através do comparativo entre a Figura 4 com as recomendações de níveis de pressão sonora máximos enunciados na Lei Municipal 218/1998 e com os valores da Tabela 1, torna-se mais fácil verificar que os NPS maiores do que permitidos estão presentes em praticamente toda a região central da cidade de Maringá-PR. Sendo mais graves nas seguintes localidades:

- **Avenida Colombo:** praticamente em toda a extensão pesquisada os níveis de pressão sonora ficaram acima dos 80 dB(A), sendo que o L_{Aeq} máximo neste trecho fora de 93 dB(A).
- **Rua Tamandaré:** principalmente próximo a antiga rodoviária. Os altos níveis de pressão sonora nesta rua são devidos ao grande tráfego de carros, motos e principalmente de ônibus de transporte urbano – coletivos.
- **Rua Joubert de Carvalho:** devido ao tráfego intenso de carros, motos e principalmente de ônibus de transporte urbano – coletivos.
- **Avenida Brasil:** devido ao tráfego intenso de carros, motos e propagandas das lojas através de caixas de som alojadas próximos a calçada.

Pela Tabela 2 pode-se perceber que a região com maior nível de pressão sonora média é a região I e a região que apresenta maior discrepância entre os valores recomendados por lei e os valores mensurados também é a região I. Ainda pela Tabela 2 e pelas Figuras 1 e 4 pode-se perceber que as áreas residenciais – concentradas nas regiões I e II – possuem níveis de pressão sonora médios próximos ao da região III, a qual é praticamente uma área comercial.

A Figura 5 apresenta o mapa dos níveis de pressão sonora, segundo a referência [2], para a cidade de Curitiba-PR. A Tabela 3 representa um resumo dos dados gerais das medições.



Figura 5: Mapa dos níveis de pressão sonora em Curitiba-PR, Fonte [2]

Segundo Cantieri *et al.* [2], as ruas/avenidas Visconde de Guarapuava, Alferes Poli, 24 de Maio, Lourenço Pinto,

Marechal Floriano, Peixoto e Desembargador Westphalen apresentaram os maiores níveis de pressão sonora médios.

Tabela 3: Resumo dos níveis de pressão sonora para a cidade de Curitiba-PR, Fonte [2]

Pontos analisados	55
Horário de medição [hs]	9 às 18
NPS acima do permitido [65dB(A)]	55
NPS médio [dB(A)]	88
Média da diferença entre medido e permitido [dB(A)]	17
NPS máximo medido [dB(A)]	100
NPS mínimo medido [dB(A)]	73
L_{Aeq} máximo medido [dB(A)]	98
L_{Aeq} mínimo medido [dB(A)]	75

Esta característica justifica-se principalmente pelo intenso tráfego de veículos e ônibus e pela alta velocidade de escoamento, por estas serem ruas largas e com mais de duas pistas de rodagem. É importante salientar que estes resultados devem ser aplicados somente aos pontos de análise, e não as demais extensões destas ruas. A rua Alferes Poli, por exemplo, apresentou a segunda maior média de nível de pressão sonora (93,3 dB (A)), porém deve-se levar em consideração que a região desta rua serve de entrada para uma grande quantidade de ônibus que chegam na Praça Rui Barbosa.

As ruas/avenidas Nunes Machado, Desembargador Mota, Visconde do Rio Branco, Emiliano Pernetá / Marechal Deodoro, Monsenhor Celso, Lamenha Lins, Brigadeiro Franco, Senador Alencar, Travessa Jesuíno Marcondes, Sete de Setembro, Barão do Rio Branco, Dr. Muricy, José Loureiro e Voluntários da Pátria apresentaram níveis de pressão sonora entre 80,0 e 90,0 dB (A). Dentre as características destas ruas, tem-se um intenso trânsito de veículos, porém com uma menor quantidade de ônibus e uma velocidade de tráfego inferior ao primeiro grupo de ruas analisado.

O último grupo compreendido pelas ruas Pedro Ivo, Alencar Guimarães, Praça Rui Barbosa, Visconde de Nácar e Dr. Pedrosa / André de Barros, apresentou os menores níveis de pressão sonora, entre 75 e 80 dB (A). As duas primeiras ruas deste grupo têm como característica serem estreitas, o que contribui para um trânsito lento. Apesar de as ruas Visconde de Nácar e Dr. Pedrosa não serem escoadouros estreitos, no momento da medição havia grandes congestionamentos que contribui para a baixa velocidade de passagem dos veículos.

Em sua pesquisa, Zannin *et al.* [4], apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada com 860

moradores de Curitiba, onde constatou que as principais fontes de ruído¹ causadoras de incômodo identificadas foram o tráfego de veículos (73%) e os vizinhos (38%), sendo que estes foram classificados como a principal fonte de desconforto e incômodo sonoro. A Figura 6 apresenta os resultados para as principais fontes de incômodo sonoro identificadas na pesquisa. Todos os respondentes apontaram pelo menos um dos seguintes itens como geradores de ruído¹: vizinhos, animais, sirenes, construção civil, templos religiosos, casas noturnas, brinquedos e aparelhos domésticos. As principais reações aos níveis de pressão sonora foram: irritabilidade (58%), baixa concentração (42%), insônia (20%) e dores de cabeça (20%).

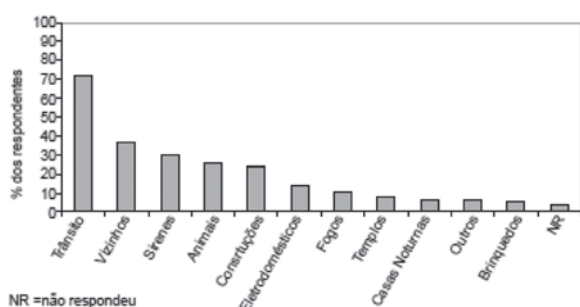


Figura 6: Principais fontes de incômodo sonoro identificado na pesquisa de opinião, Fonte [4]

Indagados se o nível de pressão sonora proveniente da sua rua os incomodavam, a maior parte dos entrevistados (44%) respondeu que às vezes se incomodava. Cerca de 32% dos participantes responderam que se incomodavam regularmente. O nível de pressão sonora da rua foi classificado pela amostra como “pouco intenso” (53%), “intenso” (39%) e como “muito intenso” (6%). Não responderam à pergunta 2% dos entrevistados.

Agrupando-se as pessoas que sempre incomodavam-se com o nível de pressão sonora proveniente da sua rua (32%) com as que às vezes se incomodavam (44%), obtém-se um subgrupo denominado: “incomodados pelo ruído¹ urbano”, no qual se encontram 76% dos respondentes. Nesse subgrupo, enquadram-se todos aqueles que, pelo menos de alguma forma, sentiam-se incomodados com os níveis de pressão sonora urbano.

Bortoli [3] verificou que o nível de pressão sonora equivalente para o monitor Água Verde aumentou 1,6 dB(A) – passando de 62,9 para 64,5 dB(A) - entre os anos de 1998 e 1999. Entretanto, o ano de 2000 apresentou o menor valor calculado de L_{Aeq} , igual a 61,2 dB(A). A Av. Pres. Kennedy apresentou uma

estabilidade em relação ao L_{Aeq} durante os anos de 1998 e 1999, indicando valores de 72,1 dB(A) e 72,3 dB(A), respectivamente. Durante o ano de 2000 não houve medição do nível de pressão sonora neste ponto de monitoramento. A Av. Iguazu aponta uma tendência de queda quanto ao nível de pressão sonora, apresentando uma taxa de redução média de aproximadamente 0,7 dB(A) ao ano. O monitor acústico do Jardim Social indica um crescimento de 2,1 dB(A) desde o ano de 1998 até 1999. No ano de 2000 não houve medição na sua totalidade do período, devido a procedimentos de manutenção do medido de nível de pressão sonora, manutenção na rede elétrica e alguns problemas de pico de energia na rede da Copel. O monitoramento da Praça Rui Barbosa apresenta valores aleatórios de L_{Aeq} , apresentando uma queda de 2,3 dB(A) entre os anos de 1998 e 1999. Entretanto, houve um aumento de 5,3 dB(A) durante os anos de 1999 e 2000.

Tabela 4: Resumos dos níveis de pressão sonora médios para os monitores acústicos fixos, Fonte [3]

Monitores Acústicos	1998	1999	2000
Água Verde	62,9	64,5	61,2
Av. Pres. Kennedy	72,1	72,3	-
Av. Iguazu	70,7	69,6	69,3
Jardim Social	66,3	68,4	-
Praça Rui Barbosa	66,4	64,1	69,4

Em Zanin e Szeremetta [6], o parque Jardim Botânico apresentou elevados níveis de pressão sonora, em sua maioria (90,5%) acima do permitido pela Lei Municipal no 8.583, que estabelece o limite de 55 dB(A) para áreas verdes. Somente 9,5% dos pontos satisfizeram à referida lei. Outra constatação decorrente das medições dos níveis de pressão sonora fora que 47,6% dos pontos apresentaram níveis sonoros superiores a 65 dB(A), ou seja, acima do limite estabelecido pela medicina preventiva como o limiar do dano à saúde. Apesar dos altos níveis de pressão sonora, a maioria das pessoas (52%) considerou o parque um lugar tranquilo, que não provoca maiores perturbações, o que pode explicar a frequência diária ao local. Dos entrevistados, 54% vão ao parque todos os dias, 24%, três vezes por semana, 6%, duas vezes por semana e 16%, apenas uma vez por semana. Evidentemente, não se deve descartar a possibilidade de os frequentadores já estarem acostumados ou adaptados ao ambiente. Além disso, a comparação do parque com outros locais do seu cotidiano, como o local de trabalho e o lugar onde moram, pode tê-los induzido a classificar o parque como mais tranquilo. Contudo, 24% das pessoas declararam sentir-se perturbadas pela

¹ Optou-se pelo uso da palavra original do trabalho visto que não fora realizada medição prévia do nível de pressão sonora e o intuito da pesquisa era verificar o grau de incômodo sonoro percebido pelas pessoas.

poluição sonora e 22% pela preocupação com a segurança local, o que permite concluir que esse tipo de poluição vem a ser mais incômoda do que outros agentes perturbadores no local. A Tabela 5 demonstra os resultados da pesquisa realizada no Jardim Botânico na cidade de Curitiba-PR.

Tabela 5: Pesquisa sobre percepção do incômodo sonoro realizada no Jardim Botânico em Curitiba-PR, Fonte [6].

Perguntas/respostas	Total de entrevistados	%
Com que frequência você costuma visitar o parque?		
Todos os dias	27	54
3 vezes por semana	12	24
2 vezes por semana	3	6
1 vez por semana	8	16
Que tipo de atividade você pratica no parque?		
Atividade física	48	96
Relaxamento	1	2
Meditação	1	2
Durante a prática dessa atividade, qual o fator no ambiente que lhe causa maior perturbação?		
Preocupação com a segurança local	11	22
Poluição sonora	12	24
Poluição do ar	1	2
Nenhum	26	52
Você se sente afetado pelo ruído gerado em torno do parque? Como você classifica esse ruído?		
Sim (pouco intenso)	10	20
Sim (intenso)	5	10
Sim (muito intenso)	5	10
Não	30	60
No seu trabalho você se expõe a ruídos intensos? Classifique-os.		
Sim (pouco intenso)	4	8
Sim (intenso)	3	6
Sim (muito intenso)	8	16
Não	35	70
Você se incomoda com os ruídos na sua rua? Classifique-os.		
Sim (pouco intenso)	8	16
Sim (intenso)	4	8
Sim (muito intenso)	9	18
Não	29	58

Com base nos resultados do diagnóstico dos níveis de pressão sonora e do incômodo sonoro percebido no Jardim Botânico, pode-se afirmar que a situação da área é preocupante, com elevados níveis de pressão sonora: 47,6% ultrapassam 65dB(A). Tais resultados mostram a evolução desse tipo de incômodo em nosso meio, constituindo uma ameaça ao bem-estar e à saúde dos cidadãos em um dos poucos lugares da cidade capazes de oferecer alívio para as atribulações do cotidiano urbano. Enfatizando a grave situação da área, 90,5% dos pontos medidos apresentaram níveis de pressão sonora acima de 55dB(A), limite máximo para uma área verde segundo a legislação local. As entrevistas mostraram que a grande maioria dos frequentadores (96%) busca a realização de atividades físicas e que 78% visitam o Jardim Botânico pelo menos duas vezes na semana. Durante a prática de suas atividades no parque, 24% indicaram a poluição sonora e 22% à preocupação com a segurança no local como fatores de

perturbação. No entanto, 52% dos entrevistados dizem não se sentirem perturbados por nenhum fator ambiental ali presente.

4.1. Identificação das Fontes

- De forma geral, os trabalhos também identificaram as mesmas fontes de poluição sonora:
- Ruído de escapamentos fora dos padrões de fábrica – motos e caminhões;
- Caixas de áudio utilizadas para propaganda na entrada das lojas;
- Construção civil – obras;
- Ruído de tráfego em geral, que é afetado pelas condições gerais das vias;

4.2. Propostas de Atenuação

Os trabalhos que abortam esse item fazem as mesmas recomendações para atenuação dos níveis de pressão sonora e do grau de incômodo sonoro:

- Maior fiscalização dos escapamentos vendidos em lojas, provendo fiscalização e conscientização dos lojistas em trabalharem com produtos que atendam a legislação em vigor, também deve-se fiscalizar e conscientizar proprietários de carros, motos, caminhões e demais veículos automotores da necessidade de se respeitar os níveis máximos de emissão sonora;
- Conscientização e fiscalização das propagandas das lojas – deve-se fiscalizar e conscientizar lojistas da legislação vigente;
- Conscientização e fiscalização das obras civis – devido a expansão da cidade, faz-se necessário que os organismos competentes fiscalizem e conscientizem profissionais e empresas responsáveis da necessidade de adequação das construções às normas e leis vigentes que determinam os níveis de pressão sonora em cada atividade;
- Maior atuação da Secretaria do Meio Ambiente, e da Secretaria da Indústria e Comercio na conscientização e fiscalização.

5. Conclusões

Todos os trabalhos apresentam várias semelhanças. Dentre as quais destacam-se:

- Metodologia de medições semelhantes - todos os trabalhos que tiveram medições dos níveis de pressão sonora utilizaram medidores de pressão sonora do tipo I ou tipo II da IEC 651. As alturas de medições foram de 1,2 m ou 1,5 m, o que não influencia de forma significativa os resultados. Distância mínima de paredes e outros obstáculos de no mínimo 1,5 m. A maior diferença

concentrou-se no tempo de integração das medições, onde os trabalhos das referências [1] e [2] utilizaram tempo de integração de 0,125 segundos (*fast*) e o da referência [3] utilizou tempo de integração de 1,0 segundo (*slow*) e o da referência [6] não informou. Deve-se ressaltar que a norma NBR 10151, recomenda que a medição para o cálculo do L_{Aeq} seja realizada em modo *fast*. Além desta divergência, os tempos de aquisição de dados também variam de um autor para outro, assim como o número de medições dos níveis de pressão sonora em cada ponto.

- Mesma metodologia de escolha dos pontos de medição – região central das cidades, de grande concentração e circulação de pessoas e regiões e alto fluxo de automóveis. Notou-se uma grande variação do número de pontos a serem analisados, isso sendo função da área de mapeamento. Mas em todos os trabalhos que foram realizados nas ruas houve a preocupação de análise de ao menos 1 ponto em cada quadra.
- Mesmas fontes ruído – fluxo de veículos, escapamentos fora das normas, construção civil e caixas de som para propagandas. Em nenhum dos trabalhos analisados houve abordagem sobre as condições do pavimento das vias ou mesmo do fluxo de carros. Esse é um aspecto importante para determinação dos níveis de ruído, mas de difícil quantificação em pesquisas.
- Mesmas propostas de atenuação – fiscalização dos automóveis e escapamentos, fiscalização das obras civis e fiscalização do uso de caixas de som em propagandas. Em geral, as principais formas de atenuação estão vinculadas ao cumprimento de leis federais, estaduais e municipais que já existem, mas muitas vezes não são cumpridas pelos órgãos responsáveis.

Os trabalhos que realizaram pesquisas de opiniões concentraram-se em verificar o grau de incômodo sonoro percebido pela comunidade e na identificação das fontes deste incômodo.

Com isso, também pode-se validar a metodologia utilizada pelos pesquisadores para futuras análises em demais cidades brasileiras. Mas deve-se salientar que uma metodologia completa deve não apenas medir os níveis de pressão sonora em determinada região, mas também avaliar, por meio de questionário ou entrevistas, a percepção dos cidadãos quanto ao incômodo dos níveis de pressão sonora.

Dentre os aspectos de interesse do questionário ou entrevista dos cidadãos devem estar:

- Identificação das fontes que geram ruído de incômodo (como exemplo: trânsito, vizinhos, construção civil, sirenes, animais, casas de show, eletrodomésticos, carros de som, propagandas nas lojas, entre outros);

- Grau de incômodo nas áreas de avaliação (como exemplo: muito ruidoso, ruidoso, sem incômodo);
- Percepção quanto à evolução da poluição sonora no tempo (como exemplo: aumentou, manteve-se ou diminuiu);
- Percepção das conseqüências da exposição a poluição sonora (como exemplo: irritabilidade, insônia, cansaço, estresse, dor de cabeça)

A poluição sonora não deve ser vista como algo não agressivo. O ruído é um poluente invisível que, contínua e lentamente, vai agredindo os indivíduos, causando-lhes danos tanto auditivo como em todo o organismo – físico e psicologicamente.

Referências

- [1] Zanqueta, H.F.B.; Sousa, L.H.D.C. *Avaliação de Ruído Comunitário na Área central de Maringá - PR*. Maringá. 2006.
- [2] Cantieri, E. *Avaliação do Ruído Urbano no Centro de Curitiba*. Monografia (Pós-Graduação em Segurança do Trabalho). Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR: Curitiba, 2009.
- [3] Bortoli, P.S. de. *Análise da Poluição Sonora Urbana em Zoneamentos Distintos da Cidade de Curitiba*. Dissertação (dissertação de Mestrado em Tecnologia). CEFET-PR. Curitiba: 2002.
- [4] Zannin, P.H.T. et al. *Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR*. Revista Saúde Pública; n. 36, p. 521-4: São Paulo:2002.
- [5] Lacerda, A.B.M. de; et al: *Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora*. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2005000200005&lang=pt. Acesso em: 10 de Outubro 2009.
- [6] Zannin, P.H.T.; Szeremetta, B. *Avaliação da Poluição Sonora no Parque Jardim Botânico de Curitiba, Paraná, Brasil*. Caderno Saúde Pública, n.19, p. 683-686. Rio de Janeiro: 2003.
- [7] NBR 10.151 – *Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- [8] NBR 10.152 – *Níveis de Ruído para Conforto Acústico*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- [9] Ministério do Trabalho e Emprego. *Anexo 1: Norma Regulamentadora 15. Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente*. 1978. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp>. Acesso em: 01 de janeiro 2009.
- [10] World Health Organization (WHO). *Résumé d'orientation des Directives de l'OMS relatives au Bruit dans l'environnement 2003*. Disponível em <<http://www.who.int/homepage/primers>>. Acesso em: 10 de Outubro 2009.

Controle termoacústico de uma unidade termogeradora: um estudo de caso

Bastos, L.P.; Soeiro, N.S.; Melo, G.S.V.

* Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, leopan23@gmail.com

Resumo

A necessidade de geração própria de energia tem sido ultimamente, uma preocupação comum entre diversas empresas de diversos ramos. A imprevisibilidade de interrupção no fornecimento de energia elétrica convencional faz com que sistemas de energia auxiliar, como grupos geradores a diesel, sejam cada vez mais requisitados. Grupos geradores a diesel são equipamentos que possuem como característica principal o fornecimento confiável e versátil de energia, o que os torna propícios para recintos em que o fornecimento de energia elétrica tem de ser ininterrupto. Em contrapartida, são máquinas ruidosas e que geram calor, tornando o ambiente em que está abrigado impróprio para determinadas atividades. Neste artigo, são identificados problemas de instalação em um grupo gerador tais como: geração excessiva de ruído, aumento anormal de temperatura na sala que o abriga, etc., propondo-se soluções alternativas para corrigir esses problemas. É feita também uma abordagem do problema de modo a reduzir os custos do projeto através do estudo da utilização de amostras de fibra de coco e madeira compensada, materiais alternativos disponíveis em abundância na região amazônica.

Palavras-chave: poluição sonora, grupo gerador, controle de ruído, fibra de coco.

1. Introdução

A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas. Em outras palavras, os ruídos estão em nosso cotidiano. Assim, o que antigamente era restrito a situações ocupacionais, hoje, é encarado como uma fonte de problemas físicos, psicológicos e sociais [1]. A preocupação com os problemas causados pelo ruído advém, geralmente, de países desenvolvidos ou em desenvolvimento, uma vez que uma economia crescente leva ao aumento da mobilidade e, conseqüentemente, ao aumento do tráfego, de construções, de recintos e equipamentos ruidosos. Máquinas que utilizam como fonte de energia algum tipo de combustível, como determinados grupos geradores, por exemplo, além de emitirem elevados níveis de ruído durante seu funcionamento, irradiam certa quantidade de calor que, às vezes, tornam o ambiente ao seu redor desconfortável, impróprio para se realizar determinadas atividades. Porém, devido, principalmente, à imprevisibilidade de interrupção do fornecimento de energia elétrica convencional, a necessidade de geração própria de energia elétrica tem sido uma preocupação comum em diversas empresas nos últimos anos, o que as leva a investir em um sistema de energia auxiliar, geralmente, um grupo gerador. Alguns grupos geradores emitem níveis de ruído de até 110 dB(A) dependendo do modelo e potência. Níveis de pressão sonora dessa grandeza podem facilmente proporcionar danos auditivos permanentes em uma pessoa. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) 10% da população mundial (mais de 600 milhões de habitantes)

têm algum grau de deficiência auditiva. No Brasil, estima-se que esse número chegue a 15 milhões de pessoas, e, segundo o último levantamento do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 350 mil brasileiros apresentam surdez profunda, ou seja, sem a o auxílio de aparelhos, não ouvem absolutamente nada [2]. Objetivando amenizar o grau de poluição sonora, técnicas de controle de ruído (ativo, passivo e combinado) foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Técnicas que são, em geral, específicas para cada caso e, que, atualmente, esbarram em um aspecto: o custo.

Dispositivos acústicos sejam eles painéis, barreiras, etc., quando de alta eficiência, geralmente, são de custosa aquisição, tornando, muitas das vezes, inviável sua utilização. Além do que, os materiais existentes no mercado ou isolam ou absorvem ondas sonoras, ainda que com diferentes eficiências, em outras palavras, aquele material que tem grande poder de isolamento acústico quase não tem poder de absorção acústica, e vice-versa. Neste contexto surge a necessidade de controlar os níveis de ruído e as elevadas temperaturas através de condicionamento termoacústico do ambiente utilizando-se soluções alternativas, a começar por novos materiais acústicos que sejam mais baratos e apresentem desempenho satisfatório. Dessa forma, o presente artigo se propõe a caracterizar as condições do local utilizado como estudo de caso e sugerir ações para o controle de ruído através da utilização de compensado e painéis de fibra de coco, bem como controlar a temperatura do ambiente, através do redimensionamento do sistema de ventilação.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

Para o presente estudo de caso se propôs a utilização de madeira compensada e painéis acústicos fabricados a partir de fibra de coco. Os painéis foram obtidos comercialmente junto à Empresa POEMATEC Ltda., são recicláveis, biodegradáveis, não deformáveis, duráveis (10 anos, em média, conservando suas propriedades) e contém tanino, um fungicida natural.

A fibra de coco pertence à família das fibras duras, tais como o "sisal", ou seja, é uma fibra multicelular que tem como principais componentes, a celulose e o lenho, o que lhe confere elevados índices de rigidez e dureza. A baixa condutividade ao calor, a resistência ao impacto e às bactérias são algumas de suas características. Seus elevados índices de rigidez e dureza a tornam propícia aos mercados de isolamento térmico e acústico, além de tratar-se de um material versátil devido à sua resistência, durabilidade e resiliência [3].

2.2 Métodos

O estudo de caso que este trabalho se propôs a analisar é o de um grupo gerador a diesel, mostrado na Figura 1, instalado no subsolo da Sede do Banco da Amazônia (BASA), em Belém.

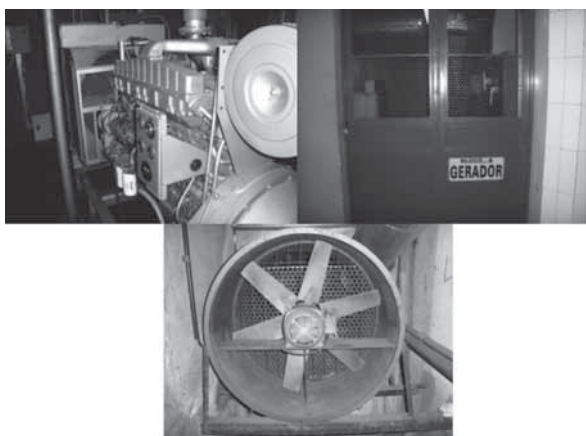


Figura 1: Estudo de caso - grupo gerador analisado, porta da sala do gerador e sistema de ventilação.

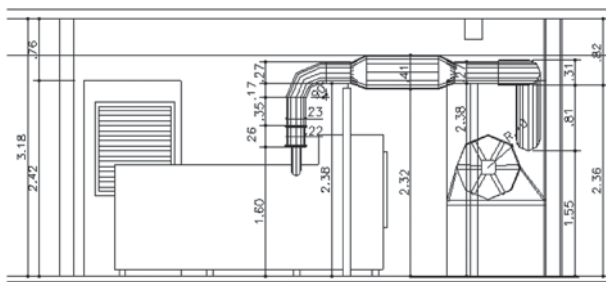


Figura 2: Vista lateral da sala que abriga o gerador (condição atual).

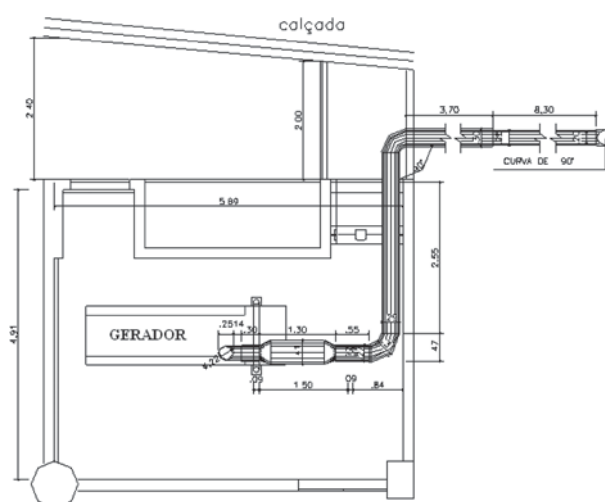


Figura 3 - Planta baixa do gerador (condição atual)

O nível de pressão sonora global devido ao grupo gerador no interior da sala, intensificado pelas múltiplas reflexões do som, chega a, aproximadamente, 110 dB(A) conforme Figura 4.

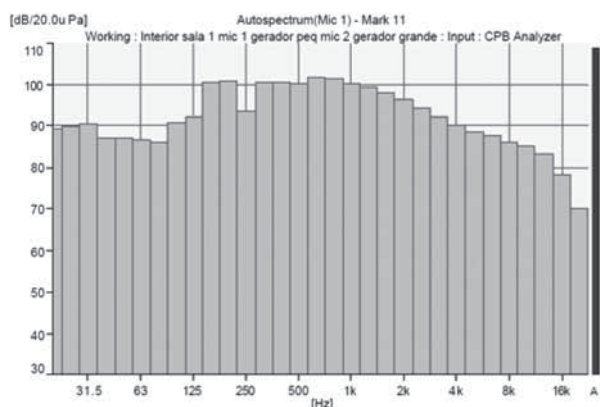


Figura 4: Níveis de pressão sonora, devido ao grupo gerador no interior da sala, em bandas de terços de oitava.

Os níveis de pressão sonora para uma jornada de 8 horas de trabalho devem ser de, no máximo, 85 dB(A) segundo a NR 15 - Atividades e Operações insalubres, portanto, os níveis de pressão sonora no ambiente estão muito acima dos níveis recomendados. A sala do gerador possui uma porta de dimensões iguais a 1,5 m e 2,4 m referentes à sua largura e altura, respectivamente. Sua estrutura faz com que seu isolamento sonoro seja quase desprezível. Além das altas temperaturas medidas em alguns pontos da sala na qual está instalado, que atingem valores em torno de 50 °C, impossibilitando assim a realização de algumas atividades primordiais, como, por exemplo, operações no painel de controle, devido às altas temperaturas apresentadas por este. Para solucionar os problemas identificados, foi concebido um projeto acústico contendo as seguintes medidas:

- O controle de ruído da sala do grupo gerador por enclausuramento;
- O redimensionamento do equipamento para a circulação de ar no interior do enclausuramento, de modo a minimizar a distribuição de temperatura interna.

3. Controle de ruído

3.1 Revestimento interno da sala

Amostras de painéis de fibra de coco de diferentes espessuras e densidades foram ensaiadas quanto à sua capacidade de absorver sons para que a de melhor desempenho fosse selecionada para se utilizar como material de revestimento interno da sala do grupo gerador. A Tabela 1 mostra as denominações fornecidas às amostras, quanto às suas densidades e espessuras, bem como a nomenclatura utilizada para identificação.

Tabela 1: Características dos painéis de fibra de coco analisados e nomenclatura utilizada para identificação

Amostras de fibra de coco	Densidade (kg/m ³)	Espessura (mm)
— FC1	130	100
---- FC2	60	100
— FC3	18	100
..... FC4	130	50
- - - FC5	60	50
- · - FC6	18	50

O material utilizado para o revestimento interno da sala do grupo gerador foram os painéis de fibra de coco de densidade igual 130 kg/m³ e espessura de 100 mm (FC1), por apresentarem melhor desempenho, no que diz respeito à absorção sonora, na maior parte do espectro de frequência, como pode ser visto na Figura 5.

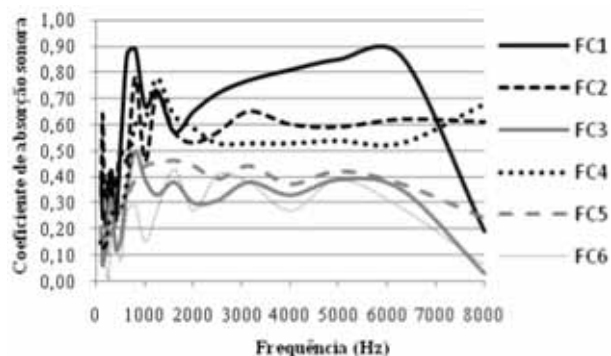


Figura 5: Comparação entre os coeficientes de absorção sonora dos diferentes painéis de fibra de coco, Fonte [4].

A redução de nível de pressão sonora em uma sala, devido ao uso de material absorvente, pode ser determinada pela Eq. (1) [5]:

$$R = 10 \log \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \quad (1)$$

em que A_1 é a absorção inicial da sala e A_2 é a absorção da sala após a introdução do material absorvedor, sendo ambas dadas em sabines.

Os valores do coeficiente de absorção sonora dos painéis de fibra de coco que serão utilizados no estudo de caso são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes de absorção sonora do material testado

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
FC 1	0,24	0,35	0,53	0,67	0,65	0,81

A área total a ser revestida é de, aproximadamente, 92 m² referente às paredes e teto da sala, enquanto que a área total da sala é de, aproximadamente, 117 m². Considerando que as paredes, o teto e o piso da sala são constituídos de reboco liso, tem-se na Tabela 3 os coeficientes de absorção sonora.

Tabela 3: Coeficientes de absorção sonora das paredes, teto e piso da sala a ser revestida

Material	Frequência (Hz)					
	1250	250	500	1000	2000	4000
Reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04

Aplicando-se a Eq. (1) obtêm-se os valores de redução sonora apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Redução sonora fornecida pelo painel a ser utilizado no revestimento acústico

Frequência (Hz)	Redução (dB)
125	-8
250	-10
500	-11
1000	-11
2000	-11
4000	-12

3.2 Silenciadores resistivos

São dispositivos destinados a permitir a passagem de fluxo de ar e conter o ruído. São aplicados a ventiladores, exaustores, descargas de ar, etc. Sua construção depende do diâmetro da tubulação ou do fluxo de ar necessário. Serão instalados silenciadores resistivos na entrada e saída do ar de ventilação, para reduzir o ruído que é transmitido ao ambiente externo. A atenuação de um silenciador resistivo é dada por [5]:

$$AT = 1,05\alpha^{1,4} \left(\frac{D_e}{S_{siar}} \right) \quad (2)$$

em que α é o coeficiente de absorção sonora do material de revestimento (adimensional), D_e é o perímetro de revestimento interno do duto (m) e S_{siar} é a área da seção interna aberta do revestimento (m²). No entanto, a

Eq. (2) possui certas restrições para que os valores de Atenuação Sonora obtidos sejam válidos. Estas são:

1. A razão altura/largura deve ficar entre 1 e 2;
2. A velocidade do fluxo de ar tem que ser ≤ 20 m/s
3. O coeficiente de absorção sonora tem que ser $\leq 0,8$;
4. A menor largura l deve ter os valores entre $15 \text{ cm} \leq l \leq 50 \text{ cm}$.

Os silenciadores que serão utilizados são retangulares, possuem células de absorção e têm estrutura externa metálica, conforme os exemplos da Figura 6.



Figura 6: Exemplos de silenciadores resistivos.

Serão dimensionados dois silenciadores resistivos. O primeiro (silenciador 1), com as dimensões apresentadas na Fig 7, será montado na tubulação de entrada de ar no ventilador e, o segundo (silenciador 2), na tubulação de exaustão dos gases. No silenciador 1 serão utilizadas 5 células de absorção, cada uma de 0,1 m de espessura, afastadas 0,0833 m entre si e das faces laterais do silenciador. Tem-se então para o perímetro de revestimento interno, 10 m. A área da seção interna aberta do revestimento será então de $0,5 \text{ m}^2$ conforme a Fig 8.

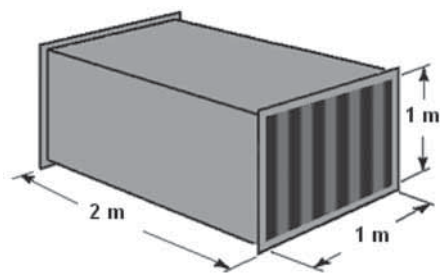


Figura 7: Dimensões do silenciador 1

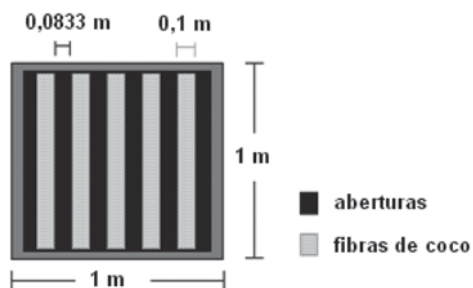


Figura 8: Seção transversal do Silenciador 1.

Para as dimensões dadas na Figura 8 utilizando-se os dados de absorção sonora dos painéis de fibra de coco FC 1 e seguindo as restrições para sua concepção, temos que, a atenuação sonora total para este silenciador é dada na Tabela 5.

Tabela 5: Atenuação sonora fornecida pelo silenciador 1

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
FC 1	5,69	9,66	17,27	23,97	22,98	30,74

O silenciador 2 será curvo devido às limitações construtivas. O mesmo será constituído apenas por duas células de absorção, para não prejudicar a retirada de ar do ambiente. Será revestido também por painéis de fibra de coco com espessura de 0,1m e terá suas dimensões segundo a Figura 9.



Figura 9: Seção longitudinal e dimensões do silenciador 2.

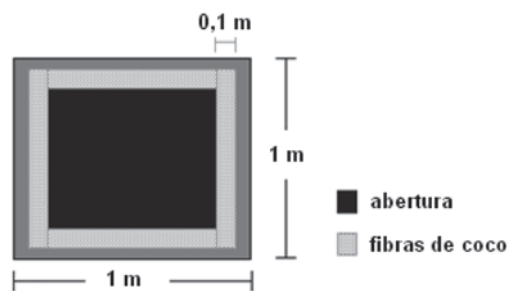


Figura 10: Seção transversal do silenciador 2

Dessa forma, obtém-se $0,64 \text{ m}^2$ para a área da seção aberta do revestimento e $3,2 \text{ m}$ para o perímetro de revestimento, sendo de $2,9 \text{ m}$ o comprimento total deste silenciador. Através da Eq. (2) e respeitando novamente suas restrições construtivas, tem-se então, os valores de atenuação sonora para o silenciador 2 conforme Tabela 6.

Tabela 6: Atenuação sonora fornecida pelo silenciador 2

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
FC 1	2,06	3,50	6,26	8,69	8,33	11,14

3.3 Portas acústicas

Portas acústicas são elementos essenciais em projetos de controle de ruído. Seja para fechamentos de cabines de máquinas ou salas com alto nível de ruído, é necessário que a porta forneça isolamento acústico compatível com o restante da construção. Dessa forma seu desempenho acústico torna-se fundamental para o bom desempenho do sistema como um todo. Os principais aspectos que uma porta acústica deve contemplar são: fornecer isolamento acústico compatível com o sistema e ser de fácil abertura.

Portas acústicas tradicionais, quando de alta eficiência, representam um custo considerável ao projeto. Assim sendo, uma melhor solução em projetos de sistemas de alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de parede dupla (ou tripla) [5]. Portanto, propôs-se a construção de uma porta acústica utilizando compensado e painéis de fibra de coco, conforme configuração mostrada na Figura 11.

Nas Figuras 11 e 12, em que {1}, {2}, {3}, {4} e {5} são os meios de propagação do som e L1, L2, L3, L4 e L5 são as distâncias entre os meios. Tendo-se como referência a Figura 11, na qual {1} = {3} = {5} e {2} = {4}, é possível ter idéia da perda de transmissão obtida por um dispositivo como este, determinando-a através da equação simplificada para a estimativa da perda de transmissão sonora de uma parede dupla representada por [5]:

$$PT = PT_2 + PT_4 + 20 \log \left| \operatorname{sen} \frac{2\pi f L_3}{c} \right| + 6 \quad (3)$$

em que PT_2 e PT_4 são as perdas de transmissão referente às folhas de compensado; L_3 é a distância entre os meios {2} e {4}, ou seja, a distância entre as folhas de compensado; f é a frequência e PT é a perda de transmissão total fornecida por uma porta acústica deste tipo.

Tabela 7: Isolamento sonoro do compensado

Material	Densidade superficial (kg/m ²)	Frequência (Hz)	Isolamento (dB)
Compensado (19 mm)	11	125	17
		250	18
		500	25
		1000	30
		2000	26
		4000	32

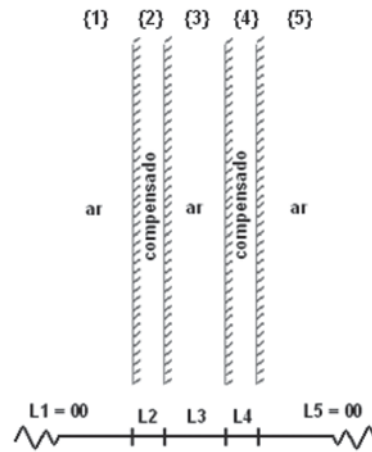


Figura 11: Configuração da porta acústica utilizada como referência para o cálculo da estimativa de perda de transmissão sonora

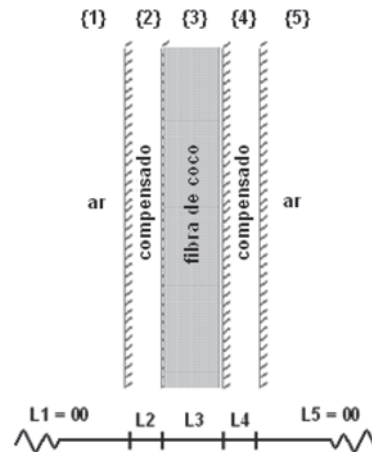


Figura 12: Configuração da porta acústica proposta

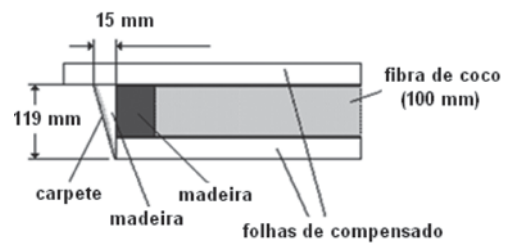


Figura 13: Detalhe do formato da porta e do portal

Visando-se fazer uma analogia entre as Perdas de Transmissão de uma porta acústica representada pela

Figura 8 e uma porta acústica semelhante à da Figura 9, a perda de transmissão de uma porta acústica, construída com folhas de compensado de 19 mm de espessura e afastadas de 0,1 m será determinada para se ter idéia de sua capacidade de isolamento acústico. Considerando-se que o meio predominante entre essas folhas de compensado é o ar, têm-se, pela Eq. (3), os seguintes valores teóricos de perda de transmissão, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Perda de transmissão de uma parede dupla constituída de folhas de compensado de 19 mm de espessura, afastadas de 0,1 m

Frequência (Hz)	Perda de transmissão (dB)
125	27
250	35
500	54
1000	66
2000	51
4000	62

Ou seja, se para uma parede que possui duas folhas de compensado de 19 mm de espessura e afastadas de 0,1 m, onde nesse espaço existe somente ar, obtêm-se esses valores de perda de transmissão, quando inseridos os painéis de fibra de coco para preencher este espaço, serão obtidos valores ainda maiores para a Perda de Transmissão do conjunto [6].

4. Redimensionamento do Sistema de Ventilação

O calor irradiado pelo motor do grupo gerador, segundo indicação do fabricante, é de 52 kW. E ainda de acordo com o fabricante 3% da potência do gerador é convertida em calor [7], e essa potência, nesse caso, é de 360 kW, tem-se então 10,8 kW de potência convertida em calor. Logo, o calor total irradiado é de 62,8 kW. A tubulação de escape que fica no interior da sala é revestida por uma tubulação externa preenchida com gesso, então o calor, devido à passagem dos gases quentes pela tubulação de escape, internamente à sala, não será considerada.

Para calcular-se o fluxo de ar necessário para manter a temperatura na sala do gerador em uma faixa confortável para a realização de determinadas operações utiliza-se a seguinte equação, segundo o fabricante do equipamento [7]:

$$m = \frac{Q}{c_p \Delta T \rho} \quad (4)$$

em que:

m é a taxa do fluxo de ar para a sala (m^3/min);

Q é o calor dissipado na sala pelo grupo gerador e outras fontes de calor (MJ/min);

c_{pi} é o calor específico do ar à pressão constante ($1,01 \cdot 10^{-3} \text{ MJ}/\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$);

ΔT é o aumento da temperatura na sala do grupo gerador sobre a temperatura ambiente externa ($^\circ\text{C}$);

ρ é a densidade do ar ($1,21 \text{ kg}/\text{m}^3$);

Admitindo-se esses valores para c_p e ρ do ar, tem-se:

$$m = \frac{Q}{1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 1,21 \cdot \Delta T} = \frac{818,26Q}{\Delta T} \text{ m}^3/\text{min} \quad (5)$$

Admitindo-se também uma elevação máxima de temperatura de $6 \text{ } ^\circ\text{C}$ da temperatura da sala em relação à temperatura ambiente, tem-se, pela equação (5):

$$m = \frac{818,26 \cdot 62,8 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{6} \cong 513,87 \text{ m}^3/\text{min}$$

Adicionando-se o fluxo de ar necessário para a combustão, que neste caso, ainda de acordo com o fabricante, é de $477 \text{ l/s} = 28,62 \text{ m}^3/\text{min}$, tem-se, aproximadamente, para o fluxo total de ar necessário, $542,5 \text{ m}^3/\text{min}$.

Como serão utilizados ventiladores de insuflação e exaustão, tem-se $542,5 \text{ m}^3/\text{min}$ de vazão para cada ventilador.

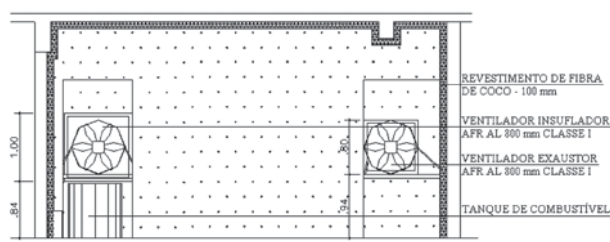


Figura 14 - Vista lateral da sala que abriga o gerador após a implementação das propostas para controle de ruído

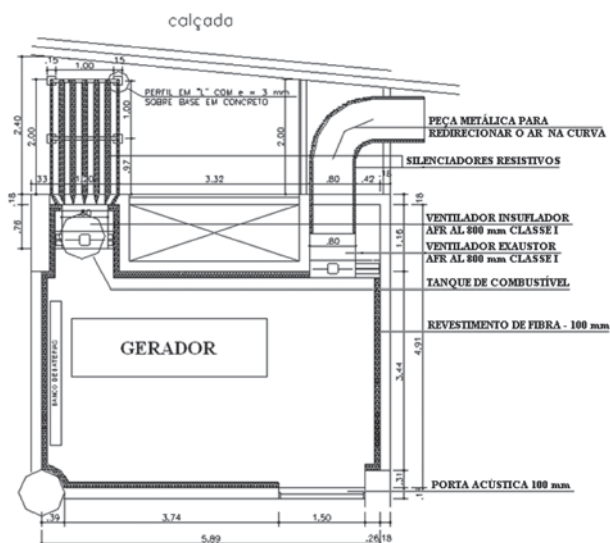


Figura 15 – Planta baixa do gerador após a implementação das propostas para controle de ruído.

6. Conclusão

Com base no projeto acústico concebido e descrito no presente artigo, pode-se concluir que, para que os ambientes próximos ao gerador não se tornem acústica e/ou termicamente prejudiciais, é necessário que algumas providências sejam tomadas, preferencialmente ainda na fase de projeto. Verificar as condições do local de instalação do equipamento, considerando que o nível de ruído gerado pode ser intensificado pelas condições da sala, por exemplo. Verificar também a ventilação do local, atestando se a ventilação é suficiente para arrefecer o equipamento, caso contrário, verificar a possibilidade de promover aberturas no local visando maior vida útil e desempenho do equipamento.

Com relação aos materiais utilizados, inferiu-se que é possível utilizar materiais alternativos, como fibras naturais em dispositivos acústicos diversos (portas acústicas, silenciadores resistivos, etc.) e obter resultados compatíveis com aqueles que seriam obtidos a partir da utilização de materiais comercialmente disponíveis [4, 6, 8, 9].

Concluiu-se também que o dimensionamento correto do equipamento para a circulação de ar no interior de um recinto que contenha um gerador é de fundamental importância para o bom funcionamento do mesmo, pois equipamentos de ventilação ineficientes resultam em altas temperaturas no interior do recinto, bem como podem danificar alguns elementos do referido equipamento. Dessa forma o presente projeto buscou contribuir para associar o conhecimento técnico disponível na área de controle de ruído à utilização de materiais alternativos como fibras naturais, produzindo um projeto acústico que, caso venha a ser executado, promove uma solução de eficiência comprovada e redução efetiva de custos [4, 6, 8, 9].

Referências

- [1] ANDRADE, S. M.: *Metodologia para avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano*. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- [2] MOÇO, A.: *Você pode ouvir bem a vida inteira*. Saúde é vital. Editora Abril, São Paulo, p. 38-43, fev. 2007.
- [3] SALVADOR, S.: *Inovação de produtos ecológicos em cortiça*. Instituto Superior Técnico – Departamento de Engenharia Mecânica. Lisboa, 2001.
- [4] BASTOS, L.: *Controle de Ruído em instalações de Grupos geradores: um estudo de caso*. 2007. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- [5] GERGES, S.N.Y.: *Ruído: Fundamentos e Controle*. 2. ed. Florianópolis. NR Editora, 2000.
- [6] TOUTONGE, J.d.A.: *Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para o estudo das características de Perda de Transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais*. 2006. 117 f. Tese de Mestrado, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- [7] Manual de Aplicação - Grupos Geradores arrefecidos a água. Cummins Brasil Ltda.
- [8] GUEDES, R.C.: *Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes*. 2007. 94 f. Dissertação de Mestrado, 1º versão, Setor de Ciências Exatas, Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- [9] VIEIRA, R.J. de A.: *Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos*. 2008. 262 f. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências Exatas, Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

A avaliação do ruído ambiental em indústrias da cidade de Curitiba para fins previdenciários

Almeida N. U. *; Ribas A. †; Mendes J.M. †

*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Curitiba - PR, UFPR

† Docentes do Curso de Fonoaudiologia da Universidade Tuiuti do Paraná

Resumo

O ruído ambiental nas indústrias é causado por máquinas, equipamentos e processos fabris. Medidas preventivas devem ser adotadas no ambiente fabril, para que danos potenciais à saúde humana sejam atenuados ou evitados. Para isto, deve-se atuar sobre a fonte, tornando-a mais silenciosa nos locais de trabalho, isolando as mais ruidosas das restantes, adequando espaços e o próprio trabalhador, protegendo o seu aparelho auditivo com o uso de equipamentos de proteção individual adequados. O respeito à legislação vigente e a aplicação correta das normas, que estabelecem critérios e parâmetros para avaliação do ruído laboral são fatores fundamentais para eliminar ou atenuar os riscos à saúde humana e também evitar os custos acarretados pelo não controle. O objetivo principal deste trabalho foi verificar de que maneira a inobservância e aplicação incorreta das normas e legislação pode acarretar em custos para o Estado e a sociedade em geral. Para alcançá-lo, esta pesquisa teve como essência avaliar os procedimentos e critérios utilizados pelas empresas no controle e monitoração do ruído ambiental em diferentes segmentos da indústria e compará-los com o disposto nas normas e Legislação vigentes. Para atingir os objetivos propostos foram estudados quatro casos em indústrias de grande, médio e pequeno porte da Cidade Industrial de Curitiba. O enfoque estabelecido foi em nível da Engenharia de Segurança do Trabalho, isto é, no respeito à técnica e aos limites de tolerância para a exposição ao ruído laboral estabelecidos em lei. Os resultados mostraram que as empresas não atendem adequadamente ao estabelecido nas normas e leis vigentes, o que resulta em custos para o Estado e sociedade em geral, em função de demandas oriundas dos trabalhadores, para obtenção de benefícios previdenciários pela exposição ao ruído laboral de diferentes origens e natureza.

Palavras-chave: Ruído Ambiental. Controle do Ruído Industrial. Legislação. Avaliação Sonora.

Abstract

The environmental noise in the industries is caused by machines, equipments and manufacturing processes. Preventive measures must be adopted in the manufacturing environment so that the potential damages can be attenuated or eliminated preventing the noise from being emitted or reaching the workers in an unhealthy ways. To prevent these damages, action must be taken on the noise source, getting quieter workstations, isolating the noisiest of the remaining, adjusting the workspaces and the worker himself and protecting the human hearing system with the proper equipment for individual protection. The respect to the current law and the correct application of the regulations that establish criteria and parameters for evaluation of the exposure to noise at work are basic factors to eliminate or to attenuate the risks to the human health and also to prevent the costs caused for not controlling the industrial noise. The main objective of this work was to verify how the non-observance and incorrect application of the regulations and legislations may incur into additional costs to the state and the society in general. To reach the preset objectives, four cases were considered and studied in large, medium and small size industries located in the industrial district in Curitiba. The established approach was set as defined by the Occupational Safety Engineering, by focusing on the technique and the limits of tolerance for established exposition to the labor noise according to the law. The results have shown that the companies do not properly follow the rules and regulations established by the current laws, what results in surplus costs to the state and society due the lawsuits initiated by the workers in order to obtain the proper social benefits based on their exposition to the labor noise of different sources and nature.

Keywords: Environmental Noise. Control of the Industrial Noise. Legislation. Sonorous Evaluation. .

1. Introdução

O ruído ambiental nas indústrias, em sua essência, é causado por máquinas, equipamentos e processos fabris ruidosos. A concentração excessiva de equipamentos ruidosos num mesmo local ou com organização deficiente nos espaços da fábrica pode contribuir ainda mais na poluição sonora industrial.

Os efeitos do ruído sobre os trabalhadores fazem-se sentir ao nível do aparelho auditivo, que pode afetar não somente a audição, mas também alterar várias funções fisiológicas, o sono, a comunicação oral, causar estresse e desconforto que interferem na realização da atividade laboral [1]. Conseqüentemente afetam a produtividade dos trabalhadores e o resultado da empresa.

Medidas preventivas devem ser adotadas no ambiente fabril, pois os danos potenciais à saúde humana podem ser atenuados ou eliminados evitando que o ruído seja emitido ou que atinja os trabalhadores acima dos limites toleráveis à saúde humana na execução de suas tarefas.

O enfoque estabelecido nesta pesquisa se dá em nível da Engenharia de Segurança do Trabalho, isto é, no respeito à técnica e aos limites de tolerância para a exposição ao ruído laboral estabelecidos em Lei. Os aspectos fisiológicos à saúde humana foram abordados de forma ilustrativa, sem a pretensão de adentrar à área médica ou fonoaudiológica [2]. A relevância é para orientar a Engenharia à existência de outros fatores que podem contribuir na perda auditiva, independentemente da exposição ao ruído de modo insalubre, mas também, que ao interagir com este, potencializar os seus efeitos sobre a audição. Desta forma o diagnóstico dos danos auditivos tem relevância somente com a avaliação da Medicina do Trabalho.

No Brasil, existem normas regulamentadoras para monitorar e controlar a exposição dos trabalhadores a agentes nocivos em seu ambiente de trabalho, bem como para prevenir a instalação de doenças causadas por estes agentes nocivos, como por exemplo as Normas Regulamentadoras NR-9 e NR-15 [3, 4].

Mais especificamente com relação ao ruído ambiental, objeto de estudo deste trabalho, a avaliação da exposição passa pelo cumprimento no disposto em normas de organismos e agências internacionais e nacionais, e pelo cumprimento das leis brasileiras que regem e regulamentam o direito trabalhista e previdenciário. Tais disposições legais baseiam-se no princípio da responsabilidade das entidades empregadoras, em emitir laudos de avaliações ambientais das condições laborais de seus trabalhadores. Isto deve ser feito para fins de segurança e medicina do trabalho, no que tange à proteção de riscos a acidentes e de doença profissional, e para fins de comprovação à concessão de aposentadoria especial, quanto à atividade laboral, para subsidiar os pleitos junto aos órgãos governamentais, desde que se enquadrem dentre àquelas estabelecidas em lei como insalubres [5, 6].

Apesar da legislação vigente, muitos trabalhadores que ao longo de suas carreiras atuaram em empresas onde não havia insalubridade por ruído, acionam o Estado, a fim de receberem benefícios do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Para fins de instrução do processo a empresa empregadora deve fornecer ao INSS documentos tais como Informações sobre atividades exercidas em condições especiais (DSS-8030) e Perfil Profissiográfico Previdenciário (PPP) os quais são necessários para comprovar à este órgão, dados que confirmam a exposição do reclamante ao agente agressor que originou o pedido do benefício previdenciário. Esta documentação será analisada e a *posteriori* o benefício será ou não dispensado. A Justiça, neste processo, pode nomear peritos normalmente com experiência e habilitado pelo órgão de classe, que realizam avaliações objetivas e análises na área de engenharia com a finalidade de instruir tecnicamente o processo judicial.

Na prática o que se verifica é que muitas empresas não realizam adequadamente os procedimentos exigidos ou preenchem incorretamente os documentos solicitados pelo INSS. Trata-se de um problema latente. A precariedade na observância e o não cumprimento das normas e legislação em vigor resultam em acidentes de trabalho, diminuição da produtividade na linha de produção e muitas vezes em demandas trabalhistas de diferentes origens e natureza, oriundas das classes trabalhadoras, tendo como conseqüência o aumento dos custos de produção para os empresários e da economia para o Estado.

Em função disto, esta pesquisa teve como objetivo analisar e avaliar o ruído industrial existente em diferentes segmentos da indústria, cenários em processos previdenciários à luz da legislação em vigor; verificar se as normas estão sendo cumpridas na avaliação do ruído ambiental; e finalmente comparar os dados obtidos com os constantes nos processos previdenciários analisados, a fim de verificar a correspondência entre os mesmos.

1.1 Legislações e Normas

Todas as empresas e instituições públicas e privadas que admitam trabalhadores como empregados estão obrigadas a cumprir e fazer cumprir as normas regulamentadoras de segurança e medicina do trabalho. Também estão obrigadas a disponibilizar aos seus trabalhadores documentos oficiais a serem apresentados aos órgãos do governo, para comprovar atividades insalubres e perigosas, com fins de benefícios sociais. Esses documentos, que estão relacionados a seguir, serão utilizados como referência nesta pesquisa:

Modelo DSS-8030: trata-se de um documento oficial criado pelo INSS, vinculado ao Ministério da Previdência Social. Era disponibilizado aos

trabalhadores para fins de obtenção de Aposentadoria em Condições Especiais, por atividades em condições insalubres previstas nas leis brasileiras, até a data de 31 de dezembro de 2003. Deveria ser emitido pelas empresas com a comprovação do tempo de trabalho, a prova de exposição a agentes nocivos, prejudiciais à saúde ou à integridade física, com base em laudo técnico de condições ambientais da empresa. O documento deveria conter: descrição do local onde as atividades foram realizadas; descrição minuciosa das atividades executadas pelo trabalhador; agentes nocivos prejudiciais à saúde ou à integridade física a que o trabalhador estava exposto durante a jornada de trabalho; se a exposição ao agente nocivo ocorria de modo habitual e permanente, não ocasional nem intermitente; assinatura e identificação do responsável pelo preenchimento do formulário; Cadastro Geral de Contribuintes ou matrícula da empresa no INSS; esclarecimento sobre alteração de razão social da empresa, no caso de sucessora e transcrição integral ou sintética da conclusão do laudo no qual se baseou a emissão do DSS-8030.

Perfil Profissiográfico Previdenciário (PPP): trata-se de um documento oficial criado pelo INSS. Este documento deve ser fornecido aos trabalhadores, em substituição ao DSS8030, para fins de obtenção de Aposentadoria em Condições Especiais, por atividades em condições insalubres previstas nas leis brasileiras. É um formulário com campos a serem preenchidos com todas as informações relativas ao trabalhador, como por exemplo, a atividade que exerce, o agente nocivo ao qual é exposto, a intensidade e a concentração do agente, exames médicos clínicos, além de dados referentes à empresa. O formulário deve ser preenchido pelas empresas que exercem atividades que exponham seus empregados a agentes nocivos químicos, físicos, biológicos ou associação de agentes prejudiciais à saúde ou à integridade física. Além disso, todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados conforme estabelecido no Programa de Prevenção de Riscos ambientais (PPRA), de acordo com Norma Regulamentadora nº 9 da Portaria nº 3.214/78 do MTE, também devem preencher o PPP. A empresa (ou equiparada à empresa) deverá elaborar PPP de forma individualizada para seus empregados, trabalhadores avulsos e cooperados expostos a agentes nocivos químicos, físicos, biológicos ou associação de agentes prejudiciais à saúde ou à integridade física, considerados para fins de concessão de aposentadoria especial.

2. Material e Método

Para lograr os objetivos propostos realizou-se estudo de caso de 14 processos ajuizados na Vara Única Previdenciária de Curitiba, Seção Judiciária do Estado Paraná, em três fases, constituídas da seguinte forma:

Fase 1 - Levantamento da casuística a partir de dados constantes em processos da Justiça Federal da Vara Única Previdenciária de Curitiba, Seção Judiciária do Estado do Paraná, em ações contra o Instituto Nacional de Previdência Social, para obtenção de aposentadoria especial em função da exposição ao Ruído Industrial Laboral. Foram selecionadas quatro empresas, sendo uma do setor de auto peças, uma do setor alimentício, uma do setor agrícola e a quarta do setor metalúrgico. Para a execução da fase 1 verificou-se quais as medidas adotadas pelas quatro empresas para o controle e avaliação do ruído industrial, na linha de produção, especificados pela NR-9, NR-15, NHO 01 [7] e também por normas internacionais, como a OSHA [8];

Fase 2 - Avaliação *in loco* das fontes de ruído de cada uma das empresas selecionadas, bem como do cenário de suas instalações, de acordo com as normas vigentes, ou seja: realização de medidas acústicas (nível equivalente contínuo do ruído - LAeq), dados das instalações (altura do pé direito, tipo de ventilação, piso, área e equipamentos instalados) e análise das atividades executadas pelo Requerente levando em conta o posicionamento e deslocamento do trabalhador nos postos de trabalho. Para a coleta de dados acústicos, utilizou-se o medidor do nível de pressão integrador MINIPA, modelo MSL-1352C /, com grau de incerteza de medição de $\pm 0,5$ dB. Esse medidor é classificado como do tipo 2, e foi calibrado pelo calibrador QUEST, nº de identificação BX-CA-01, do tipo 1. As medições apuradas foram realizadas com o equipamento de medição operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (*slow*) e leituras próximas à orelha do trabalhador. As medições acústicas foram realizadas durante a jornada normal de trabalho com todas as máquinas, equipamentos e processos fabris em funcionamento. Em cada um dos postos de trabalho avaliados levou-se em conta a tarefa executada, conforme descritas pelos Requerentes. Ao microfone do medidor foi acoplado um protetor de vento do mesmo fabricante, para minimizar as possíveis interferências causadas pelo vento e pela ventilação forçada.

Fase 3 - Comparação dos dados obtidos *in loco* com aqueles constantes nos laudos ambientais das empresas e os depositados nos processos analisados. As análises foram realizadas com base nos documentos PPRA e DSS-8030 ou PPP.

Após realizadas as análises dos casos abordados, para ilustrar a discussão verificou-se junto à Vara Única Previdenciária de Curitiba, Seção Judiciária do Estado do Paraná, os pagamentos mensais e anuais efetivados no período de 2005 a 2007, para realização de perícias em empresas de Curitiba. Estas perícias foram realizadas com o objetivo de comprovação das condições ambientais de trabalho, com vistas à concessão de aposentadoria por tempo de contribuição,

em atividade especial, pela exposição ao ruído ambiental de modo insalubre. Também solicitou-se dados sobre os pagamentos de benefícios previdenciários mensais e anuais pagos pelo INSS de Curitiba, pela concessão de aposentadoria por tempo de serviço no período de 2005 a 2007.

3. Resultados

3.1 Casuística

Caso 1 - Setor de auto peças – esta empresa possui cerca de 4.700 funcionários, e de acordo com a Norma Regulamentadora nº 4, Quadro I, da Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, tem a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) sob o código 34.41-0 – Fabricação de peças e acessórios para sistemas de motor, Grau de risco 3 [9].

Caso 2 - Setor de implementos agrícolas – esta empresa tem cerca de 1.600 funcionários, e de acordo com a Norma Regulamentadora nº 4, Quadro I, da Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, tem a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) sob o código 29.31-9 – Fabricação de máquinas e

equipamentos para agricultura, avicultura e obtenção de produtos animais, Grau de risco 3.

Caso 3 - Setor de alimentação – esta empresa tem cerca de 320 funcionários, e de acordo com a Norma Regulamentadora nº 4, Quadro I, da Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, tem a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) sob o código 15.82-2 – Fabricação de biscoitos e bolachas, Grau de risco 3.

Caso 4 - Setor de estruturas metálicas – esta empresa tem cerca de 80 funcionários, e de acordo com a Norma Regulamentadora nº 4, Quadro I, da Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, tem a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) sob o código 28.11-8 – Fabricação de estruturas metálicas para edifícios, pontes e torres de transmissão, Grau de risco 3.

3.2 Dados Técnicos

A seguir são apresentados os dados coletados nos processos bem como os resultados das medições de ruído realizadas *in loco* nas empresas avaliadas. A Tabela 1 apresenta os níveis de ruído ambiental registrados nos processos e na avaliação *in loco*.

Tabela 1: Comparação entre os valores de ruído de exposição laboral registrados nos laudos da empresa do caso 1 com o efetivamente avaliado

Autos	Registro do Nível de Ruído nos Laudos da Empresa 1	Documento	Aval. Nível Equivalente (Laeq) <i>in loco</i>
Requerente 1	Ruído superior a 80 dB(A)	DSS8030	83,8dB(A); 78,4 dB(A); 84,6 dB(A) e 93,8 dB(A)
Requerente 2	Ruído médio de 80,1 dB(A)	DSS8030	82,3 dB(A); 78,2 dB(A); 76,2 dB(A) e 70,2 dB(A)
Requerente 3	Ruído de 95,3 dB(A)	DSS8030	80,0 dB(A) 82,0 dB(A) e 78,3 dB(A)
Requerente 4	Ruído de 88,7 dB(A)	DSS8030	81,0 dB(A)
Requerente 5	Ruído superior a 80 dB(A)	DSS8030	80,4 dB(A)
Requerente 6	Ruído médio de 88,1 e 84,6 dB(A)	DSS8030	84,5 dB(A) e 75,1 dB(A)
Requerente 7	Ruído médio de 91,6; 87,3 e 83,8 dB(A)	DSS8030	88,3 dB(A) e 82,7 dB(A)
Requerente 8	Ruído 92,6; 91,0; 87,5; 84,0 e 84,3	PPP	83,8 dB(A); 83,1 dB(A) e 82,2 dB(A)

Em face ao tamanho da empresa do caso 1, foram avaliados oito processos ajuizados na JFPR. Verificou-se que:

A empresa periodicamente planeja, estabelece metas, prioridades e cronogramas para tomadas de decisões e medidas de segurança laborativas no controle do ruído ambiental na linha de produção, baseada no acompanhamento da evolução da produção;

Possui atualmente uma forma de registros de dados para manutenção, divulgação de ações e do controle da segurança ambiental através de um programa de software de gestão integrada, ativado em 2007, que possibilita garantir a antecipação e prioridades do controle técnico e administrativo da saúde ocupacional em todo seu parque produtivo. Com esse processo amplia a monitoração dos riscos, levando em conta a caracterização das atividades e o tipo de exposição,

além de manter os registros disponíveis aos trabalhadores interessados e às autoridades competentes;

Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, os Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa, de 1994 a 2006, não têm as avaliações da exposição ao ruído ambiental nas funções dos trabalhadores, mas sim a avaliação da potência sonora do ruído emitido pelas fontes geradoras; Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, os Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa, de 1994 a 2006, não está registrado a dose de ruído a que estão expostos os trabalhadores durante a jornada de trabalho;

A empresa realiza medidas de controle do ruído na fonte realizando a adequada manutenção preventiva e corretiva, e confinamento de equipamentos quando

possível. Em determinadas áreas de ruídos excessivos há a restrição de entrada de pessoal não autorizado no ambiente laboral;

A empresa fornece, treina, obriga e fiscaliza a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), tais como protetores auriculares;

Nos documentos DSS8030 e PPP disponibilizados aos Requerentes não há referência se o valor do ruído registrado nesses documentos é o nível de ruído equivalente contínuo para uma jornada de trabalho, isto é, não há referência ao período em que ocorreu a real exposição ao agente físico ruído;

Nos documentos DSS8030 e PPP disponibilizados aos Requerentes não há o registro da dose de exposição ao ruído a que estavam expostos na jornada de 8 horas de trabalho, como é especificado pela NR-15 em seu Anexo 1;

Nos documentos DSS8030 e PPP, fornecidos aos Requerentes, não há uniformidade nos dados apresentados com relação ao ruído, são registrados de diversas formas, não permitindo uma percepção real da exposição ao agente físico ruído, conforme especificado no art. 18 da Instrução Normativa nº 42 do INSS. Não há nenhuma menção do tipo de ruído a que o Requerente estava exposto, isto é se era contínuo ou intermitente, por exemplo. Além de que, em alguns dos documentos não está registrado a unidade do nível de ruído. As informações registradas nesses documentos estão transcritas literalmente conforme a Tabela 1.

Na Tabela 2, estão relacionados os níveis de ruído constantes nos documentos oficiais, DSS8030, disponibilizados aos requerentes e os valores dos níveis obtidos *in loco* na pesquisa.

Tabela 2: Comparação entre os valores do ruído de exposição laboral registrados nos laudos da empresa do caso 2 com os efetivamente avaliados na pesquisa

Autos	Registro do Nível de Ruído nos Laudos da Empresa 2	Documento	Aval. Laeq <i>in loco</i>
Requerente 1	Nível médio do Ruído de 88 dB(A)	DSS8030	91,6 dB(A); 90,5 dB(A) e 70,6 dB(A)
Requerente 2	Nível médio do Ruído de 91 dB(A)	DSS8030	82,1 dB(A) e 70,6 dB(A)

Tendo em vista o número de funcionários da empresa do caso 2, foram avaliados dois processos ajuizados na JFPR. Verificou-se que:

A empresa periodicamente planeja, estabelece metas, prioridades e cronogramas para tomadas de decisões e medidas de segurança laborativas no controle do ruído ambiental na linha de produção, baseada no acompanhamento da evolução da produção, porque as atividades lá desempenhadas requerem o funcionamento de todas as máquinas instaladas;

Possui uma forma de registros de dados para manutenção, divulgação de ações e do controle da segurança ambiental através do departamento de engenharia de segurança do trabalho, para garantir a antecipação, reconhecimento, avaliação e prioridades do controle técnico e administrativo da saúde ocupacional em todo seu parque produtivo. As informações dos riscos ambientais são amplamente divulgadas através da Comissão Interna de Prevenções de Acidentes (CIPA), reuniões, murais e cartazes espalhados pelas dependências da fábrica;

De acordo com os parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, os Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa de 1994 a 2006 têm o registro das avaliações da exposição ao ruído ambiental nas funções dos trabalhadores levando em conta a jornada de trabalho;

A empresa realiza as medidas de controle do ruído na fonte realizando a adequada manutenção preventiva e corretiva, e confinamento de equipamentos quando

possível. Em determinadas áreas de ruídos excessivos há a restrição de entrada de pessoal não autorizado no ambiente laboral;

A empresa fornece, treina, obriga e fiscaliza a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como protetores auriculares;

Nos documentos DSS-8030 disponibilizados aos Requerentes há referência do nível de ruído equivalente para uma jornada de trabalho, isto é, há referência ao período em que ocorreu a real exposição ao agente físico ruído;

Nos documentos DSS-8030 disponibilizados aos Requerentes não há o registro da dose de exposição ao ruído a que estavam expostos na jornada de 8 horas de trabalho, como é especificado pelas Normas NR-15, Anexo 1 e NHO 01;

Nos documentos DSS-8030 fornecidos aos Requerentes há uniformidade nos dados apresentados, com relação ao ruído. É registrada a exposição ao agente físico ruído, como especificado no art. 18 da Instrução Normativa nº 42 do INSS, conforme a Tabela 2.

O profissional responsável pela avaliação do ruído ambiental e emissão do Laudo Ambiental da empresa do Caso 2 é engenheiro de segurança do trabalho da Empresa.

Na Tabela 3 estão registrados os níveis de ruído constantes nos documentos oficiais, DSS8030 e PPP, disponibilizados aos Requerentes e os valores dos níveis obtidos *in loco* na pesquisa.

Tabela 3: Comparação entre os valores do ruído de exposição laboral registrados nos laudos da empresa 3 (caso 3) com os avaliados na pesquisa

Autos	Registro do Nível de Ruído nos Laudos da Empresa 3	Documento	Aval. Laeq <i>in Loco</i>
Requerente 1	Exposição Ocupacional a Ruído de 90 dB	DSS8030	84,6 dB(A)
Requerente 2	Ruído de 95 dB(A) e 90 dB(A)	PPP	80,8 dB(A)
Requerente 3	Ruído de 90 dB(A)	PPP	85,5 dB(A) e 80,0 dB(A)

Tendo em vista o número de funcionários da empresa do caso 3, foram avaliados três processos ajuizados na JFPR. Verificou-se que:

A empresa não tem um planejamento periódico para estabelecer metas, prioridades e cronogramas para o controle do ruído ambiental. As decisões são tomadas em nível de medidas de segurança laborativas e operacionais na linha de produção, através de seus técnicos de segurança do trabalho;

A divulgação de ações e do controle da segurança ambiental é realizada através da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) e dos técnicos de segurança do trabalho que se revezam em turnos de trabalho. Estes profissionais têm a incumbência de treinar os funcionários na correta utilização de equipamentos de proteção individual, controlar a execução das atividades para que sejam executadas dentro dos critérios de segurança e fiscalizar a utilização de EPI's. Estes profissionais não têm como incumbência a avaliação do ruído ambiental e não emitem laudos ambientais, os quais são emitidos por empresas terceirizadas;

Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, os Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa de 1994 a 2006 não têm as avaliações da exposição ao ruído ambiental nas funções dos trabalhadores, mas sim a avaliação do ruído das fontes geradoras. Não há registro da avaliação levando em conta a jornada de trabalho, conseqüentemente não há avaliação do ruído equivalente contínuo nas funções existentes na linha de produção. Esses Laudos são da responsabilidade técnica do médico do trabalho;

Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, nos Laudos Técnicos

de Avaliação Ambiental da empresa de 1994 a 2007 não estão registradas as doses de ruído a que estão expostos os trabalhadores durante a jornada de trabalho;

A empresa terceirizada reavalia o ruído ambiental uma vez ao ano quando é feita a reedição anual do PPRA, conforme especificado pela NR-9;

A empresa fornece, obriga e fiscaliza a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como protetores auriculares;

Nos documentos DSS-8030 e PPP disponibilizados aos Requerentes não há referência do nível de ruído equivalente para uma jornada de trabalho, isto é, não há referência ao período em que ocorreu a real exposição ao agente físico ruído;

Nos documentos DSS-8030 e PPP disponibilizados aos Requerentes não há o registro da dose de exposição ao ruído a que estavam expostos na jornada de 8 horas de trabalho, como especificado pelas Normas NR-15, Anexo1 e NHO - 01;

Nos documentos DSS-8030 e PPP fornecidos aos Requerentes não há uniformidade nos dados apresentados com relação ao ruído. Não é registrada a real exposição ao agente físico ruído, conforme especificado no art. 18 da Instrução Normativa nº 42 do INSS,

O responsável técnico pela avaliação do ruído ambiental e emissão do Laudo Ambiental da empresa do Caso 3 é o médico do trabalho, de empresa terceirizada, a qual é contratada para realizar a avaliação do ruído ambiental.

Na Tabela 4 constam o nível de ruído registrado no documento oficial, DSS-8030, disponibilizado ao Requerente e os valores dos níveis obtidos *in loco* na pesquisa.

Tabela 4: Comparação entre os valores do ruído de exposição laboral registrados nos laudos da empresa 3 (caso 3) com os avaliados na pesquisa

Autos	Registro do Nível de Ruído nos Laudos da Empresa 4	Documento	Aval. do Laeq <i>in loco</i>
Requerente 1	Ruído acima de 80 dB	DSS8030	95,8 dB(A); 96,0 dB(A); 95,3 dB(A)

Tendo em vista o número de funcionários da empresa do caso 4, foi avaliado um processo ajuizado na JFPR. Observou-se que:

A empresa não tem um planejamento periódico para estabelecer metas, prioridades e cronogramas para o controle do ruído ambiental. As decisões são tomadas em nível de medidas de segurança laborativas e operacionais na linha de produção;

A divulgação de ações e do controle da segurança ambiental na empresa é realizada através do técnico de segurança do trabalho e pela Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA);

Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, os Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa de 1994 a 2006 não têm as avaliações da exposição ao ruído ambiental nas funções dos trabalhadores, mas sim a avaliação do ruído das fontes geradoras. Não há registro da avaliação levando em conta a jornada de trabalho, conseqüentemente não há avaliação do ruído equivalente contínuo nas funções existentes na linha de produção.

Em desacordo aos parâmetros especificados pelas Normas NR-15, NHO 01 e OSHA, nos Laudos Técnicos de Avaliação Ambiental da empresa de 1994 a 2006, não está registrado a dose de ruído a que estão expostos os trabalhadores durante a jornada de trabalho;

A empresa terceirizada reavalia o ruído ambiental uma vez ao ano quando é feita a reedição anual do PPRA, conforme especificado pela NR-9;

A empresa fornece, obriga e fiscaliza a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como protetores auriculares;

Nos documentos DSS-8030 disponibilizados ao Requerente não há referência do nível de ruído equivalente para uma jornada de trabalho, isto é, não há referência ao período em que ocorreu a real exposição ao agente físico ruído;

Nos documentos DSS-8030 disponibilizados ao Requerente não há registro da dose de exposição ao ruído a que estavam expostos na jornada de 8 horas de trabalho, como é especificado pelas Normas NR-15, Anexo 1 e NHO 01;

Nos documentos DSS-8030 fornecidos ao Requerente para as diversas funções, há uniformidade nos dados apresentados com relação ao ruído. Porém, não é registrada a real exposição ao agente físico ruído, conforme especificado no art. 18 da Instrução Normativa nº 42 do INSS;

O responsável técnico pela avaliação do ruído ambiental e emissão do Laudo Ambiental da empresa do Caso 4 é engenheiro de Segurança do trabalho, que pertence à empresa terceirizada, a qual é contratada para realizar a avaliação do ruído ambiental.

Conforme comentado anteriormente, o Estado dispensa grandes valores com perícias e aposentadorias especiais, conforme apresentados nas Figuras 1 à 4.

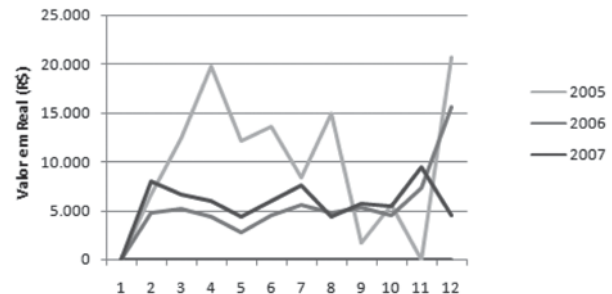


Figura 1: Valores dispensados mensalmente com perícias técnicas pelo JFPR entre 2005 e 2007. (Fonte: Vara Única Previdenciária de Curitiba, JFPR: 2008)

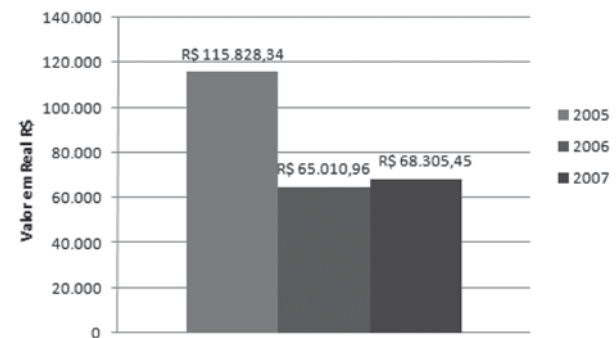


Figura 2: Valores dispensados anualmente com perícias técnicas pelo JFPR entre 2005 e 2007. (Fonte: Vara Única Previdenciária de Curitiba, JFPR: 2008).

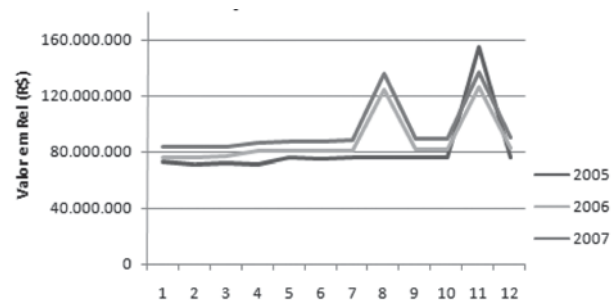


Figura 3: Pagamento mensal efetivado pelo INSS - Curitiba, com benefícios previdenciários no período de 2005 a 2007. (Fonte: INSS de Curitiba: 2008).

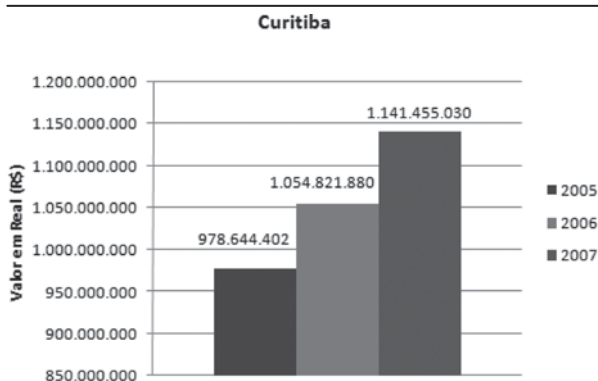


Figura 4 - Pagamentos anuais efetivados pelo INSS - Curitiba, com benefícios previdenciários no período de 2005 a 2007. (Fonte: INSS de Curitiba: 2008).

4. Discussão

Para melhor visualização dos achados, optou-se por discutir os dados de cada um dos Requerentes, em cada um dos casos apresentados, focando-se nas informações elencadas pelas normas utilizadas como referencial teórico já apresentado.

Com relação ao caso 1, observa-se que:

No ambiente e nas atividades de trabalho dos Requerentes 1, 2, 3, 4, 5 e 6, não ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído, uma vez que os índices de ruído medidos estão abaixo do Limite de Tolerância de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas.

Em função de jurisprudência para fins previdenciários, estabeleceu-se que até 05 de março de 1997 o Limite de Tolerância para o agente físico ruído contínuo ou intermitente é de 80 dB(A) para uma jornada de 8 horas, não levando em conta o estabelecido na NR-15, Anexo 1. Conforme especificado pela Norma da OSHA, todos os valores dos níveis de ruído inferiores ao Limite de Tolerância não deverão ser considerados no cálculo da dose. A NHO 01 estabelece que a exposições a níveis inferiores a 80 dB(A) não serão considerados no cálculo da dose.

Para exemplificar, se levarmos em conta os parâmetros especificados nessas normas, verifica-se que nas atividades executadas pelo Requerente 1 em uma das atividades de sua função, somente na limpeza de peças com ar comprimido o nível de ruído é superior ao limite de tolerância de 85 dB(A). Porém, como o tempo de exposição ao nível de 93,8 dB(A) é de apenas de 10 minutos diários, o valor da dose é muito menor que a unidade. O valor calculado da dose de exposição é 0,14 para aquele período.

O nível de ruído de 93,8 dB(A) é o nível equivalente de ruído a que o Requerente 1 está exposto no posto de trabalho (L_A), então se aplicarmos a fórmula (1) especificada pela OSHA e adequada ao Limite de Tolerância de 85 dB(A) estabelecido na NR-15, para

uma jornada de 8 horas, obtemos o tempo de duas horas e vinte e um minutos no qual o Requerente 1 poderia trabalhar exposto àquele nível de ruído, conforme:

$$tempo\ permitido = \frac{480}{2^{0,2(L_A-90)}} \quad (1)$$

$$tempo\ permitido = \frac{480}{2^{0,2(L_A-85)}}$$

$$tempo\ permitido = 2h21\ min$$

Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da Tabela 1, para os Requerentes acima citados, verifica-se que há incompatibilidade de informações, e permite inferir que nos processo destes Requerentes os documentos apresentados pela empresa, em situação que visa benefício por insalubridade, não estão corretamente instruídos, o que pode gerar ônus indevido para o Estado.

O mesmo não ocorre com os Requerentes 7 e 8.

No ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente 7 ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído nas atividades de Auxiliar de Produção A e Operador de Produção III. Nestas funções o nível equivalente de ruído contínuo avaliado é de 88,3dB(A), portanto acima do Limite de Tolerância de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas. Porém nas funções de Operador Especializado e Operador Multifuncional a insalubridade não se caracteriza em função de que o nível equivalente de ruído contínuo avaliado é inferior ao Limite de Tolerância de 85 dB(A).

Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 1, para o Requerente 7, verifica-se que há incompatibilidade parcial. O que permite inferir que no processo do Requerente 7, os documentos apresentados pela empresa no caso 1, em situação que visa benefício por insalubridade, não estão corretamente instruídos, o que pode gerar ônus indevido para o Estado.

No ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente 8 também não ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído, uma vez que o nível equivalente de ruído contínuo é abaixo do Limite de Tolerância, 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas. Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 1, para o Requerente 8, verifica-se que há incompatibilidade parcial. O que permite inferir que no processo do Requerente 8, os documentos apresentados pela empresa no caso 1, em situação que visa benefício por insalubridade, não estão corretamente instruídos, o que pode gerar ônus indevido para o Estado.

Com relação ao caso 2, observa-se que:

No ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente 1 ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído nas atividades de Montador de Produção e Montador Universal. Nestas funções os níveis equivalentes de ruído contínuo avaliados são de 91,6 dB(A) e 90,5 dB(A), respectivamente, portanto acima do Limite de Tolerância de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas. Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 2, verifica-se que há incompatibilidade parcial entre os dados.

Já no ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente 2 não ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído, uma vez que os níveis equivalente de ruído contínuo são abaixo do Limite de Tolerância, 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas. Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 2, verifica-se que há incompatibilidade total.

Com relação aos dois Requerentes do caso 2 pode-se inferir que os documentos apresentados pela empresa, em situação que visa benefício por insalubridade, não estão corretamente instruídos, o que pode gerar ônus indevido para o Estado. Verificou-se, também, que as avaliações do ruído ambiental não foram corretamente apuradas. Portanto, os documentos depositados nos processos ajuizados na Vara Única Previdenciária de Curitiba, Seção Judiciária do Estado do Paraná contra o Instituto Nacional de Seguro Social, não estão corretamente instruídos.

Com relação ao caso 3, observa-se que:

Conforme a NR-4, a empresa do caso 3 não é obrigada a ter um departamento de Serviços especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho. Em função disto a empresa contrata serviços terceirizados na área de Engenharia e Segurança do Trabalho para realizar o Programa de Prevenção de Risco Ambiental, para cumprir o especificado na NR-9, isto é, preservar a saúde e a integridade dos trabalhadores. As atividades de controle da segurança laboral são realizadas pelos técnicos de segurança do trabalho, os quais fazem parte do quadro funcional da empresa em cumprimento à NR-4.

No ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente 1 e 2 não ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído, uma vez que o nível equivalente de ruído contínuo está abaixo do Limite de Tolerância de 85 dB(A), para uma jornada de 8 horas.

As atividades do Requerente 1 da empresa 1, que exerce função de Mecânico Industrial, é um exemplo concreto de exposição ocasional e intermitente ao ruído e, mesmo considerando 8 horas diárias ou 44 horas semanais de avaliação, não é correto determinar um nível médio representativo da exposição da vida laboral do trabalhador, pelo fato da exposição não ser contínua, pois ocorre em intervalos.

Para efeito do levantamento pericial, considerou-se a exposição do ruído ambiental no local onde havia o maior nível de ruído. Porém, o nível médio equivalente não é representativo da vida laboral do trabalhador, pois varia significativamente de maneira alternada.

As atividades desta função são eventuais e intermitentes, além de que, para a realização de manutenção preventiva ou corretiva as máquinas são desligadas, cessando a emissão do ruído na fonte. Deve-se ressaltar que a atividade-fim da empresa periciada é de fabricação de alimentos e não de manutenção de máquinas, sendo esta uma atividade ocasional e intermitente. Interpretando [6], as atividades do Requerente 1 não se enquadram como permanente, não ocasional e não intermitente, em função de que na jornada de trabalho há a interrupção de atividade com exposição ao agente insalubre, ou seja, foi exercida de forma alternada.

Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 3, dos Requerentes 1 e 2, verifica-se que há incompatibilidade total entre os dados.

Com relação ao Requerente 3 ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído nas atividades de Auxiliar de Produção na linha de torrefação de café. Nesta função o nível equivalente de ruído contínuo avaliado é acima do Limite de Tolerância de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas, de acordo com o especificado pela NR-15, Anexo 1, Limite de tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente, com dose de exposição superior a unidade. Porém, na função de Auxiliar de Produção na linha de biscoitos a insalubridade não se caracteriza em função de que o nível equivalente de ruído contínuo avaliado é inferior ao Limite de Tolerância de 85 dB(A).

Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 3, verifica-se que há incompatibilidade parcial entre os dados, portanto, os documentos depositados nos processos ajuizados na Vara Única Previdenciária de Curitiba, Seção Judiciária do Estado do Paraná, contra o Instituto Nacional de Seguro Social, não estão corretamente instruídos.

Com relação ao caso 4, observa-se que:

A empresa, pelo número de funcionários, não é obrigada a ter um departamento de Serviços especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho. Em função disso a empresa contrata serviços terceirizados na área de Engenharia e Segurança do Trabalho para realizar o Programa de Prevenção de Risco Ambiental, para cumprir o especificado na NR-9. No ambiente e nas atividades de trabalho do Requerente ficou caracterizada a insalubridade pelo agente físico ruído nas atividades de todas suas funções. Os níveis equivalentes de ruído contínuo avaliados são acima do

Limite de Tolerância de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas.

Comparando-se os resultados das medições *in loco* com o valor nível de ruído registrado nos laudos da empresa na Tabela 4, verifica-se que há compatibilidade entre os dados, o que permite inferir que no processo do Requerente, os documentos apresentados pela empresa, em situação que visa benefício por insalubridade, estão corretamente instruídos.

Conclui-se, portanto, que no âmbito desta pesquisa, somente no caso 4, valores compatíveis ou similares foram encontrados quando se compara os dados depositados nos processos da JFPR, com os dados levantados pelo Perito na avaliação *in loco*. Isto muito embora a empresa do caso 4 também não atenda aos critérios estabelecidos nas Normas NR-9, NHO 01 e OSHA, para avaliação do ruído ambiental.

Estes dados remetem à idéia de que o Estado vem sendo onerado de maneira inadequada no que tange à aposentadoria especial.

Se as empresas fossem mais precisas e cuidadosas ao realizar as medições de ruído ambiental, e preenchessem corretamente os documentos exigidos pelo INSS, valores com perícias ou com aposentadorias não seriam gastos desnecessariamente.

Os gráficos 1 e 2 demonstram que os valores gastos pela JFPR com perícias vêm decaindo de 2005 para 2007 na cidade de Curitiba, porém, considerando-se que existem normas que definem exatamente como as medições de ruído devem ser realizadas e registradas, há que se alertar aqui que estes valores não necessariamente deveriam ser dispensados caso as empresas observassem as normas vigentes.

Outra questão a ser levantada é o fato de que muitos trabalhadores podem ter recebido indevidamente benefícios por insalubridade num passado recente, quando a JFPR e o INSS não executavam rotineiramente perícias nos casos de reclamações e indenização por perda auditiva induzida por ruído.

Os gráficos 3 e 4 demonstram que os valores pagos pelo INSS, agência de Curitiba, com benefícios previdenciários vêm aumentando de 2005 para 2007 a uma taxa de 8% ao ano. Em uma análise simples poderíamos considerar que os pagamentos estão estáveis, se considerarmos que neles estão incorporados a reposição inflacionária e o ganho real da massa salarial. Porém, como as normas que avaliam o enquadramento das atividades insalubres não são seguidas corretamente, há que se alertar também que benefícios previdenciários estão sendo pagos indevidamente. Portanto, economia poderia ser efetivada para os cofres da previdência social, pelo não pagamento de benefícios indevidos, haja vista que a previdência social brasileira, hoje acumula déficits financeiros em suas contas.

Verificou-se que a legislação e as normas técnicas nas empresas estudadas não estão sendo adequadamente

cumpridas em relação à avaliação e controle do ruído ambiental. Estes fatores favorecem pagamentos de custas judiciais e pagamentos indevidos de benefícios pelo Estado, além de que podem incidir para as empresas pagamentos indevidos com indenizações trabalhistas, em função de ações judiciais.

Nas análises dos laudos de avaliação ambiental das empresas, os quais foram disponibilizados durante as perícias objeto desta pesquisa, constatou-se que os levantamentos para avaliar o ruído ambiental são realizados nas fontes geradoras. Portanto, não seguem os critérios estabelecidos pela NHO 01 e pela OSHA. As avaliações ambientais do ruído são precárias em seu monitoramento e tabulação.

Nos quatro casos estudados nesta pesquisa, com exceção do Caso 2, as avaliações do ruído ambiental realizadas pelas empresas são setoriais e registram o nível de ruído das fontes geradoras, isto é, dos equipamentos e máquinas existentes no ambiente, e não há a avaliação do nível sonoro equivalente de ruído (LAeq) nas funções laborais existentes na linha de produção e nem a dose de exposição ao ruído ambiental a que os trabalhadores estão submetidos durante suas jornadas de trabalho. Os equipamentos utilizados na linha de produção não permanecem em funcionamento contínuo durante toda a jornada laboral dos Requerentes, induzindo ao erro na avaliação.

Somente no caso 4 observou-se compatibilidade entre os dados demonstrados no processo e os verificados *in loco* pelo Perito. Porém, nos laudos ambientais os critérios e parâmetros estabelecidos nas normas vigentes para avaliação do ruído ambiental não são seguidos, o que permite inferir que são cometidos erros na avaliação e de registros, em função da não observância correta das normas vigentes. As normas a serem seguidas para o levantamento do ruído ambiental são OSHA e NHO 01 e devem ser obedecidos os Limites de Tolerância para a exposição laboral, conforme estabelecido pela NR-15, ANEXO 1 e ANEXO 2.

Os dados obtidos *in loco*, por sua vez, mostraram que a exposição diária ao ruído está abaixo do Limite de Tolerância especificado pelas Normas Regulamentadoras, mais especificamente a NR-15. Uma das hipóteses levantadas é de que isso ocorra pela falta de qualificação dos profissionais responsáveis pela elaboração dos Laudos Ambientais. Outro fato percebido é que sendo os profissionais pertencentes ou não ao quadro funcional da empresa, há erros na avaliação do ruído ambiental de modo similar.

Apesar da NR-9 definir no seu artigo 9.3.1.1 que qualquer pessoa ou equipe, a critério do empregador, pode fazer o PPRA, nesta pesquisa observou-se que aqueles assinados por profissionais, como por exemplo, o médico do trabalho, contém erros de avaliação, provavelmente por falta de capacitação técnica. Tal constatação sugere a necessidade da revisão do artigo supracitado da NR-9.

Também entendemos que na falta de fiscalização e controle pelo Ministério do Trabalho e Emprego tem a origem as falhas cometidas pelos responsáveis de avaliações e emissão dos laudos técnicos ambientais.

Para uma maior abrangência de futuros estudos sugere-se uma pesquisa multidisciplinar para avaliar a capacitação técnica com relação à avaliação do ruído ambiental nos cursos de formação da Engenharia de Segurança do Trabalho, bem como também o impacto da terceirização deve ser considerado na execução da avaliação da exposição do ruído ambiental.

Em síntese, os custos pela incorreção na avaliação do ruído ambiental têm um peso muito significativo, quer relativamente aos casos estudados, quer por inferência, na realidade nacional. Tal fato tem repercussões econômicas significativas, afetando não só o Estado, como também os empresários e à sociedade como um todo.

5. Conclusão

TIRAROs resultados obtidos nos estudos de caso permitiram concluir que gastos indevidos com perícias e benefícios estão sendo realizados pelo poder público, pois os laudos das empresas não estão corretamente instruídos, em função da avaliação incorreta do ruído ambiental. As evidências são objetivas e apontam para alguns pontos importantes:

As medições de ruído são realizadas na fonte geradora e não no receptor (trabalhador), conforme estabelecem as normas consultadas;

As empresas avaliam os níveis mínimos e máximos de ruído e não o LAeq, conforme as normas definem;

Muitos laudos são emitidos por pessoas despreparadas tecnicamente, o que compromete a qualidade de informação;

Muitos laudos não fornecem informações importantes como o tempo de exposição e não há uniformidade entre as anotações;

As empresas contrariando as normas vigentes, não planejam adequadamente suas ações para avaliação do ruído ambiental;

Algumas empresas, em função do número de funcionários, terceirizam os serviços de medição e controle do ruído ambiental, o que pode influir na qualidade das avaliações, pela possível falta de comprometimento do terceirizado com a empresa contratante. Porém, esta hipótese deve ser cuidadosamente estudada em futuros estudos.

Referências

- [1] Environmental Health Criteria 12, NOISE. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Geneva, 1980..
- [2] RUSSO, I.C.P; SANTOS, T.M.M. A prática da audiologia clínica. São Paulo: Cortez, 2005.
- [3] BRASIL. Segurança e Medicina do Trabalho, Lei n. 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Norma Regulamentadora 9 (NR-9). Aprovada pela Portaria n. 3.214, de 8 de junho de 1978. 61. Ed. São Paulo, 2007.
- [4] BRASIL. Segurança e Medicina do Trabalho, Lei n. 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Norma Regulamentadora 15 (NR-15), Aprovada pela Portaria n. 3.214, de 8 de junho de 1978. 61. ed. São Paulo, 2007.
- [5] CORRÊA, J. A. P. Introdução à Perícia Judicial de Insalubridade e Periculosidade. Belo Horizonte, Livraria Del Rey Editora Ltda, 1998.
- [6] HORVATH JÚNIOR, M. Direito Previdenciário. 3. ed. São Paulo: Editora Quartier Latin do Brasil, 2003.
- [7] FUNDACENTRO, NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL – NHO 01- Avaliação da exposição ocupacional ao ruído. Ministério do Trabalho e Emprego - MTBE, FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo. Brasília, 1999.
- [8] JENSEN, P. *et al.* NIOSH: TECHNICAL REPORT - Industrial Noise Control Manual. Ohio, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND EDUCATION, AND WELFARE, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Physical Sciences and Engineering, Cincinnati, dec. 1978. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/79-117pd.html>>. Acesso em: 29 out. 2007.
- [9] BRASIL. Segurança e Medicina do Trabalho, Lei n. 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Norma Regulamentadora 4 (NR-4). Aprovada pela Portaria n. 3.214, de 8 de junho de 1978. 61. Ed. São Paulo, 2007.

Avaliação da Poluição Sonora Ambiental – Normas e Leis usadas no Brasil

Bunn, F.*; Fiedler, P.E.K.; Zannin, P.H.T

*Laboratório de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, fernandobunn@hotmail.com

Resumo: O propósito deste trabalho é apresentar leis e/ou normas técnicas relacionadas à avaliação do ruído urbano existente em algumas das capitais brasileiras e no Estado do Rio de Janeiro. As diferentes legislações são analisadas e têm seus aspectos semelhantes e discordantes discutidos. Os resultados indicaram que as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas para avaliação do ruído são seguidas nas legislações mais recentes. Inclui-se também um gráfico comparativo mostrando os níveis máximos de pressão sonora permitidos em cada cidade para zonas de uso similares a NBR 10151.

Palavras chave: ruído urbano, normas, leis, poluição sonora

1. Introdução

A poluição sonora é hoje, depois da poluição da água, o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no planeta [1]. Segundo o artigo primeiro, da Lei Municipal de Curitiba relacionada às emissões de ruídos urbanos, Lei 10.625/2002 [2]: “É proibido perturbar o sossego e o bem estar público com sons, ruídos e vibrações que causem incômodo de qualquer natureza ou que ultrapassem os limites fixados nesta lei”. No entanto, a poluição sonora e seus efeitos nocivos à saúde das pessoas e à qualidade de vida, é ainda um tema de difícil assimilação pelos governantes e pode se dizer, mesmo, que é um tema indesejável, visto ser em alguns casos, de difícil solução, exigindo o emprego de uma expressiva quantidade de recursos financeiros. A própria população afetada tem dificuldade na avaliação deste poluente, por desconhecimento sobre o assunto e por sua passividade frente à poluição sonora, dizendo-se “acostumada ao barulho”. Uma boa maneira de se combater o poluente – ruído – é através de leis, normas e, em especial, do desenvolvimento da consciência dos envolvidos – população, governo, políticos, juristas, trabalhadores – na solução do problema. Sem este, leis e normas são ineficazes. Deve-se destacar que, quando um município ou estado não possui norma ou lei própria sobre a questão da avaliação do ruído ambiental, faz-se uso então da NBR 10151 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” [3]. Atualmente, as grandes cidades brasileiras, em sua maioria, possuem leis quanto ao ruído que visam regulamentar a questão da poluição sonora urbana, como por exemplo: Curitiba com a lei 10.625/02 [2], a cidade de São Paulo com a Lei 11.986/96 [4], a cidade de Fortaleza com a lei municipal 5530/81 [5] e etc. Algumas dessas leis apresentam diferentes valores para os níveis de pressão sonora admissíveis, diferentes métodos para a análise, assim como diferem na maneira de punir os infratores. No presente trabalho, serão apresentadas as leis vigentes nas seguintes cidades: a) Curitiba; b) Florianópolis; c) São Paulo; d) Fortaleza; e)

Vitória; f) Porto Alegre e g) Distrito Federal. É apresentada também a lei vigente no Estado do Rio de Janeiro.

2. Leis e/ou Normas

No Brasil as avaliações quanto à poluição sonora ambiental são regidas pela norma NBR 10151 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” [3]. A NBR 10151 estabelece os níveis de pressão sonora conforme o tipo de área (Tabela 1).

Tabela 1: Nível de critério de avaliação para ambientes externos conforme NBR 10151

Tipos de regiões	Diurno [dB(A)]	Noturno [dB(A)]
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominante residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominante industrial	70	60

2.1 Curitiba

Em Curitiba a Lei Municipal 10.625/02 [2] dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. Foram definidos, também, três períodos para a aplicação da lei:

- Diurno - entre 07h01min às 19h00min
- Vespertino - entre 19h01min às 22h00min
- Noturno – entre 22h01min às 07h00min

Na Tabela 2 são apresentados os limites de pressão sonora permissíveis para diferentes zonas de uso na cidade de Curitiba. Para um melhor entendimento ajustaram-se os zoneamentos em regiões equivalentes às da NBR 10.151.

Tabela 2: Níveis de pressão sonora equivalentes permitidos conforme as regiões e o período do dia, na cidade de Curitiba

Zonas de uso	Diurno [dB(A)]	Vespertino dB(A)	Noturno dB(A)
Região 2	55	50	45
Regiões 1 e 3	60	55	50
Região 4	65	60	55
Regiões 5 e 6	70	60	60

As zonas de uso correspondentes às regiões definidas pela NBR 10.151 são:

Regiões 1 e 3: ZR-OC Zona Residencial de Ocupação Controlada; ZR-SF Zona Residencial Santa Felicidade; ZR-U Zona Residencial Umbará; ZR-P Zona Residencial Passaúna.

Região 2: ZR-1 Zona Residencial 1; ZR-2 Zona Residencial 2; ZR-3 Zona Residencial 3; ZR-AV Zona Residencial Alto da Glória; ZR-B Zona Residencial Batel; ZR-M Zona Residencial Mercês.

Região 4: ZR-4 Zona Residencial 4; ZC Zona Central; ZT-BR-116 Zona de Transição BR - 116; Z-UM Zona de Uso Misto; ZE-D Zona Especial Desportiva; SH Setor Histórico; SC-SF Setor Especial Comercial Santa Felicidade; SE-LE Setor Especial Linhão do Emprego 10; APA-SS Setor de Serviço.

Regiões 5 e 6: ZS-1 Zona de Serviço 1; ZS-2 Zona de Serviço 2; ZI Zona Industrial; APA-SUE Setor de Uso Esportivo.

- As zonas urbanas não identificadas na Tabela 2 são consideradas casos particulares e recebem um tratamento diferenciado da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMA). A lei 10.625/02 [2] também apresenta as diversas situações de imissões sonoras passíveis de penalizações. À SEMMA, compete estabelecer os programas de avaliação do ruído urbano e fiscalização das fontes de poluição sonora. É de competência da SEMMA também aplicar sanções previstas na legislação vigente e organizar programas de educação e conscientização. Para as medições do nível de pressão sonora deve ser utilizado o método descrito na norma NBR 10151 [3]. As infrações, segundo a Lei 10.625/02 [2] são classificadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Classificação das infrações na cidade de Curitiba

Classificação da Infração	Observações
Leve	até 10 dB(A) acima do limite
Grave	de 10 dB(A) a 30 dB(A) acima do limite
Gravíssima	Mais de 30 dB(A) acima do limite
Leve	Atividade desenvolvida sem licença

As penalizações chegam aos seguintes valores:

- Nas infrações leves - até R\$ 5.300,00.
- Nas infrações graves – de R\$ 5.301,00 a R\$ 10.700,00.

- Nas infrações gravíssimas - de R\$ 10.701,00 a R\$ 18.000,00.

Caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo desta lei, as sanções poderão ser as seguintes, independentes da obrigação de cessar a transgressão:

1. Notificação por escrito;
2. Multa simples ou diária;
3. Cassação da Licença Ambiental;
4. Embargo;
5. Interdição parcial ou total;
6. Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Município.

2.2 Florianópolis

Em Florianópolis há uma lei complementar CMF 003/99 [6] sobre ruídos urbanos e proteção do bem estar e do sossego público, a qual obedece às normas NBR 10151 [3] e NBR 10152 [7]. Seguindo o mesmo padrão utilizado na cidade de Curitiba, a Tabela 4 apresenta os níveis de pressão sonora permitidos para diferentes regiões de uso na cidade de Florianópolis. Da mesma forma, dividiram-se as zonas de uso em regiões como na NBR 10151 [3].

Tabela 4: Níveis de pressão sonora equivalentes permitidos, conforme as Zonas de Uso e o período do dia na cidade de Florianópolis.

Zonas de uso	Diurno dB(A)	Vespertino dB(A)	Noturno dB(A)
Regiões 1 e 2	55	50	45
Região 3	60	55	50
Regiões 4 e 5	65	60	55
Região 6	70	60	60

As zonas de uso correspondentes às regiões definidas pela NBR 10.151 [3] são:

Regiões 1 e 2: ARE – Área Residencial Exclusiva; AER – Área de Exploração Rural; AMR – Área Mista Rural; APL – Área de Preservação com uso Limitado.

Região 3: ARP - Área Residencial Predominante; APT – Área de Parque Tecnológico; ACI – Área Comunitária Institucional; AVL – Área Verde de Lazer; AVP – Área Verde de uso Privado.

Regiões 4 e 5: AMC – Área Mista Central; ATR – Área Turística Residencial.

Região 6: AMS – Área Mista de Serviço; AS – Área Serviço Exclusivo; AIE – Área Industrial Exclusiva.

Os estabelecimentos que causem poluição sonora deverão requerer à Fundação Municipal do Meio Ambiente uma certidão de tratamento acústico adequado, sendo a certidão com validade para dois anos. As penalidades para o caso de descumprimento dos níveis de pressão sonora máximos permitidos são:

1. Notificação por escrito;
2. Multa simples ou diária;
3. Embargo da obra;
4. Interdição parcial ou total do estabelecimento ou atividades;
5. Cassação imediata do alvará de licenciamento do estabelecimento;
6. Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Município;
7. Paralisação da atividade poluidora.

As infrações são classificadas conforme Tabela 5.

Tabela 5: Classificação das infrações na cidade de Florianópolis

Classificação da Infração	Observações
Leve	atividade geradora de ruído desenvolvida sem licença
Leve	até 10 dB acima do limite
Leve	outras infrações a esta Lei Complementar
Grave	de 10 dB a 30 dB acima do limite
Gravíssima	mais de 30 dB acima do limite

Conforme a qualificação da infração, as seguintes penalidades são aplicadas:

- Leve (23 a 3450 UFIRs)
- Grave (3451 a 6900 UFIRs)
- Gravíssima (6901 a 11500 UFIRs)

A FLORAM (Fundação Municipal do Meio Ambiente) é a responsável por:

- Estabelecer o programa de controle dos ruídos urbanos e exercer o poder de controle e fiscalização das fontes de poluição sonora;
- Aplicar sanções e interdições, parciais ou integrais, previstas na legislação vigente;
- Organizar programas de educação e conscientização para eliminação ou minimização de distúrbios sonoros.

2.3 São Paulo

A poluição sonora na cidade de São Paulo é controlada de acordo com a lei municipal N°. 11.986/96 [4]. Esta lei impõe restrições a certos tipos de ambientes confinados e abrange qualquer tipo de ruído considerando irregular o barulho acima dos níveis de pressão sonora indicados na norma (Tabela 6).

Tabela 6: Nível de pressão sonora permitido de acordo com horário e área na cidade de São Paulo

Classificação de área	Diurno dB(A)	Vespertino dB(A)	Noturno dB(A)
Região 2	50	45	40
Região 3	55	50	45
Região 4	60	55	50
Região 6	65	60	55
Estritamente industrial	70	70	-

As zonas de uso correspondentes às regiões definidas pela NBR 10.151 [3] são:

Região 2: Estritamente residencial.

Região 3: Predominantemente residencial.

Região 4: Diversificada (residências, comércio, indústrias).

Região 6: Predominantemente industrial.

Não há, na NBR 10151 [3], uma região correspondente a “Estritamente Industrial” como apresentado na Tabela 6.

Para fins de aplicação desta lei, ficam definidos os seguintes horários:

- Diurno: entre 07h00min e 19h00min;
- Vespertino: entre 19h00min e 22h00min;
- Noturno: entre 22h00min 07h00min.

A Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) é a responsável por aplicar sanções previstas na legislação vigente. As penalidades, em caso de descumprimento da lei, são:

1. Multa para os locais e intimação para, no prazo improrrogável de 10 (dez) dias, adequar-se ao sistema acústico descrito no laudo técnico;
2. Interdição ao uso, até o atendimento da intimação, na segunda autuação;
3. Fechamento administrativo com fechamento lacrado de todas as entradas, na terceira autuação.

Em 1994, foi criado o Decreto n°. 34.569/94 [8] para o município de São Paulo, o qual instituiu o Programa Silêncio Urbano (PSIU). Este programa permite à população denunciar infratores da lei por telefone ou internet, sendo assim um instrumento de fiscalização pela própria população.

2.4 Fortaleza

Fortaleza possui a Lei Municipal 5530/81 [5] chamada de Código de Obras e Postura do município, que considera como prejudiciais à saúde os sons e ruídos que:

- Atinjam no ambiente exterior do local em que têm origem, nível sonoro de mais de 10 decibéis, acima do ruído de fundo existente no local sem tráfego;

- Independente de ruído de fundo, atinjam, no ambiente exterior do recinto em que tem origem, mais de 70 decibéis durante o dia e 60 durante a noite;
- Alcancem no interior do recinto em que são produzidos, níveis de som superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10152 [7].

A Lei municipal 5530/81 [5] não apresenta uma subdivisão da cidade em zonas distintas, para as quais devem ser adotados níveis sonoros distintos, conforme seus usos. A Lei fixa somente níveis que devem ser obedecidos nos períodos diurno e noturno. Não há qualquer menção a órgãos responsáveis pela fiscalização da poluição sonora, bem como medidas punitivas aos que não cumprirem a Lei.

2.5 Vitória

Vitória possui a Resolução n.º10/98 [9] a qual visa promover o controle das imissões de ruído buscando garantir o sossego e o bem estar da população. Para fins de aplicação desta resolução, ficam definidos os seguintes horários:

- Diurno: compreendido entre 07h00min e 20h00min;
- Noturno: compreendido entre 20h00min e 07h00min.

A Resolução n.º10/98 [9] determina que sejam seguidos os procedimentos contidos nas normas da ABNT NBR 10.151 [3] e NBR 10.152 [7].

Conforme Plano Diretor Urbano de Vitória [10], ficam estabelecidos os níveis sonoros que devem ser respeitados, conforme a zona urbana e o período do dia, os quais podem ser vistos na Tabela 7. As zonas de uso correspondentes às regiões definidas na NBR 10.151 são:

Região 2: Zona residencial.

Região 4: Zona de usos diversos

Região 6: Zona industrial

Não há, na NBR 10151 [3], regiões correspondentes à “Zona do parque tecnológico”, “Zona portuária” e “Zona Aeroportuária” como apresentado na Tabela 7.

Para as zonas naturais (por exemplo: Áreas Verdes), não inseridas nas zonas sensíveis à ruído (por exemplo: Zonas Residenciais), a Secretaria Municipal do Meio Ambiente adotará os limites sonoros das zonas limítrofes [10], conforme Tabela 7.

Os níveis de pressão sonora poderão ser excedidos, excepcionalmente, em datas comemorativas como: carnaval, natal, ano novo e eventos oficiais da cidade.

As pessoas físicas ou jurídicas que infringirem qualquer dispositivo desta Resolução ficam sujeitas às penalidades previstas no Decreto n.º 10.023 [11], de 05 de junho de 1997.

Tabela 7: Níveis de pressão sonora permitidos de acordo com horário e área para a cidade de Vitória

Classificação de área	Diurno dB(A)	Noturno dB(A)
Região 2	55	50
Região 4	65	60
Zona do parque tecnológico	65	60
Região 6	75	70
Zona portuária	75	70
Zona aeroportuária	75	70

2.6. Porto Alegre

Em Porto Alegre, há o Decreto n.º 8.185, de 07 de março de 1983 [12] que estabelece padrões de emissão e imissão de vibrações e ruídos. Em seu artigo primeiro diz-se que é proibido perturbar o bem-estar e o sossego público com vibrações, ruídos ou sons excessivos que contrariem os níveis máximos estabelecidos pelo decreto. O órgão responsável pelo controle e prevenção da poluição em Porto Alegre é a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), que tem funções como: estabelecer o programa de ruídos urbanos, exercer fiscalização e aplicar as sanções previstas na legislação.

Para fins de aplicação deste decreto, ficam definidos os seguintes horários:

- Diurno: entre 07h00min e 19h00min;
- Vespertino: entre 19h00min e 22h00min;
- Noturno: entre 22h00min e 07h00min.

Os equipamentos e técnicas utilizados para realizar as medições devem proceder de acordo com as recomendações da NBR 10.151 [3].

Há um capítulo, no decreto da cidade de Porto Alegre, que dispõe sobre as proibições, das quais aqui se destacam:

- Utilizar rádios, autofalantes ou outros aparelhos sonoros usados como meio de propaganda, mesmo em casas de negócios, desde que causem incomodo [12].
- É proibido possuir ou alojar animais que com frequência emitam sons que causem incomodo, com exceção dos animais de zoológicos e parques públicos [12].
- Não são permitidos serviços de construção civil (sem a devida autorização) nos domingos e feriados a qualquer hora e nos dias úteis nos períodos vespertino e noturno.

O decreto n.º 8.185 estabelece o nível de pressão sonora de 55 dB(A) para unidades territoriais residenciais no horário diurno. Para as demais zonas e horários está

fixado um anexo no decreto que estabelece as categorias: residências, comércios, serviços, indústrias e atividades especiais. Essas categorias contêm subdivisões que são classificadas como Classe 1, 2 ou 3, determinadas de acordo com o caráter ruidoso pela SMMA.

As atividades que não se enquadrarem no anexo do decreto são classificadas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente após os estudos detalhados da área.

Em Porto Alegre, os níveis de pressão sonora permitidos na recepção, por atividades de uma determinada classe (Exemplo classe 1), são medidos por banda de frequência de oitava de acordo com as classes das atividades emissoras do ruído (1, 2 e 3). As Tabelas 8, 9 e 10 mostram os níveis de pressão sonora por banda de oitava e por classe.

Tabela 8: Níveis máximos de pressão sonora por banda de oitava de frequência passíveis por qualquer atividade de Classe 1, de acordo com a sua origem em atividades de Classe 1, 2 ou 3, no horário compreendido entre 07h00min e 19h00min [12].

Frequência central da banda de oitava em Hertz	NPS [dB(A)] passível de ser recebido por atividades de classe 1		
	Atividades emissoras de ruído		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
31,5	89	89	98
63	84	84	89
125	75	75	81
250	67	67	76
500	64	64	72
1000	59	59	67
2000	57	57	65
4000	53	53	62
8000	51	51	59

Tabela 9: Os níveis máximos de pressão sonora por banda de oitava de frequência, passíveis de serem recebidos por qualquer atividade de Classe 2, de acordo com a sua origem em atividades de Classe 1, 2 ou 3, no horário compreendido entre 07h00min e 19h00min [12].

Frequência central da banda de oitava em Hertz	NPS [dB(A)] passível de ser recebido por atividades de classe 2		
	Atividades emissoras de ruído		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
31,5	55	55	61
63	51	51	57
125	46	46	53
250	40	40	47
500	35	35	42
1000	34	34	40
2000	26	26	30
4000	25	25	26
8000	25	25	26

Tabela10: Os níveis máximos de pressão sonora por faixa de oitava de frequência, passíveis de serem recebidos por qualquer atividade de Classe 3, de acordo com a sua origem em atividades de Classe 1, 2 ou 3, no horário compreendido entre 07h00min e 19h00min[12].

Frequência central da faixa de oitava em Hertz	NPS [dB(A)] passível de ser recebido por atividades de classe 3		
	Atividades emissoras de ruído		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
31,5	72	79	80
63	71	78	79
125	65	72	74
250	57	64	69
500	51	58	63
1000	45	52	57
2000	39	46	52
4000	34	41	48
8000	32	39	45

2.7. Distrito Federal

Há no Distrito Federal a Lei nº 1.065, de 06 de Maio de 1996 [13] que dispõe sobre normas de preservação ambiental quanto à poluição sonora e dá outras providências.

Os níveis de pressão sonora máximos permitidos são os fixados nas normas da ABNT, 10.151 [3] e 10.152 [7], bem como as medições de nível de pressão sonora devem ser feitas com instrumentos adequados e em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A SEMATEC, Secretaria de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Distrito Federal é o órgão responsável pelo controle e prevenção da poluição, além de acumular funções como:

- Exercer a fiscalização e o cumprimento da lei;
- Executar programas de monitoramento de poluição sonora;
- Conscientização e educação da população.

O artigo quarto da referida lei, diz que as atividades relacionadas com construção civil, reformas, consertos, operações de carga e descarga somente podem ser realizadas no horário de 7h00min às 16h00min, se contínuas, e no de 7h00min às 19h00min, se descontínuas.

Os infratores da lei municipal sofrerão as penalidades de acordo com a Lei nº 41, de 13 de setembro de 1989, Lei da Política Ambiental do Distrito Federal [14]. A Lei nº 1.065/96 ainda deixa claro que para o funcionamento de algumas atividades o alvará não é expedido até que se comprove o tratamento acústico compatível com os níveis de pressão sonora máximos permitidos para o local.

2.8. Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, vigora a Lei Estadual nº 4.324, de 12 de Maio de 2004 [15] que estabelece diretrizes visando a garantia da saúde auditiva da população do Estado do Rio de Janeiro. Essa garantia, segundo a lei, será através de programas e medidas que combatam o ruído e diminuam a poluição sonora através das ações dos poderes públicos no âmbito de suas competências. Essa lei considera poluição sonora urbana um ruído excessivo, contínuo e/ou intermitente capaz de provocar danos auditivos e/ou extra-auditivos tais como: ansiedade, nervosismo, fadiga, irritabilidade entre outros.

Os transportes urbanos são considerados, pela lei como uma das principais fontes de poluição sonora, juntamente com os ruídos industriais, os gerados pela construção civil, a coleta de lixo no horário noturno, alarmes de garagens e de carros, as propagandas feitas em veículos motores, além de outros citados.

A fim de diminuir tais problemas a lei determina que algumas medidas devam ser adotadas. Entre elas estão:

- Restringir a velocidade em alguns trechos da malha urbana, incluindo a proibição de circulação de veículos em determinadas áreas, assim como a restrição de veículos pesados em trechos e horários definidos;
- A implementação de barreiras acústicas e tratamento especial para pistas nos trechos mais críticos;
- Renovar a frota de ônibus, que deverá ser padronizada e dotadas de sistemas mais silenciosos;
- Incentivar as indústrias a substituírem as máquinas e equipamentos por outros similares menos ruidosos;
- Acompanhamento de estudos de ruídos de atividades industriais, comerciais, culturais e outras que gerem elevado impacto sonoro devem ser elaborados pelas empresas responsáveis e aprovados pelo órgão competente, que verificará inclusive se obedecem à NBR 10151 [3] e às demais normas da ABNT.

No caso de se estabelecer um convênio com os municípios, o Estado do Rio de Janeiro irá apoiar a elaboração do mapeamento acústico das fontes geradoras de ruídos, assim como a divulgação dos planos de redução gradual de ruídos [15].

A Lei nº 4.324/04 [15] não deixa claro se há multas e/ou sanções como medidas de punição aos que desobedecem as normas.

2.9. Legislação sobre poluição sonora em âmbito Federal

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) possui resoluções relacionadas à questão do ruído. A Resolução nº. 001, de 08 de março de 1990 [16], refere-se à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público e remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT, NBR 10151 [3] e NBR 10152 [7]. A Resolução nº. 002, de 08 de março de 1990 [17], institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, o Programa “Silêncio”.

3. Discussões

De uma forma geral, em todas as cidades, o objetivo da legislação é o mesmo: “garantia e proteção do bem-estar público contra sons excessivos, ruídos ou qualquer tipo de poluição sonora”. A intenção dessas legislações é legítima, já que segundo estudos do grupo de pesquisas em zumbido da clínica de otorrinolaringologia do hospital de clínicas (HC) da Universidade de São Paulo (USP), abusos constantes de sons altos causam ansiedade, irritabilidade, taquicardia, insônia, falta de concentração e agitação [18].

Cada local, com sua respectiva legislação, apresenta alguns pontos que aqui são destacados:

- No estado do Rio de Janeiro há um incentivo de medidas preventivas e de melhoria dos bens públicos para preservar a saúde auditiva da população, além da proposta de um convênio com municípios para atuar junto determinando medidas mitigatórias de impacto sonoro.
- Em Curitiba, há um projeto de alteração da lei para aumentar o limite de nível de pressão sonora para as áreas onde locutores do comércio atuam [19]. Essas áreas admitem valor de 65 dB(A) determinado como máximo pela lei. Um fato científico amplamente aceito, é que os habitantes das chamadas “Black acoustics zones”, ou seja, zonas urbanas em que o nível de pressão sonora está acima de 65 dB(A), coloca esses habitantes em uma categoria de risco a inúmeros efeitos subjetivos do ruído como: psicológicos, problemas com o sono, e problemas de comportamento [20, 21, 22]. Percebe-se, pelo acima exposto, que a proposta de alteração de lei fere em suma fatos aceitos e comprovados cientificamente.
- Em Porto Alegre realiza-se a avaliação de ruídos urbanos em frequências de oitava, como requisitado pela respectiva lei municipal. Em geral as Secretarias Municipais de Meio Ambiente ou órgãos fiscalizadores não possuem equipamentos que fazem esse tipo de análise, pois são muito mais caros e necessitam de pessoal com formação técnica adequada à interpretação dos dados medidos, o que torna mais difícil a sua aquisição e uso pelas prefeituras.
- A cidade de São Paulo possui um programa de fiscalização com ajuda da população, podendo ser enviadas reclamações, via telefone ou internet.
- Florianópolis requisita que todos os estabelecimentos que causarem poluição sonora na capital catarinense devem obter junto a Fundação do Meio Ambiente (FLORAM) uma certidão de tratamento acústico adequado, que tem validade de 2 anos.
- A lei de Fortaleza não apresenta informações como penalidades e níveis máximos de ruído para cada horário.
- Vitória é a única cidade dentre as analisadas que divide os horários em noturno e diurno, o que representa uma vantagem, pois facilita os procedimentos de medição. A cidade se assemelha com padrões de nível internacional na questão do uso de dois períodos de avaliação (diurno e noturno), enquanto que em outras cidades brasileiras é

usual a divisão do período de avaliação em diurno, vespertino e noturno. Cita-se o Decreto nº12 de Roma [23] assim como a Norma válida em todo território alemão DIN18005 [24] que estabelecem como períodos de avaliação das 6h00min às 22h00min como período diurno, e das 22h00min às 6h00min como período noturno.

Para melhorar os procedimentos de avaliação do ruído ambiental, recomenda-se fazer um paralelo com as normas ISO 1996: a) *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures* [25]; b) *Acoustics – Description and measurements of environmental noise – Part 2: Acquisition of data pertinent to land use - Amendment 1* [26]; c) *Acoustics – Description and measurements of environmental noise – Part 3: Application to noise limits* [27]. A ISO 1996-1, por exemplo, apresenta de forma bem detalhada, ajustes que devem ser acrescentados às medições do nível de pressão sonora contínuo equivalente, conforme o tipo de fonte e o período do dia (tarde, noite, final de semana). A Tabela 12 apresenta as recomendações da norma ISO 1996-1.

Tabela 12: Ajustes nos níveis de pressão sonora conforme a ISO 1996-1, em função do tipo da fonte sonora e período do dia

Tipo de Fonte Sonora	Especificação	Nível de Ajuste dB
Fonte Sonora	Tráfego Rodoviário	0
	Aeronáutico	3 a 6
	Feroviário	-3 a -6
	Industrial	0
Característica da Fonte	Impulsiva Regular	5
	Fortemente Impulsiva	12
	Sons Tonais Proeminentes	3 a 6
	Período do Dia	Tarde
	Noite	5
	Finais de Semana diurno (7:00h às 22:00h)	10
		5

As Figuras 1 e 2 apresentam os níveis de pressão sonora permitidos em algumas cidades tratadas neste artigo, para zoneamento similar a NBR 10.151 [3] conforme Tabela 1.

4. Conclusões

Percebe-se que as principais diferenças em cada cidade variam de acordo com alguns aspectos, entre eles:

1. Ano de publicação das leis e normas;
2. Divisão da cidade em zonas específicas com seus limites sonoros próprios;
3. Padrões recomendados pelas normas da ABNT e pelo CONAMA;
4. Medidas punitivas para infratores;

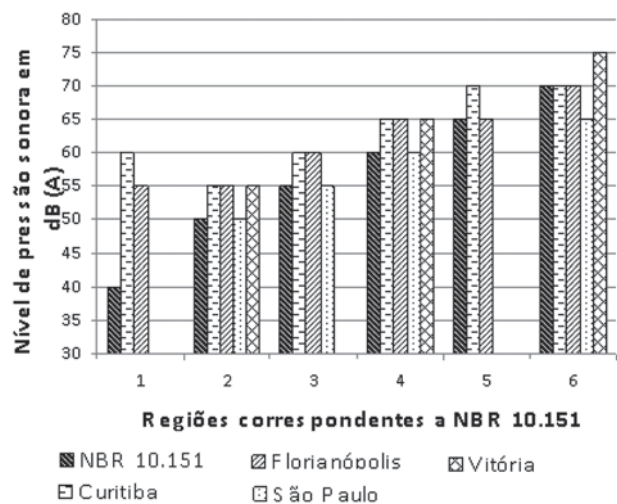


Figura 1: Níveis de pressão sonora permitidos para o período diurno.

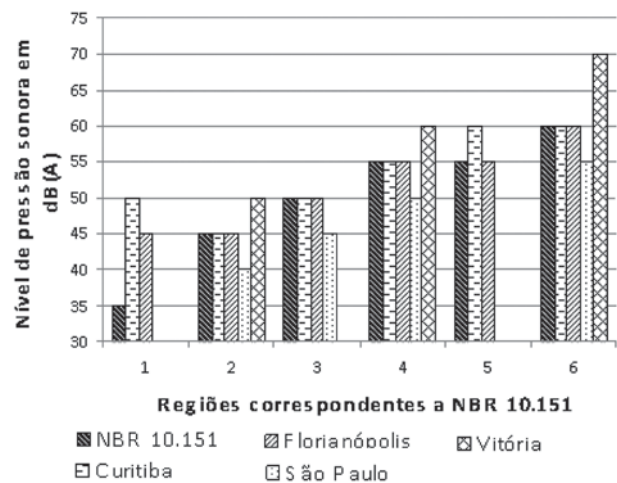


Figura 2: Níveis de pressão sonora permitidos para o período noturno.

De acordo com os itens acima se conclui:

Sobre o item 1: A maioria das cidades apresenta legislações relativamente recentes, com exceção de Fortaleza e Porto Alegre que possuem normas muito antigas e que necessitam ser revisadas e atualizadas.

Sobre o item 2: Curitiba, Florianópolis, São Paulo, Vitória e Porto Alegre apresentam um zoneamento urbano com limites de nível de pressão sonora próprios. Embora estas cidades não estejam divididas em regiões como na NBR 10.151 [3], essa subdivisão facilita nas medições e a fiscalização.

Sobre o item 3: de forma geral, todas as cidades seguem as normas da ABNT (NBR 10.151 [3] e NBR 10.152 [7]), com exceção de Fortaleza para avaliações de ruído em áreas habitadas.

Sobre o item 4: A cidade de Fortaleza e o Estado do Rio de Janeiro não fazem qualquer menção a órgãos responsáveis pela fiscalização da poluição sonora, bem como medidas punitivas aos que não cumprirem a lei.

Referências

- [1] Aquecimento Global, Poluição Sonora (2008).
- [2] Lei nº 10.625 de Curitiba - “Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público” Publicada no D.O.M em 19/02/2002.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10.151: Acústica - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- [4] Lei de São Paulo Lei 11.986/96 - dispõe sobre o controle de ruídos de estabelecimentos como bares, boates, restaurantes, academias.
- [5] Lei de Fortaleza 5530/81 – Código de obras e posturas do Município - Capítulo XLI – Seção II da Poluição Sonora.
- [6] Lei complementar CMF 003/99 – “Dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem estar e do sossego público”.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10.152: Acústica – Níveis de Ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- [8] Decreto nº. 34.569/94 Silêncio Urbano - PSIU
- [9] Resolução n.º10/98 – promoção do controle da emissão de ruídos de forma garantir o sossego e o bem estar público da coletividade no Município de Vitória.
- [10] Lei nº 4167/94 - Plano Diretor Urbano do Município de Vitória.
- [11] Decreto n.º 10.023 – Parte Especial da Lei Municipal nº 4438, de 28 de maio de 1997.
- [12] Decreto nº 8.185 de Porto Alegre, de 07 de março de 1983 - que estabelece padrões de emissão e imissão de vibrações e ruídos.
- [13] Lei nº 1.065 do Distrito Federal, de 06 de Maio de 1996 que dispõe sobre normas de preservação ambiental quanto a poluição sonora e dá outras providências.
- [14] Lei nº 41 [14], de 13 de setembro de 1989, Lei da Política Ambiental do Distrito Federal.
- [15] Lei Estadual nº 4324 do Rio de Janeiro, de 12 de Maio de 2004 que estabelece diretrizes visando a garantia da saúde auditiva da população do Estado do Rio de Janeiro.
- [16] Resolução nº. 001 de 08 de março de 1990 – refere à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público e remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT, NBR 10151 e NBR 10152.
- [17] Resolução nº. 002 de 08 de março de 1990 - institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, o Programa “Silêncio”.
- [18] Revista Aquecimento Global nº 6 – Saúde x Ambiente – “Poluição Sonora”.
- [19] Jornal Gazeta do Povo de 29 de Agosto de 2007, Coluna Observatório – “Vereador quer aumentar limite de decibéis”.
- [20] Guidelines for community noise, WHO – World Health Organization, 2000. Editado por: Brigitte Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich Schvvela, Kee- Taigah.
- [21] Bejolvaviae G, Jakovleviae B. Subjective reactions for traffic noise with regard to some personality traits. *Environmental International* 1997; 23:221-6.
- [22] Maschke C. Preventive medical limits for chronic traffic noise exposure. *Acustica* 1999; 85: 448.
- [23] Decree nº 12 of the City Council of Rome 2004.
- [24] DIN 18005 Teil 1: 1987, Schallschutz im Städtebau-Berechnungsverfahren. Berlin, Beuth Verlag (in German).
- [25] ISO- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996-1, Acoustics Description and measurement of environmental noise-Part 1: Basic quantities and procedures. Geneva, 2003.
- [26] ISO- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996-2, Acoustics-Description and measurement of environmental noise-Part 2: Acquisition of data pertinent to land use. AMENDEMENT 1. Geneva, 1998.
- [27] ISO- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996-3, Acoustics – Description and measurements of environmental noise – Part 3: Application to noise limits. Geneva, 1987.

Ruído Ferroviário

Vendrami, C. E.*; Paul, S.†

* Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, cadu.emc@gmail.com

† Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, stephan.paul.acoustic@gmail.com

Resumo

O projeto da implementação de um trem de alta velocidade no Brasil, a ampliação de redes existentes de metrô e implementação de novas redes deste meio de transporte colocarão o transporte ferroviário, após muitos anos sem grandes investimentos, em um novo patamar. Estima-se que nas próximas décadas o Brasil vai ver um crescimento desta modalidade de transporte, que, apesar de ser considerada “verde”, poderá criar problemas de ruído que precisam ser adequadamente considerados. O presente artigo analisa diferentes fontes de ruído, a situação legal quanto ao ruído ferroviário e discute algumas medidas de mitigação do problema.

Palavras-chave: ruído ferroviário, revisão, medidas de mitigação

1. Introdução

O projeto da implementação de um trem de alta velocidade no Brasil e a ampliação das redes existentes de metrô (além da implementação de novas redes) colocarão o transporte ferroviário, após muitos anos sem grandes investimentos, em um novo patamar. Isto resultará em um crescimento desta modalidade de transporte, que inclui trens de passageiros, trens de carga, bondes ou *tramways* e metrôs.

Apesar de ser considerada uma modalidade de transporte “verde”, o ruído, que desde os anos 1960 tem se tornado uma preocupação crescente, é um dos mais significativos impactos ambientais do transporte ferroviário.

Enquanto no Brasil o ruído ferroviário atualmente é significativo pelo fato de se usar, na maioria dos casos, material antigo, ele também é um problema em países com material mais moderno, devido ao percentual de participação do transporte ferroviário. Na Europa ocidental por exemplo, o problema é considerável, devido ao grande fluxo de trens, bem como ao material antigo usado no transporte de carga, que acontece à noite. Além disso, trens de alta velocidade e a grande densidade de população contribuem para a agravação do problema.

Alguns destes fatores afetarão também os projetos de ampliação ou implementação de linhas novas no Brasil e, apesar de o ruído ferroviário possuir inúmeras características que o torna, em alguns aspectos, mais atrativo que o ruído gerado pelo transporte rodoviário ou o transporte aéreo, medidas adequadas para sua redução devem ser tomadas.

O presente artigo dará uma visão geral do problema ruído ferroviário, apresentando os fatores de influência, as diversas fontes de ruído e a legislação que se aplica para

medição e controle dos ruídos emitidos por trens, metrôs e afins, além de medidas que estão sendo tomadas para contornar este problema. Considerando que o Brasil ainda não é referência mundial em transporte ferroviário e, portanto, não possui muitas leis para limitar o ruído ferroviário, serão também apresentadas legislações de alguns países onde este tipo de transporte é mais difundido.

2. Fatores de influência em ruído ferroviário

O ruído ferroviário possui vários fatores de influência e fontes associados a estes. Os fatores mais importantes são:

1. infraestrutura (trilhos, pontes):

- assentamento dos trilhos;
- manutenção dos trilhos;
- declive da via;
- reflexões próximas.

2. veículos

- fluxo de veículos;
- tipo de veículo;
- velocidade dos trens;
- percentual de trens de carga;
- manutenção dos veículos;

Em função dos fatores mencionados anteriormente, diferentes mecanismos e fontes participam da geração do ruído. Tomando o ponto de vista da população que vive próxima às linhas férreas, destacam-se as fontes que geram o ruído de rolagem, o ruído de tração e o ruído aerodinâmico. Dentro dos vagões tem-se, além destas fontes, outras, tais como o ruído de ar condicionado.

A contribuição das diferentes fontes, que serão analisadas na Seção 3, e o total do ruído ferroviário gerado

dependem dos fatores mencionados anteriormente. A Figura 1 mostra, como exemplo, a composição do ruído total em função da velocidade do trem, e a Figura 2 exemplifica, por meio de uma imagem obtida com *beamforming*, as fontes que mais irradiam ruído em um trem de alta velocidade.

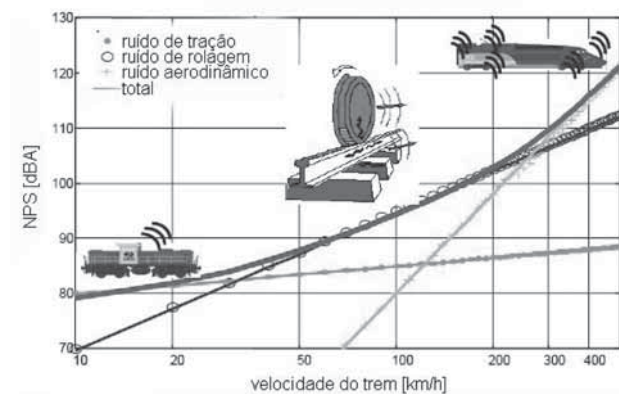


Figura 1: Fontes de ruído ferroviário, dependendo da velocidade da composição



Figura 2: Imagem de *beamforming* mostrando as fontes de ruído em trem de alta velocidade numa velocidade de 200km/h

Fica evidente a contribuição considerável da rolagem e dos pantógrafos no caso de um trem de alta velocidade com velocidade média.

3. Fontes de ruído

3.1. Ruído de rolagem

Uma fonte importante é o ruído causado pela rolagem das rodas nos trilhos, conforme mostra a Figura 3. Para o total

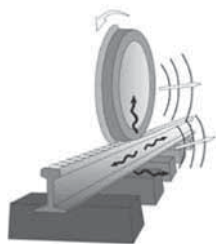


Figura 3: Geração de ruído de rolagem pela interação entre a rugosidade da roda e do trilho, Fonte [10].

do ruído de rolamento, fatores como o tipo do assentamento, o trilho e roda são importantes. De forma geral a roda é responsável pelas emissões em frequências maiores que 1000 Hz e o trilho para emissões em frequências menores que 1000 Hz. A fonte mais importante do ruído de rolagem é a interação entre roda e trilho devido à rugosidade do conjunto roda-trilho conforme exemplifica a Figura 3. Este problema afeta o transporte de passageiros e de carga, mas é muito mais grave no último caso, já que é a rugosidade dos trilhos e das rodas (normalmente é maior em trens de carga) que gera o ruído, que pode ser considerado ruído de banda larga. Em locais onde há maior rugosidade do conjunto trilho-rodas, causada por tráfego excessivo, pode haver aumento de emissões de ruído em mais de 5 dB(A), em função do comprimento de onda de rugosidade λ_r e da velocidade do trem. Os comprimentos de onda de rugosidade λ_r mais relevantes para o ruído de rolagem estão entre 5 e 500 mm. A energia do ruído de rolagem aumenta com a velocidade do trem V numa taxa de cerca de $30 \log(V)$, ou seja, 9 dB de aumento no ruído do trem toda vez que se duplica sua velocidade.

Uma das causas principais da rugosidade do conjunto roda e trilhos são os freios semelhantes aos freios a tambor utilizados em boa parte dos trens (na verdade, freia-se quando uma sapata, movida por um pistão, age sobre a superfície exterior da roda), cujas sapatas de ferro fundido, quando de uma freada, criam rugosidades nas rodas do trem, que transferem-nas para os trilhos. Formas de evitar o surgimento destas rugosidades são a utilização de freio a disco ou simplesmente o uso de sapatas de materiais compósitos no lugar das sapatas de ferro fundido [10][2]. A Figura 4 dá uma ideia do potencial de redução do ruído quando diferentes tipos de materiais forem utilizados para as sapatas. Além disso, o perfil da roda tem influência sobre o ruído radiado pela roda, conforme mostra a Figura 5.

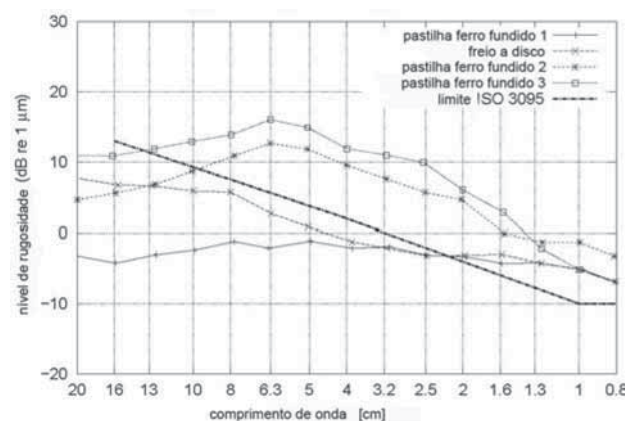


Figura 4: Nível de rugosidade de rodas de trens de carga após rodagem de 200000 km em função do tipo de freios, Fonte: [12]

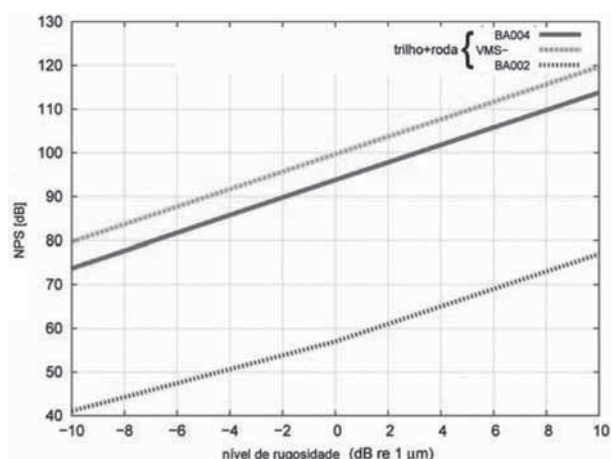


Figura 5: NPS em função do nível de rugosidade para diferentes tipos de rodas, Fonte: [12]

3.2. Squeal Noise

Um outro tipo de ruído gerado pela interação das rodas com os trilhos é o *squeal noise*, do qual existem dois tipos. O primeiro tipo é um ruído de alta frequência, gerado pelo contato das bordas das rodas com as bordas dos trilhos em curvas. O segundo tipo, extremamente desagradável, é gerado pelo deslizamento das rodas no trilho em curvas fechadas. Isso ocorre porque num trem o conjunto de duas rodas não possui diferencial para compensar o fato que, numa curva, as rodas externas a esta devem rodar mais que as rodas internas. As rodas internas, então, são forçadas a deslizar na superfície do trilho, o que gera um ruído relativamente de grande magnitude e de alta frequência, com presença de tons puros. O *squeal noise* aumenta o NPS total de rolagem em cerca de 10 dB(A), e é extremamente desagradável devido às suas características. Como curvas fechadas são mais comuns em trilhos utilizados por metrô e *tramways*, o *squeal noise* é um problema maior nestes meios de transporte, ou em trens quando atravessam centros urbanos ou perto das estações onde as curvas muitas vezes são mais fechadas.

3.3. Ruído de tração

O ruído de tração depende muito pouco da velocidade do trem e, normalmente, é dominante apenas em baixas velocidades. Caracteriza-se por ser um ruído de banda larga, em baixa frequência.

Para motores a diesel, o ruído de tração é composto pelo ruído de exaustão, pelo ruído do funcionamento do motor e pelo ruído produzido pela transmissão.

Sistemas de tração elétrica são mais silenciosos; no entanto, o ruído é emitido do motor de tração, dos ventiladores utilizados para resfriar os motores elétricos e, em alguns casos especiais, dos transformadores de corrente e da eletrônica de potência [10].

3.4. Ruído de pontes

Quando um trem passa sobre uma ponte, o ruído emitido pode aumentar consideravelmente, dependendo do tipo da ponte, sendo esta excitada pelas forças dinâmicas imprimidas pelo trem. Como as pontes podem variar bastante no tipo de construção, o ruído emitido por uma ponte quando da passagem de um trem apresenta diferenças de até 20 dB, notadamente em baixa frequência. Vale destacar aqui que as pontes que normalmente são as mais ruidosas ou as que amplificam mais o ruído de passagem de um trem são as construídas totalmente de aço [10].

3.5. Ruído Aerodinâmico

Contrariamente a outras fontes de ruído ferroviário, que promovem radiação sonora de superfícies vibrantes, o ruído aerodinâmico é causado por escoamento turbulento sobre o trem. O ruído aerodinâmico de trens é uma área de estudo cada vez mais importante quando se fala em ruído ferroviário. Este torna-se considerável quando comparado ao ruído de rolagem para velocidades acima de 350km/h.

O ruído gerado por fontes aerodinâmicas cresce geralmente muito mais rapidamente que o ruído gerado por fontes mecânicas, tipicamente da ordem de $60 \log V$ a $80 \log V$ [10], sendo V a velocidade do trem. Ruído de banda larga e componentes tonais podem ser gerados pelo escoamento do ar sobre várias partes do trem, mas geralmente o ruído emitido é de baixa frequência.

O ruído aerodinâmico tem motivado o desenvolvimento das formas do nariz e da carroceria dos trens de alta velocidade, fazendo com que hoje as janelas sejam contínuas e sem frestas ou borrachas sobressalientes, que os tetos do vagões sejam lisos e até que os trens sejam fechados na parte de baixo [10].

Além disso, como se pode observar na Figura 1, uma fonte importante de ruído aerodinâmico em trens de alta velocidade é o escoamento turbulento gerado nos pantógrafos com os quais o trem obtém a energia elétrica dos fios acima do trilho. Além da parte de sustentação, as próprias barras verticais são fontes consideráveis devido ao choque do fluxo turbulento gerado na barra *leading* na barra *trailing*.

3.6. Outras fontes de ruído

Há outras fontes de ruído ferroviário que não serão discutidas aqui, como o ruído de buzinas, apitos (existentes por questão de segurança), assim como os ruídos de ventiladores de motores elétricos, o ruído das operações de acoplar e desacoplar vagões e o ruído interno do trem causado pelo sistema de ar condicionado.

4. Vibrações causadas por trens

Sabe-se que o tráfego ferroviário, além de causar ruído, proporciona também vibrações em locais próximos à linha

férrea. A vibração transmitida pelo tráfego ferroviário para o solo pode ter três consequências principais:

1. entre 4 a 80 Hz, ocorrem vibrações que podem ser caracterizadas como vibrações de corpo inteiro, que têm uma pequena taxa de atenuação com a distância da fonte e são percebidas sobretudo em edifícios próximos da linha férrea;
2. entre 30 e 200 Hz, ocorre ruído proveniente da vibração do solo que, por ser de baixa frequência, pode inclusive excitar modos de flexão de pisos e paredes de edifícios próximos à linha férrea;
3. entre 400 e 2000 Hz, ocorre ruído proveniente da interação da roda do trem com o trilho.

Pode-se dizer que a fonte da vibração (e do ruído que deriva dela) é função da variação da carga do veículo ferroviário com o tempo e que a intensidade dessas vibrações também depende da qualidade das superfícies de rolamento. Ou seja, três fatores podem influenciar a magnitude da vibração produzida pelo conjugado trem-trilho: tipo de veículo, massa total e a velocidade de tráfego.

5. Legislação e grandezas para caracterizar o ruído ferroviário

5.1. Brasil

No Brasil, as Normas da ABNT NBR 13067 e 13068 estabelecem a forma de medir e os níveis máximos de pressão sonora admissíveis interna e externamente a um metrô ou um VLT (veículo leve sobre trilhos), nas condições estática (trem parado) e dinâmica (trem em movimento), junto às estações e entre elas, na área destinada aos passageiros e dentro da cabine do operador do trem.

O NPS no interior do metrô ou VLT, na condição estática e medida a 1,2 m do piso e na linha de centro do carro, não deve exceder 75 dB(A) no salão dos passageiros e 80 dB(A) na cabine do operador, com todos os equipamentos do trem funcionando, correspondendo à abertura e ao fechamento das portas do salão de uma lateral do carro. Na condição dinâmica, o NPS máximo admitido dentro do metrô ou VLT é 80 dB(A), com o trem vazio, da partida até à velocidade máxima e da velocidade máxima até à parada, com todos os equipamentos funcionando.

O NPS do ruído externo, medido a 5 m do carro na plataforma, após a instalação de todos equipamentos no metrô ou VLT, não deve exceder, nas condições estática e dinâmica, 75 dB(A) se o trem estiver parado, com todos os equipamentos funcionando e 85 dB(A) com o trem vazio, passando sem parar pela estação a 60km/h, com todos os equipamentos funcionando [2].

Embora no Brasil haja norma específica para medir e estabelecer máximos níveis de pressão sonora metroviária, não ocorre o mesmo para trens convencionais, sejam eles de passageiros ou carga. Normalmente, em caso de problemas com este tipo de transporte, remete-se à Resolução nº 001, do CONAMA, de 08 de março de 1990.

Esta resolução determina que a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais e recreativas obedecerá, no interesse da saúde e do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidas na NBR 10151 - Avaliação do Ruído em Áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - [1].

Por sua vez, a norma NBR 10151 estabelece os seguintes níveis de critério de avaliação (NCA) para conforto acústico em comunidades, sendo L_{Aeq} o nível de pressão sonora equivalente, ponderado em A.

Tabela 1: NCA para ambientes externos, em dB(A), oriundos da NBR 10151

Tipos de Áreas	L_{Aeq} diurno	L_{Aeq} noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Caso o L_{ra} - nível de pressão sonora equivalente ponderado em "A", na ausência do ruído emitido pela fonte causadora de problema ambiental em questão (no caso, o trem) - for maior que o L_{Aeq} , o NCA assume o valor de L_{ra} . Vale lembrar também que os limites de horário para os períodos diurno e noturno mostrados na Tabela 1 são definidos pelas autoridades locais, mas o período noturno, segundo a norma, não deve começar depois das 22h e terminar antes das 7h do dia seguinte.

5.2. Europa

Ao contrário do tráfego rodoviário, para o qual padrões europeus de emissão de ruído existem desde o início dos anos 70, os padrões de emissão para trens somente ganharam força no início deste século. Além disso, os padrões europeus de emissão de ruído se aplicam somente a trens que operam em mais de um estado membro da União Europeia. A Legislação Europeia remete especificações para tráfego ferroviário às diretivas 96/48/EC, para trens de grande velocidade e 2001/16/EC, para trens convencionais. Sob estas legislações, são estabelecidas TSIs *Technical Specifications for Interoperability* ou especificações técnicas para interoperabilidade ou operações entre países, que estabelecem limites de ruído, aplicáveis a trens novos ou reformados.

A TSI relacionada a trens de grande velocidade (Decisão da Comissão 2002/735/EC) estabelece as seguintes características relacionadas ao ruído externo aos trens de grande velocidade:

- Níveis de pressão sonora estacionários: em estações, não exceder 65 dB(A) medidos continuamente ou 70 dB(A) intermitentemente, durante 30 s, em campo aberto, a 7,5 m do eixo do trilho, a uma altura entre 1,2 e 3,5 m do trilho.
- Níveis de pressão sonora em alta velocidade: não exceder um valor de 87 dB(A) a uma velocidade de 250 km/h, 91 dB(A) a uma velocidade de 300 km/h e 92 dB(A) a uma velocidade de 320 km/h (interpolação linear para outras velocidades), respeitando as seguintes considerações adicionais:
 - a passagem de um trem é medida em campo aberto, a 25 m do eixo do trilho, a uma altura de 3,5 m;
 - a velocidade é constante;
 - com a configuração operacional mínima possível para serviço normal;
 - com um tipo de trilho padrão, com parâmetros que asseguram uma radiação sonora mínima proveniente do trilho [6].

Já para trens convencionais, a decisão da comissão 2006/66/EC pontua níveis de pressão sonora para ruído estacionário, medidos a 7,5 m da linha de centro dos trilhos, a 1,2m de altura ($L_{pAeq, T}$ - NPS equivalente, ponderado A), conforme a Tabela 2. Esta TSI também estabelece cri-

Tabela 2: Limites europeus de ruído para trens convencionais, quando os mesmos estão parados

veículo	$L_{pAeq, T}$
locomotivas elétricas	75 dB(A)
locomotivas a diesel	75 dB(A)
trens elétricos com múltiplos vagões	68 dB(A)
trens a diesel com múltiplos vagões	73 dB(A)
vagões de passageiros	65 dB(A)

térios para o ruído na partida (devendo ter NPS menor que 89 dB(A)) e na passagem (em movimento). Neste último caso, a pressão sonora equivalente A é medida a 7,5 m da linha de centro do trilho, a 1,2 m de altura do solo, normalmente a 80 km/h. Esta medição deve respeitar os critérios, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Limites europeus de ruído para trens convencionais em movimento

veículo	$L_{pAeq, T}$
locomotivas elétricas	85 dB(A)
locomotivas a diesel	85 dB(A)
trens elétricos com múltiplos vagões	81 dB(A)
trens a diesel com múltiplos vagões	82 dB(A)
vagões de passageiros	80 dB(A)

Esta TSI estabelece também regras de manutenção dos trilhos, regras de operação dos trens, qualificações profissionais, limites de ruído internos aos trens, além de outros limites de ruído, que podem ser mais bem observados em [7]. Além disso, uma redução nos limites de ruído de 2 a 5 dB(A) é prevista para 2016/2018.

Penalidades e limites de ruído ferroviário para trens que trafegam dentro de cada país europeu são estabelecidos por cada um dos países da União Europeia.

5.3. EUA

Nos Estados Unidos, regulamentações para ruído ferroviário são publicadas na Seção 40, Parte 201 e Seção 49, Parte 210 do *Code of Federal Regulations* (Código Federal de Regulamentações). As medições dos NPS, no caso, são feitas em campo livre, numa distância de 30 m da linha de centro dos trilhos, num dia de tempo seco, sem neve ou poeira.

Para locomotivas construídas até 1979, o NPS máximo com tempo de resposta lento (1 s) $L_{max, slow}$ é limitado a 73 dB(A) na condição estacionária. Em velocidade de cruzeiro, o NPS máximo, com tempo de resposta rápido (0,125 s) $L_{max, fast}$ é limitado a 96 dB(A). Para locomotivas construídas a partir de 1980, os limites são mais restritos: no caso estacionário, com acelerador na posição de marcha lenta, o $L_{max, slow}$ não deve exceder a 70 dB(A); no caso estacionário, em qualquer outra posição do acelerador, o $L_{max, slow}$ não deve exceder a 87 dB(A); em velocidades de cruzeiro, o $L_{max, fast}$ não deve exceder a 90 dB(A). Para os vagões, o $L_{max, fast}$ não deve exceder 88 dB(A) a velocidades inferiores ou iguais a 50 milhas por hora (83 km/h) e não deve ultrapassar 93 dB(A) a velocidades superiores a 83 km/h. Já o $L_{adj, max, fast}$ (NPS máximo com média ajustada) para acoplamento de vagões em estações de trem é limitado a 92 dB(A).

Destaca-se que as normas não são aplicáveis para sons de buzinas, sinos e assobios, quando estes estão operando por propósito de segurança.

6. Medidas de engenharia para mitigação

Em função dos diferentes fatores que influenciam a geração de ruído nas diversas fontes, pode-se identificar diferentes formas de combater o problema, conforme descrições a seguir.

6.1. Atuação na fonte

6.1.1. Medidas para redução do ruído de rolagem

Polimento dos trilhos e das rodas Uma das maneiras mais simples de se promover a redução do ruído de rolamento, e pelo menos parcialmente também do *squeal noise*, é o polimento regular dos trilhos e das rodas, visto que o ruído de rolagem é a mais comum causa deste tipo

de ruído. Entretanto, o próprio processo de polimento dos trilhos, efetuado com frequência em trilhos de tramways, é uma fonte considerável de ruído, tendo em vista ainda que o polimento está sendo realizado normalmente à noite, para não interromper o tráfego dos mesmos. Isso causa problemas principalmente em áreas urbanas. Em muitos países da Europa, o polimento dos trilhos está sendo acompanhado de um monitoramento contínuo de certos trechos para determinar o momento da próxima manutenção.

Utilização de novos tipos de freios Outra maneira de se combater o ruído de rolagem são alterações no sistema de freios dos trens.

Em trens de carga, equipados normalmente com freios que atuam sobre a superfície da roda, pode-se substituir as sapatas de ferro fundido por sapatas de materiais compósitos. Pesquisas tem mostrado que uma redução global do NPS de 8 a 10 dB(A) é possível quando forem utilizados materiais compósitos (Figura 4).

Existem dois tipos de sapatas constituídas de materiais compósitos que podem substituir o ferro fundido nos freios de trem: os *K-blocks* e os *LL-blocks*. Enquanto os últimos são mais similares aos freios atuais e mais baratos, não sendo ainda aprovados internacionalmente, os primeiros já são aprovados por autoridades para uso internacional e são os mais aplicados no momento [5]. Entretanto, as reduções de NPS possíveis não são suficientes, tendo em vista que os países da União Europeia querem aumentar consideravelmente a participação da modalidade de transporte ferroviário na matriz de transportes de carga.

Diminuição do *squeal noise* Uma medida simples que reduz o atrito da borda interior da roda é a aplicação de graxa nos trilhos. Da mesma forma, pode-se aplicar um filme fino de água nos trilhos para diminuir o *squeal noise*. Outra medida utilizada é a aplicação de ligas metálicas como CrMg na superfície de contato dos trilhos. Além da medida simples de diminuição do atrito por aplicação de lubrificantes, estão sendo desenvolvidos truques nos quais a orientação dos eixos é variável em relação à linha central da ferrovia.

Otimização de trilhos e rodas Para diminuir a radiação sonora pode-se otimizar também a geometria dos trilhos e das rodas. Em geral deve-se procurar geometrias ou combinações de massa e rigidez que tenham poucas ressonâncias dentro da faixa de frequência da audição. A diminuição da área radiante da roda ou do trilho também é indicada. Rodas pequenas radiam menos energia sonora, bem como rodas com perfil reto.

Redução do número de eixos Como cada roda representa uma fonte de ruído de rolagem, uma medida simples de redução é o uso de truques “Jacob” que, a dar apoio para dois vagões, reduzem o número de rodas e assim fontes sonoras.



Figura 6: Truque “Jacob” em trem de alta velocidade “Thalys”

Amortecimento de rodas e trilhos Tendo em vista que as rodas de trens são placas circulares que radiam de forma muito eficiente, impedidos de vibrar livremente apenas no ponto de contato entre roda e trilho, a otimização da roda e do trilho e o amortecimento dos mesmos são métodos efetivos.

A grande massa de uma roda de trem e o fato de a roda ser impedida de vibrar livremente em apenas um ponto, faz com que materiais multicamada sejam mais eficientes do que materiais de uma única camada [12]. Independentemente disso, há de se considerar que o material deve suportar o aquecimento da roda por causa da ação do freio.

Outra medida para se reduzir ruído seria o uso de ressonadores de laminas metálicas sintonizadas para as frequências de ressonância da roda, conforme mostra a Figura 7. Como as frequências de ressonância da roda sofrem alterações com o desgaste e subsequente renovação da roda, os ressonadores devem ser projetados de forma a atuar em bandas. Segundo a literatura, este tipo de ressonadores providencia reduções de até 7 dB(A) em função da velocidade do trem e da rugosidade do conjunto roda-trilho. Os absorvedores de roda podem ser combinados ainda com os discos de freio (Figura 7 (a)), reduzindo assim a massa dinâmica do sistema.

Igualmente tem sido desenvolvidos diferentes tipos de absorvedores de energia vibratória para os trilhos, conforme mostram os exemplos da Figura 8.

Os absorvedores reduzem a energia vibratória transmitida ao trilhos principalmente perto da frequência de ressonância do sistema, conforme mostra a Figura 9.

Absorvedores de trilhos reduzem o a potência sonora radiada entre 2 e 4 dB, mas tem custo alto. Porém, além de providenciar redução direta da vibração e desta forma da energia sonora radiada os absorvedores, reduzem também a produção de rugosidade dos trilhos.

6.1.2. Medidas para redução do ruído de ruído aerodinâmico

No que diz respeito ao estudo da aerodinâmica de trens, algumas medidas são tomadas principalmente para otimizar

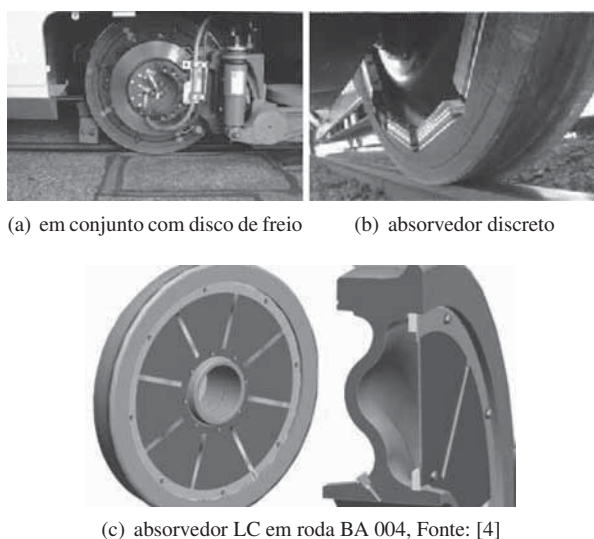


Figura 7: Absorvedores de roda



Figura 8: Absorvedor discreto e contínuo de energia vibratória para trilhos

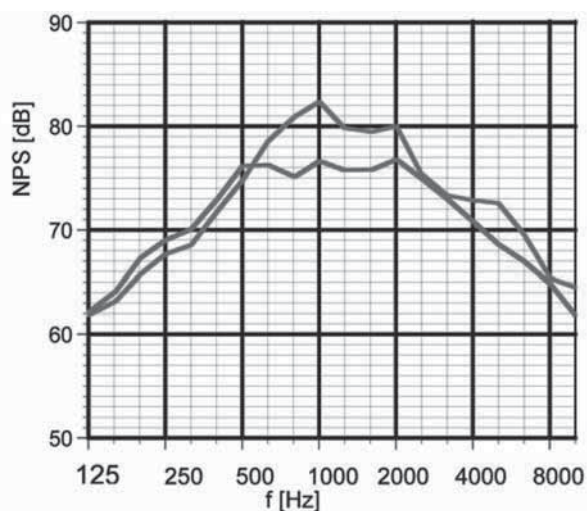


Figura 9: Redução do NPS no ponto de medição na passagem de um trem de alta velocidade com e sem absorvedores discretos de vibração nos trilhos, Fonte [4]

a performance aerodinâmica destes, mas às vezes também para melhorar sua performance acústica.

Em muitos modelos de trens de alta velocidade, os pantógrafos que os conectam à rede elétrica são montados num rebaixo do teto, diminuindo o arraste (e o ruído ae-

rodinâmico) causado pela estrutura. Outra medida importante é o desenho da parte superior do pantógrafo que está em contato com o fio. Tem-se estudado a substituição dos tradicionais pantógrafos de duas barras por modelos com uma barra só, eliminando desta forma o problema do choque do fluxo turbulento gerado na barra *leading* e na barra *trailing*. Porém, este desenho requer um sofisticado mecanismo de balanço da barra, a fim de mantê-la em uma posição estável.

São também feitos trabalhos de desenvolvimento do nariz dos trens, a fim de se reduzir o ruído impulsivo gerado pelo choque do ar no nariz do trem quando este se movimenta em alta velocidade, que é amplificado, por exemplo, quando dois trens se encontram. Além disso, também têm sido feitos esforços no sentido de se minimizar as frestas nas laterais dos vagões, notadamente as encontradas em aberturas, como portas. Finalmente, tem-se aumentado a cobertura na parte debaixo do trem, a fim de se diminuir o arraste aerodinâmico. Todos estes esforços têm conseguido reduzir em cerca de 2 dB(A) o ruído de trens de alta velocidade, graças principalmente aos estudos feitos no nariz dos trens [10].

6.2. Atuação no caminho de propagação

6.2.1. Barreiras Acústicas

Uma das maneiras mais comuns para se reduzir o ruído no transporte ferroviário é a utilização de barreiras acústicas e o isolamento das janelas das habitações próximas das vias-férreas. De maneira geral, são utilizadas barreiras absorventes sempre que existem edificações do lado oposto ao da instalação da barreira, ou quando são colocadas barreiras dos dois lados da via. Isto ocorre devido à necessidade de eliminar a energia sonora produzida pela fonte imagem. Em casos onde a presença de reflexões não é problemática, podem ser utilizadas barreiras refletoras, principalmente as feitas de concreto e/ou acrílico. Barreiras de acrílico tem a vantagem de serem mais leves, podendo ser instaladas também em pontes sem que haja necessidade de alteração do projeto estrutural da mesma. Apesar do menor peso, estas barreiras permitem uma redução considerável do NPS atrás dela.¹

Já painéis acústicos absorventes podem ser feitos de materiais metálicos, compostos de espécies de caixas de aço galvanizado com lã mineral no interior, ou de um material que em Portugal é chamado de betão madeira, feito de lã de madeira e concreto. Betão madeira tem melhores propriedades acústicas que os materiais metálicos, mas é

¹ O desempenho de barreiras acústicas é medido segundo norma europeia CEN/TS 1793-5:2003 colocando-se uma fonte padrão a 1 m de distância da barreira acústica e a 2 m do chão. Do lado oposto da barreira, mede-se o NPS com 3 microfones situados a 0,25 m da barreira e a 1,6, 2 e 2,4 m do chão. Também mede-se o NPS nos 3 microfones sem a presença da barreira, de forma a determinar o desempenho da mesma.

mais oneroso que eles [3]. Além de ser utilizado para revestimento de barreiras de concreto (Figura 10), a maior resistência permite ainda que as barreiras sejam construídas totalmente deste material.



Figura 10: Construção de uma barreira acústica com revestimento de betão madeira, Fonte [3].

Independentemente do tipo da barreira, a difração das ondas sonoras na sua borda superior, principalmente as de baixa frequência (Figura 11), é sempre um problema que diminui o desempenho destas estruturas que funcionam como medida de mitigação para ruído ferroviário.

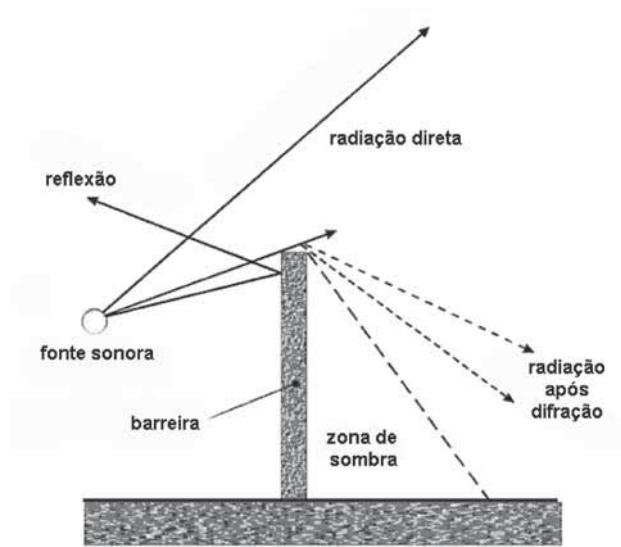


Figura 11: Difração do ruído proveniente de uma fonte e zona de sombra

Pela Figura 11, fica claro que quanto mais perto da fonte estiver a barreira acústica, maior será a extensão da *shadow zone* e maior será o desempenho dela. Assim, tem-se construído inclusive barreiras paralelas em áreas com vários trilhos paralelos, a fim de se aproximar a barreira aos trilhos.

Mesmo sendo uma medida bastante popular, considerando sobretudo a visibilidade da mesma para a população atingida, há de se considerar que o custo de implementação é muito alto, comparado com outras medidas de mitigação aqui discutidas. Considerando este alto custo e o fato que a maior parte do ruído gerado em velocidades baixas e médias provém da interação roda-trilho, tem-se experimentado também barreiras acústicas de altitude reduzida (≈ 1 m) perto do eixo do trilho (≈ 2 m de distância eixo-barreira) para atenuação do ruído de rolagem. Barreiras com altitude menor podem ser combinadas ainda com dispositivos de absorção nos conjuntos de rodas do trem, possibilitando reduções de até 20 dB do NPS no ponto de medição.

Outros pesquisaram a instalação de barreiras acústicas nos próprios vagões, perto das rodas.

Ainda, tem sido desenvolvidos dispositivos de controle passivo [8, 9, 11] e ativo montados nas partes superiores das barreiras.

6.2.2. Amortecedores e absorvedores em trilhos

Conforme destacado na Seção 3, os trilhos tem papel importante na geração e propagação da energia sonora e, assim, diferentes sistemas de amortecimento de energia vibratória de trilhos têm sido desenvolvidos.

Um deles, usado comumente em linhas de metrô, é composto por uma laje (massa) flutuante que apoia a fixação dos trilhos. Esta laje é interligada a molas, que tem também a função de amortecedores, e que trabalham em conjunto para minimizar os efeitos das vibrações (e ruídos de baixa frequência) causadas pela passagem dos trens.

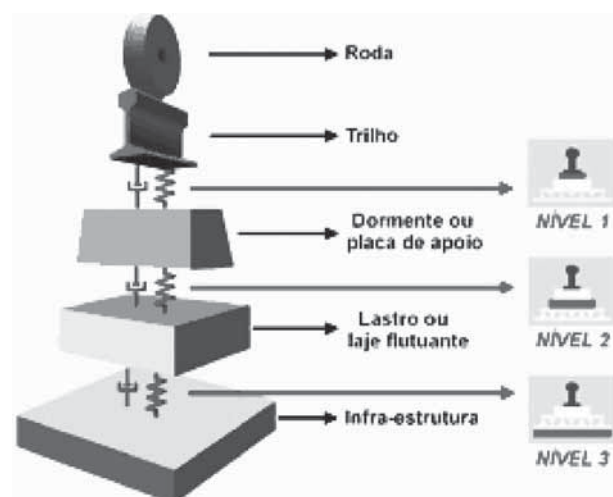


Figura 12: Esquema do sistema de amortecimento de trilhos em três níveis

Estes sistemas massa-mola são disponíveis com molas e amortecedores presentes em até 3 níveis da via (Figura 12) [18]:

- Nível 1, através de palmilhas sob o trilho;
- Nível 2, através de palmilhas sob a placa de apoio ou manta sob o dormente;
- Nível 3, através de mantas sob o lastro ou lajes flutuantes apoiadas sobre materiais resilientes (sistemas massa mola).

Este sistema, tanto pela *performance* de vibração, bem como seu baixo custo de manutenção, está sendo utilizado cada vez mais também para trens de alta velocidade e *tramways*, além de trens convencionais. Para providenciar absorção sonora, e combater, por exemplo, a propagação do *squeal noise*, tem-se utilizado absorvedores de betão madeira dispostos entre os trilhos conforme mostra a Figura 13. O problema desta solução é o acúmulo de sujeira nos poros dos absorvedores, o que reduz a sua *performance*.



Figura 13: Absorvedores de betão madeira dispostos entre os trilhos da linha de trem em Berlim

Outra medida muito utilizada em *tramways* são os chamados “trilhos verdes” (Figura 14), nos quais vegetação rasteira ou grama entre os trilhos proporciona certa absorção sonora (1-2 dB), além de um visual mais bonito.



Figura 14: “Trilho verde” do tramway de Bilbao, Espanha

7. Medidas políticas para mitigação

Um importante instrumento para controle de ruído em ferrovias são os encargos para acesso às mesmas, que correspondem a taxas e impostos que o operador de uma companhia de transporte de pessoas e/ou cargas paga ao administrador de toda infraestrutura do sistema de ferrovias. Estas taxas podem ser justamente cobradas de acordo

com a emissão de ruído dos trens. De certa maneira, acabam estimulando os operadores a utilizarem tecnologias de redução de ruído. Na Suíça, por exemplo, desde janeiro de 2002, um bônus de redução de ruído vem encorajando operadores a empregar materiais para redução de ruído nos trens, sobretudo nos freios [5].

Para estimular a aplicação de medidas técnicas de redução das emissões do ruído, podem ser dados incentivos fiscais de diferentes formas.

8. Conclusões

O ruído ferroviário é, em grande parte dos países do mundo, uma fonte considerável de ruído ambiental e constitui uma das maiores fontes de insatisfação de pessoas que moram perto de linhas férreas.

Tendo em vista que o transporte ferroviário é uma modalidade de transporte menos nociva para o meio ambiente do que, por exemplo, o transporte rodoviário e o transporte aéreo, fica evidente a necessidade de se reduzir o ruído gerado pelo transporte ferroviário.

Assim, foram discutidos os diferentes aspectos importantes para a geração do ruído ferroviário, as fontes mais importantes e algumas das medidas técnicas e políticas que possam ser adotadas para reduzir este tipo de ruído.

Referências

- [1] NBR 10151 Acústica - Avaliação Do Ruído Em Areas Habitadas Visando o Conforto Da Comunidade.
- [2] NBR 13068: Ruídos interno e externo em carro metropolitano, 1994.
- [3] Ana Filipa Barreto. Barreiras acústicas: A escolha dos materiais e a sua instalação. In *Proc. Acústica 2004*, Coimbra, Portugal, 2004, paper 120.
- [4] D. Benton, B. Asmussen, and C. Jones. Reducing railway noise in urban areas. In *SILENCE seminar*, 2008.
- [5] L.C. den Boer and A. Schrotten. Traffic noise reduction in europe. Technical report, CE Delft, 2007.
- [6] União Europeia. Commission decision of 30 may 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 6(1) of Directive 96/48/EC. (2002/735/EC), May.
- [7] União Europeia. Commission decision of 23 december 2005 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock - noise’ of the trans-European conventional rail system (2006/66/EC), December 2005.
- [8] Michael Möser and Rudi Volz. Improvement of sound barriers using headpieces with finite acoustic impedance. *J. Acoust. Soc. Am.*, 106(6):3049–3060, 1999.
- [9] M. Möser. Die Wirkung von zylindrischen Aufsätzen an Schallschirmen. *Acustica*, 81:565–586, 1995.
- [10] David Thompson. *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*. Elsevier, 2009.
- [11] R. Volz and M. Möser. Schallschirme mit zylinderförmigen Aufsätzen - erste Ergebnisse. In *Fortschritte der Akustik DAGA’97*, 1997.
- [12] M. Wiemers. *Einfluss von Steifigkeit und Dämpfung bei Eisenbahnradern, insbesondere von Güterwagenradern, auf die Schallabstrahlung*. PhD thesis, TU-Berlin, 2005.



dia internacional da conscientização sobre o ruído

campanha 2009

Paul, S.*

* Laboratório de Eng. Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, stephan.paul.acoustic@gmail.com

Com o apoio da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) e da Academia Brasileira de Audiologia (ABA), o grupo de voluntários que se mobilizou para as atividades de 2008, voltou a se organizar para dar continuidade à divulgação da campanha “Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído” em 2009, que ocorreu no dia 29 de abril¹. Em 2009, a data escolhida foi o dia 29 de abril, e em 2010 a data escolhida será o dia 28 de abril.

De forma geral, ficamos muito contentes com o grande interesse, principalmente dos profissionais da fonoaudiologia, em realizar ações no Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído 2009 em todo o território brasileiro, conforme mostra o mapa na página seguinte.

Em comparação ao ano de 2008 houve um crescimento considerável nas participações. Tivemos um múltiplo de cidades, empresas, instituições e colaboradores envolvidos. Enquanto em 2008 participaram 12 cidades nos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Maranhão, em 2009 participaram 46 cidades em 15 estados².

Boa parte desse crescimento se deve aos esforços quanto à divulgação por parte dos sindicatos de fonoaudiologia dos estados de Santa Catarina SINFESC e Paraná SINFOPAR, a divulgação no Encontro Internacional de Audiologia EIA, em Bauru SP, nos sites dos conselhos de fonoaudiologia, e finalmente pelo próprio site da campanha www.acustica.org.br/INAD2009.

Relatório da campanha 2009 Para relatar o desenvolvimento de atividades foi elaborado um relatório de atividades com mais de 50 páginas que pode ser encontrado em www.ufsm.br/acustica e

http://www.acustica.org.br/inad2009/index_Page573.htm.

O relatório tem a intenção de dar um um pequeno retorno para todas aquelas pessoas que colaboraram de alguma forma na realização da campanha em 2009. Além disso, tem o objetivo de informar pessoas, instituições, empresas e órgãos públicos sobre a campanha em geral e a realização no ano de 2009, bem como os planejamentos para o ano 2010. No mesmo relatório encontram-se também uma carta do Prof. Ricardo Musafir sobre o INAD e o problema do ruído, informações sobre os materiais de divulgação da campanha em 2008 e 2009 e as informações de contato dos coordenadores estaduais e dos coordenadores em todas as cidades participantes da campanha 2009.

Agradecimentos Desde já, gostaria de agradecer ao Gilberto Fuchs, na sua função de coordenador no estado de São Paulo e pela coordenação por parte da Sociedade Brasileira de Acústica; à Fga. Karyny Mendonça, pela coordenação em Santa Catarina e pela coordenação da impressão e distribuição dos materiais de divulgação; à Fga. Maria Patricia de Nascimento, pela coordenação no Paraná; à arquiteta Kelly Sato, pela arte da logomarca, cartaz e postal; ao músico Marcelo Portela e à cantora Nívea Magno, pela vinheta acústica do INAD 2009; e à secretária da SOBRAC Maysa Moreno, pelos encaminhamentos de emails e materiais de divulgação.

Agradeço também, a todas as entidades que ajudaram a promover ou a divulgar a campanha, entre elas a Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, a Academia Brasileira de Audiologia ABA, os sindicatos de fonoaudiologia de SC SINFESC e PR SINFOPAR, os conselhos regionais de fonoaudiologia CFFA, a sociedade brasileira de fonoaudiologia SBFA e a transportadora ROTA 100.

Os meus mais sinceros agradecimentos também a todos os simpatizantes e colaboradores do INAD 2009, que fazem o Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído acontecer por meio de ações e de divulgação. Muitos deles encaminharam descrições das atividades realizadas, que podem ser apreciadas no relatório.

¹ A data de comemoração do dia, que é móvel e ocorre sempre em uma quarta-feira de abril, é definida pela *League for the Hard of Hearing*, hoje conhecida como *Center for Hearing and Communication* <http://www.chchearing.org/noise-center-home/international-noise-awareness-day>

² Considerando o Distrito Federal como um estado.



Problemas em 2009 O grande interesse de simpatizantes e colaboradores em todo o Brasil, sobretudo nas últimas semanas antes da data oficial, fez com que não fosse possível atender a todos os pedidos de materiais de divulgação. Contudo, recebemos pedidos para muito mais do que o dobro do material previsto, sobretudo de postais. Como o orçamento era limitado - até o presente momento apenas os 140 sócios da SOBRAC e os sócios da ABA estavam custeando a impressão e o envio dos materiais - não foi possível aumentar a quantidade de material.

Optamos, portanto, por atender da melhor maneira possível a todos. Da mesma forma, não foi possível manter o nosso site sempre atualizado, mas espero que isso seja melhorado no ano que vem, com o ingresso de novos voluntários na coordenação nacional e estadual.

Apresentação das atividades na Assembleia da SOBRAC Na ocasião da assembleia que foi realizado no evento de comemoração dos 25 anos da SOBRAC no dia 01 de Dezembro de 2009 foi apresentado um resumo das

atividades realizadas pela campanha em 2008 e 2009 para os sócios presentes. Além disso foi apresentada a nova arte de divulgação da campanha 2010 e os sócios presentes bem como a diretoria manifestaram o seu apoio à campanha também no futuro.

Com a publicação do relatório e a apresentação da campanha na assembleia que foi realizado no evento de comemoração dos 25 anos da SOBRAC, gostaria de iniciar a mobilização de colaboradores para a campanha 2010. Há grande quantidade e novas idéias e propostas a serem realizadas, entre elas queremos reforçar a presença nas escolas, com a finalidade de educar desde já crianças e jovens sobre o problema de ruído excessivo que atinge todos nós.

De forma geral a campanha nos moldes atuais, bem como a implementação de novas idéias e propostas, requer que mais pessoas se envolvam ativamente na preparação da campanha, não apenas na própria cidade, mas também, em nível estadual e nacional. Assim, faço aqui o convite às pessoas, empresas, órgãos públicos e associações de classe e instituições que queiram participar ativamente em todos os níveis da preparação, coordenação, divulgação e realização da campanha 2010. As pessoas interessadas em participar, por favor entrem em contato comigo.

Com orgulho vejo os resultados da campanha 2009, lembrando que a campanha existe desde 2007 no Brasil, começando com uma simples nota de divulgação na revista "Acústica e Vibrações". Durante a campanha 2008 e 2009 aprendemos bastante acerca da organização. De forma geral, a campanha nos moldes atuais bem como a implementação de novas ideias e propostas, requer que mais pessoas se envolvam ativamente na preparação da campanha, não apenas na própria cidade, mas também, em nível estadual e nacional. Precisamos de certa forma profissionalizar a organização, e com prazer aceito a proposta feita pela coordenadora do Grupo de Pesquisa "CNPq/Acústica" e coordenadora do primeiro curso de Eng. Acústica do Brasil, a Prof^a Dinara X. da Paixão, de contar com o auxílio do grupo e da UFSM para a organização. Desta forma, fico na coordenação do INAD também em 2010, contando com o apoio do grupo e da Universidade Federal de Santa Maria para a organização nacional.

Entretanto, gostaria de pedir que outras pessoas assumissem os compromissos de serem coordenadores estaduais, a exemplo das Fgas. Karyny Mendonça, Maria Patrícia do Nascimento e Nelma Ellen Zamberlan em SC, no PR e em SP, respectivamente, da professora Prof^a Dinara Xavier da Paixão como coordenadora no estado do Rio Grande do Sul e o coordenador da equipe da Secretaria de Meio Ambiente da cidade de Fortaleza Aurélio Brito no estado de Ceará. Pessoas que tenham interesse de coordenar as atividades no seu estado ou na sua cidade por favor entrar em contato comigo por email.

Comunicação Para a comunicação entre a coordenação geral e os colaboradores e simpatizantes há uma novidade importante. Em 2008 e 2009 eu perdi muito tempo escre-

vendo emails e repetindo-os para as pessoas que começaram a fazer parte da família INAD no meio do caminho. Algumas vezes perdi um dia inteiro apenas respondendo emails.

Para facilitar a comunicação e para que todos os simpatizantes fiquem sabendo das novidades e fatos importantes do INAD, independente do momento em que começaram a fazer parte da família INAD, será criado um blog³.

Material de divulgação A disponibilidade de material de divulgação impressa sem dúvida foi um ponto que precisa ser melhorado em 2010. Tanto na campanha 2008 como na campanha 2009 os custos de impressão e envio para todo o território nacional ficaram a cargo da Sociedade Brasileira de Acústica e da Academia Brasileira de Audiologia. Para poder disponibilizar uma quantidade maior de material impresso em 2010 é necessário que sejam encontradas outras fontes de custeio, tanto para impressão como para o envio do material. Considerando que a data do INAD 2010 é o dia 29 de abril de 2010 precisamos que a impressão, principalmente a questão dos custos, seja viabilizada até o final do ano. Considerando ainda que a diretoria atual da SOBRAC, que sempre apoiou a campanha, sairá da gestão no final de 2009, não temos previsão para a participação da SOBRAC em 2010. Fica aqui o convite para todos em pensarem em formas de como isso poderia ser feito. Acredito que entidades como os conselhos de Fonaudiologia, os Ministério de Saúde e de Educação possam ser envolvidos na campanha 2010.

Até o presente momento, todo o material de divulgação foi criado por simpatizantes em muitas horas extras, sem que houvesse aporte financeiro por parte da campanha. Quero agradecer aqui mais uma vez à nossa artista Kelly Sato, que em 2008 e 2009, foi a responsável pela criação de todos os materiais de divulgação, sempre como favor para os organizadores. Já em 2008 houve a ideia de realizar um concurso aberto para a criação da arte da campanha, mas um concurso normalmente envolve prêmios e desta forma a ideia não se concretizou. Além disso, a organização de um concurso precisa de pessoas responsáveis, sem contar o fator tempo para a realização do mesmo.

Também em 2009, já tive a ideia de elaborar materiais de orientação para professores do ensino fundamental e médio para seus alunos, porque considero que a educação das crianças é um aspecto importante da campanha.

Para a criação da arte 2010 a nossa desenhista Kelly Sato se baseiou em alguns desenhos feitas por alunos da Escola Municipal de Ensino Fundamental Prof. João Carlos von Hohendorff, na cidade de São Leopoldo, RS.

³ Foi criado um blog INADBrasil no www.twitter.com, mas infelizmente os *tweets* postados desaparecem depois de um tempo e assim o *twitter* não serve como meio de comunicação com informações permanentes.



Figura 1: Arte da Campanha 2010

A importância de envolver outras entidades Para que o INAD 2010 seja um sucesso, é fundamental que um número grande de entidades apóie a campanha, tanto na realização como na divulgação. Seria muito bom contar com os sindicatos de fonoaudiologia.

Precisamos também da parceria dos conselhos de fonoaudiologia e da imprensa especializada, como a revista de fonoaudiologia, proteção e saúde do trabalhador, entre outros. Peço aos simpatizantes e colaboradores que me comuniquem quais são as revistas de interesse para divulgação.

Além da divulgação observa-se também que os SESC, SENAI, o CEREST, a SEMAM, e outras entidades com trabalhos ou funções relacionadas à saúde auditiva empenham um papel muito importante na realização da campanha. Neste contexto, a colaboradora Aline da França, de Joinville (SC) propôs que levassem a proposta da campanha aos CEREST estaduais. Assim, peço aqui também que os simpatizantes e colaboradores pensem nas entidades que possam ser envolvidas. Além disso, devemos pensar se não há a possibilidade de envolver empresas na divulgação da campanha.

Coordenação em 2010 Um fator importante na organização da Campanha 2010 foi o desempenho dos coordenadores estaduais em SC, PR e SP. Em 2010, reforçando o sistema de coordenação estadual, já foram nomeados como coordenadores estaduais:

- em Santa Catarina: Fga. Karyny Mendonça, karyny80@hotmail.com, (47)8438-0189
- em São Paulo: Fga. Nelma Ellen Zamberlan, nelma@adm.unimed-rp.com.br (16)3931-2481
- no Rio Grande do Sul: Prof^a Dr^a Dinara Xavier da Paixão, dinaraxp@yahoo.com.br, (55)9971-3765
- no Ceará: Aurélio Brito, coordenador da equipe da Sec. Mun. de Meio Ambiente de Fortaleza, aurelio.semam@hotmail.com

Candidate-se para assumir a coordenação no seu estado também.

Considerações finais Gostaria de lembrar que a realização da campanha precisa de ajuda de mais pessoas na organização, em todos os níveis. Acompanhem o planejamento do INAD 2010 via *twitter* INADBrasil, via blogspot <http://inadbrasil.blogspot.com/>, o site oficial www.acustica.org.br/INAD2010 e o site www.ufsm.br/acustica e de participarem ativamente na preparação da campanha 2010. Vamos fazer do dia 28 de abril de 2010 um dia especial, participem!

Eleições para diretoria e conselho da SOBRAC 2010-2013

Conforme informado pela comissão eleitoral, formado pelos associados Raquel Fava de Bitencourt e Vitor Litwinczik, foi encerrado no dia 25 de dezembro de 2009 o processo de candidatura aos cargos do Conselho, Conselho Regional e Diretoria da SOBRAC para o quadriênio de 2010-2013.

1. Candidatos inscritos ao Conselho

Os candidatos inscritos ao Conselho, em ordem alfabética, são

1. Ana Claudia Fiorini
2. Davi Akkerman
3. Débora Barretto
4. Elvira Viveiros
5. Gustavo da Silva Vieira Melo
6. João Gualberto de Azevedo Baring
7. Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante
8. Marco Nabuco
9. Maria Luiza R Belderrain
10. Roberto Tenenbaum
11. Samir Gerges
12. Stelamaris Rola Bertoli
13. Stephan Paul

Infelizmente a comissão eleitoral não forneceu informações curriculares sobre os candidatos ao conselho. Além disso informamos que há uma pendência quanto à inscrição do colega Daniel Fernando Bondareno Zajarkiewich para o conselho que não foi resolvida até o fechamento da revista.

2. Candidatos inscritos ao Conselho Regional Minas Gerais

Os candidatos ao Conselho Regional, compondo chapa única para a seção Regional Minas Gerais da Sobrac, são:

Coordenador Marco Antônio de Mendonça Vecci

Sub-coordenador Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante

Tesoureira Rafaela Ferraz Marchi

Secretaria Geral Nadiana Moreira de Andrade

Secretaria Acadêmica Pérides Silva

Secretaria de evento Vinícius Cunha Prado

Secretaria de comunicação Marcos Assis Vieira

3. Candidatos inscritos à Diretoria

Os candidatos à Diretoria, compondo chapa única com o nome **Idealismo e ação**, são:

Presidente Dinara Xavier da Paixão, (dinara_xp@yahoo.com.br)

Eng^a Civil, Mestre em Educação, Doutora em Engenharia, Especialista em Acústica Arquitetônica e em Economia Monetária. Professora na graduação e na pós-graduação na UFSM, onde coordena o Grupo de Pesquisa Acústica, registrado no CNPq. Presidente da Sociedade de Engenharia e Arquitetura de Santa Maria (1990-1992). Vice-Presidente Administrativa do MTG/RS, em 1996, na época com 1496 entidades associadas. Representante da sociedade civil do Rio Grande do Sul na 1^a Conferência Nacional de Cultura. Conselheira do CREA/RS por oito anos. Participante da SOBRAC desde 1991, quando integrou a Comissão Organizadora do 18^o Encontro. Idealizadora e Coordenadora do 1^o Curso de Graduação em Engenharia Acústica no Brasil, implantado em 2009, na UFSM.

Vice-presidente Arcanjo Lenzi, arcanjo@lva.ufsc.br
graduado em Eng. Mecânica pela UFSC, Mestrado e Doutorado pelo Institute of Sound and Vibration Research, da Universidade de Southampton, Inglaterra. Professor Titular, vinculado desde 1982 ao Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) do Departamento de Engenharia Mecânica, da UFSC. Desenvolve trabalhos de Ensino, Pesquisa e Extensão na área de Vibrações e Acústica. Possui 60 orientações de Mestrado e doutorado aprovadas. Possui forte atuação no desenvolvimento de pesquisas para empresas como Embraco, Embraer, Petrobrás, Areva, entre outras. Responsável por 4 disciplinas do curso de Pós Graduação em Vibrações e Acústica. Coordena uma equipe de 25 pesquisadores (doutorandos, mestrands e bolsistas IC) no LVA da UFSC.

1^o secretário Gilberto Fuchs de Jesus, gilberto@acustica.org.br

Engenheiro Mecânico pela UFRJ (1995). Mestre em ciências em Eng. Mec. com ênfase em Acústica pela COPPE UFRJ (2000). Sócio Diretor da empresa GROM Acústica Vibração desde 1998. Especialista em acústica ambiental e acústica automotiva (NVH). Membro do Comitê Brasileiro de Construção Civil - COBRACON (CB-02) e do Comitê Brasileiro Automotivo (CB-05) da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Associado da SOBRAC desde 1995. 1^o secretário da SOBRAC na gestão 2006-2009.

2^o secretário Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante, krisdany@acustica.blog.br

Graduado em Engenharia Elétrica - Sistemas Eletrônicos pelo Instituto Politécnico da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Especialista em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Hídricos pelo Cen-

tro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Gerente Técnico do Laboratório de Acústica da Métron Acústica Engenharia e Arquitetura Ltda. Membro do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) e do Comitê Brasileiro de Construção Civil - COBRACON (CB-02) da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Delegado Técnico da III Conferência Municipal de Política Urbana de Belo Horizonte. Conselheiro do CREA-MG (triênio 2010-2012).

1º tesoureiro Roberto Jordan, jordan@acustica.org.br
Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal de Santa Catarina (1977), com mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina (1982) e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (1993). Atualmente é Professor Associado 2 da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Mecânica dos Sólidos. Atua principalmente nos seguintes temas: Controle Ativo de Vibrações, Vibrações em Estruturas e Controle Modal Individual. Participou de mais de 68 Bancas de Defesas de Mestrado e Doutorado.

2º tesoureiro Edison C. Moraes, edison@atenuasom.com.br
Graduado em Administração de Empresas, com especialização em administração de materiais, pela Fundação Getúlio Vargas. Possui muitos cursos ligados à área de Acústica e participa dos Encontros da SOBRAC desde 1990. Está há vinte e quatro anos no comando da Atenua Som Indústria e Comércio Ltda, empresa que atua no seguimento de isolamento acústico. Participou da organização do Vidrosom 2009, realizado no Museu de Arte Moderna/SP, que constitui-se num simpósio que será realizado, anualmente, junto ao INAD (Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído).

4. Proposta eleitoral da chapa dos candidatos inscritos à Diretoria

1. Aprimoramento da situação legal da entidade, a partir da reformulação do Estatuto e criação do Regimento Interno.

Apoio e acompanhamento para as atividades das comissões já indicadas, estudo de um novo enquadramento legal e o estabelecimento de um sistema de gestão administrativa e financeira.

2. Maior reconhecimento da entidade, a partir da atuação junto às instituições públicas e privadas, inclusive internacionais.

Realizar uma aproximação, que oportunize o reconhecimento da SOBRAC em instituições como: ministérios (Meio Ambiente, Cultura, Educação, Saúde

etc.), secretarias em todos os níveis (federais, estaduais e municipais), conselhos (CONAMA etc.), entidades de classe (Sistema CONFEA/CREA, ABENGE, CFFa, ABA etc), entidades industriais (Federações) e da sociedade civil (ABNT, SESC, SENAI, etc.), imprensa, entre outros.

3. Apoio à formação técnica-científica e ao aperfeiçoamento de recursos humanos na área de acústica.

Através de cursos (presenciais e à distância), reestruturação do site e da revista, bem como a realização de eventos como, por exemplo, o Encontro da SOBRAC e eventos de áreas específicas como: Automotiva, Áudio, Fonoaudiologia etc.

4. Valorização e ampliação do quadro de associados, incentivando o comprometimento e a participação efetiva nas ações da entidade.

Criar grupos de trabalho para atender as áreas prioritárias relativas aos associados, inclusive no resgate dos afastados, abrindo um canal de comunicação permanentemente para críticas e sugestões.

A previsão é que a comissão eleitoral se reunirá em 18 de janeiro de 2010 para enviar as cédulas eleitorais e demais procedimentos bem como mais informações sobre os candidatos e suas propostas. A partir da data de envio, contar-se-ão dois meses para encerrar o processo de votação.

Lembramos que somente poderão votar os sócios efetivos que estão em dia com os seus compromissos com a SOBRAC.

Congressos

2010 NHCA Conference

25 - 27 Fevereiro de 2010, Orlando, Florida, EUA
<http://www.hearingconservation.org>

DAGA Acoustic Conference 2010

15 - 19 de Março de 2010, Berlim, Alemanha
<http://www.daga-tagung.de/2010>

IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2010

15 - 19 de Março de 2010, Adelaide, Australia
<http://www.icassp2010.org/>

ICA 2010 - Congresso Internacional de Audiologia

28 de Março - 1 de Abril de 2010, São Paulo
<http://www.ica2010.com.br/>

159th Meeting of ASA and Noise-Con 2010

19 - 23 de Abril, Baltimore, Maryland, EUA
<http://asa.aip.org/>

The International Symposium on Underwater Acoustic Measurement

21 - 23 de Abril, Hangzhou, China

IoA / ABAV joint meeting 2010 Noise in the Built Environment

27 - 30 de Abril, Ghent, Belgica
<http://www.ioa.org.uk/events/event.asp?id=22>

8o Congresso de Engenharia de Áudio da AES Brasil 14a Convenção Nacional da AES Brasil

04 - 06 de Maio de 2010, São Paulo
www.aesbrasil.org/portal/index.php?page_id=59

Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2010

10 - 12 de Maio de 2010, Ghent, Belgica
www.bnam2010.com

AES London 2010/128th AES Convention

22 - 25 de Maio de 2010, Londres, Reino Unido
www.aes.org/events/128/

International Communications Conference 2010

23 - 27 de Maio de 2010, Cidade do Cabo, Africa do Sul
<http://www.ieee-icc.org/2010/>

3º Workshop de Acústica Arquitetônica - 2º Seminário Brasileiro sobre Poluição Sonora 23º Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica

18 - 21 de Maio de 2010, Salvador de Bahia
<http://www.sobrac2010.ufba.br/>

O tema principal deste Encontro é: Acústica na Construção Civil, assunto de grande relevância na atualidade, principalmente por conta da nova Norma da ABNT de desempenho das edificações NBR 15.575. Serão também abordados temas relativos à influência do ruído nas questões ambientais, poluição sonora, privacidade, acústica de salas, controle de ruído, a influência deste na saúde humana, a responsabilidade do projetista e construtor frente à inadequação acústica dos ambientes, assim como o delineamento das diretrizes da acústica para os próximos anos, entre outros.

Sua programação inclui seções técnicas, palestras, mini-cursos e mesas redondas contendo o estado da arte em tópicos na área de acústica e vibrações e contará com o tradicional espaço onde as empresas que atuam na área apresentarão seus produtos e tecnologias. Renomados profissionais da área do Brasil e do exterior que ministrarão palestras e mini-cursos durante o Congresso. A programação inclui palestras ministradas por convidados de outros países, cujos nomes foram indicados pelo comitê científico.

Em paralelo, haverá o III Workshop de Acústica Arquitetônica que constitui um Showroom especializado em acústica e palestras de caráter mais abrangente, objetivando conscientizar com relação à relevância do tema, pois serão convidados também um público não especializado em acústica. Esse evento idealizado pela Audium, foi sucesso absoluto nas duas edições, com mais de 20 Stands e 250 participantes, compostos por profissionais criteriosamente selecionados no mercado baiano e tendo como consequência uma grande divulgação da importância da Acústica.

Outro evento que ocorrerá em paralelo será o II Seminário Brasileiro sobre Poluição Sonora e proporcionará um debate sobre questões legislativas referentes ao ruído produzido principalmente pela indústria do entretenimento, contando com a participação de advogados especializados em Poluição Sonora, representantes do Ministério da Cultura e do Ministério Público e Técnicos especializados em Isolamento acústico.

Nas mesas redondas serão debatidos temas relacionados a acústica na construção civil e acústica ambiental. Para estes debates estão sendo convidados profissionais e autoridades da área de acústica arquitetônica e meio ambiente.

A cidade de Salvador sediará o Encontro da SOBRAC, que pela primeira vez ocorre em uma cidade das regiões Norte/Nordeste e por conta disso a demanda de participação seguramente será grande. A coordenação geral do evento está a cargo da M.Sc. Arq. Débora Barretto, gerente de projetos da Audium, empresa que atua a mais de 15 anos no mercado em projetos de acústica e sonorização e tem se destacado no cenário nacional e internacional por sua atuação qualificada e responsável.

Low Frequency 2010

09 - 11 de Junho de 2010, Aalborg, Denmark
<http://www.lf2010.org/>

38th International AES Conference on Sound Quality Evaluation

13 - 15 de Junho de 2010, Piteå, Suecia
www.aes.org/events/38/

Internoise 2010

13-16 de Junho de 2010, Lisboa, Portugal
<http://www.spacustica.pt/internoise2010/index.htm>

39th International AES Conference - Audio Forensics: Practices and Challenges

17 - 19 de Junho de 2010, Hillerød, Dinamarca
www.aes.org/events/39/

9th Intl Conference on Vibration Measurements by Laser and Noncontact Techniques

22-25 de Junho de 2010, Ancona, Italia
<http://www.aivela.org/call9th.html>

10th European Federation of Audiology Society Congress

22-25 de Junho de 2010, Varsovia, Polonia
www.efas2011.org

10th European Conference on Underwater Acoustics

05 - 09 de Julho de 2010, Istambul, Turquia
www.ecua-2010-istanbul.org/

10th Int. Conference on Recent Advances in Structural Dynamics

12 - 14 de Julho de 2010, Southampton, Reino Unido

20th International Congress on Acoustics

23-27 de Agosto de 2010, Sydney, Australia
www.ica2010sydney.org/

International Symposium on Room Acoustics ISRA

29 - 31 de Agosto de 2010, Melbourne, Australia
www.isra2010.org/

13th International Conference on Digital Audio Effects

06-10 de Setembro de 2010, Graz, Austria
<http://dafx10.iem.at/>

18º Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia: Exercício Profissional: Bases Teóricas, Avanço e Realidade

22 - 25 de Setembro de 2010, Curitiba, PR
<http://www.sbfa.org.br/portal/>

ISCA Interspeech 2010

26-30 de Setembro de 2010, Makuhari, Japão
www.interspeech2010.org/

TECNIACUSTICA 2010 - 41th Spanish National Congress on Acoustics - 6th Iberian Congress on Acoustics - EAA Symposium

13-15 de Outubro de 2010, León, Espanha
www.sea-acustica.es/Tecniacustica10.htm

2nd Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics

02-06 de Dezembro de 2010, Cancun, México
<http://asa.aip.org/cancun/information.html>

Forum Acusticum 2011

27 de Junho - 01 de Julho de 2010, Aalborg, Dinamarca
www.fa2011.org/

11th International Workshop Mechanics of Hearing 2011

11 - 22 de Julho de 2011, Williamstown, MA, EUA
www.mechanicsofhearing.org/

TECNIACUSTICA 2010 - 41th Spanish National Congress on Acoustics

26-28 de Outubro de 2010, Caceres, Espanha

SOBRAC – Sociedade Brasileira de Acústica

Caixa Postal 11530 CEP 22020-970 – Copacabana – Rio de Janeiro – RJ

Te: 21 2235 1011 Skype I.D.: sobrac_acustica

E-mail: secretaria@acustica.org.br

Home Page: www.acustica.org.br

Ficha de Inscrição

Categoria: Efetivo () Estudante () Institucional ()

Anuidade: R\$ 80,00 R\$ 30,00 R\$ 250,00

Dados Pessoais

Nome: _____

Endereço: _____
(Rua, No., Compl.) _____

Bairro: _____ CEP: _____ Cidade: _____ UF: _____

Fone Res.: _____ Fone Com.: _____

E-mail: _____ FAX: _____

Escolaridade: 2º Grau regular () 2º Grau técnico) () Graduação ()

Pós-graduação () Mestrado () Doutorado ()

Dados Comerciais

Nome da Empresa: _____

Sector: _____

Endereço: _____
(Rua, No., Compl.) _____

Bairro: _____ CEP: _____ Cidade: _____ UF: _____

Fone Res.: _____ Fone Com.: _____

E-mail: _____ FAX: _____

Obs: Se Sócio Institucional, após preencher os dados da empresa preencher outras fichas com os dados pessoais dos dois representantes

Serviços

- Medições de ruído e vibração: identificação e caracterização de fontes, verificação dos limites legais e registro de violações.
- Laudos técnicos e periciais.
- Simulações vibro-acústicas, dinâmicas e estruturais por elementos finitos, elementos de contorno e análise estatística energética
- Ruído automotivo: pass-by noise, sound quality, ruído de cabine, de escapamento e outros
- Projeto de redução de ruído para máquinas, equipamentos, plantas industriais e instalações comerciais
- Simulações de ruído para estudos de impacto ambiental (EIA, RIMA e APIA), otimização de barreiras acústicas e ruído de aeroportos e aeronaves.



Calibração

Calibração
NBR ISO/IEC
17025

N

CAL 0399

Serviços acreditados pela RBC:

- Medidores de pressão sonora (decibelímetros ou sonômetros)
- Calibradores acústicos
- Microfones capacitivos

Outros serviços rastreáveis sob consulta



Produtos

Medidores de pressão sonora
Dosímetros de ruído
Analisadores e front-ends multi canais
Microfones e Acelerômetros
Software de ruído ambiental
Software de simulação vibroacústica (SEA, FEM e BEM)
Sistemas biauriculares
Vibrômetros a Laser
Beamforming e Holografia acústica



Rua Pedro Alves, 47 - Santo Cristo - Rio de Janeiro / RJ
CEP 20220-280 - Tel.: (55 21) 2516-0077 - Fax: 2516-0308

Em São Paulo - Telefax (11) 5041-2011

comercial@grom.com.br - www.grom.com.br

Conforto Acústico com Performance, Design e Tecnologia

ideacoustic Forros e Revestimentos Acústicos em Madeira

SONEXacoustic fabrica e distribui produtos de incomparável qualidade para proporcionar conforto acústico e redução de ruído aos mais diversos ambientes como escritórios, callcenters, restaurantes, escolas, lojas, auditórios, estúdios, casas de máquinas, entre outros.

Para maiores detalhes ligue
ou visite nosso site

tel.: 11 4072.8200
www.sonex.com.br

 **SONEX**acoustic



SONEX® Revestimentos em espumas técnicas



OWA Forros Minerais