

Causas, formas de medição e métodos para mitigação do ruído decorrente do tráfego de veículos

Luciano Pivoto Specht
specht@unijui.edu.br
Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande
do Sul - Unijui

Raquel Kohler
kohler@unijui.edu.br
Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande
do Sul - Unijui

Cristina Elisa Pozzobon
pozzobon@unijui.edu.br
Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande
do Sul - Unijui

Sérgio Copetti Callai
sergiocallai@yahoo.com.br
Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande
do Sul - Unijui

Resumo

O transporte rodoviário traz grande impacto ambiental, tanto pelo consumo de energia quanto pela infra-estrutura física necessária à sua operação. Além disso, a emissão de gases e o ruído decorrente do tráfego causam danos irreversíveis ao meio ambiente e têm sido alvos de inúmeros estudos e pesquisas. No Brasil, onde há expressivo aumento nas taxas de motorização, 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias, se faz necessário aprofundar a investigação sobre o tema, uma vez que estudos já concluíram que o atrito pneu/pavimento e as propriedades acústicas dos revestimentos influenciam sobremaneira a geração e a propagação do ruído. Diante do exposto, este artigo discute o tema ruído ambiental, focando-o naquele decorrente do tráfego de veículos, a fim de contribuir para a definição de ações que evitem a geração e/ou minimizem os seus efeitos. Para isso, reúne informações sobre o atual estado-da-arte, através de consulta na bibliografia nacional e internacional, no tocante a geração, mensuração e mitigação do ruído. Além dessas informações, apresenta resultados obtidos a partir de 1487 medidas de ruído em quatro diferentes pavimentos implantados em rodovias brasileiras. Os resultados denotaram a importância das propriedades acústicas dos revestimentos.

Palavras-chave: Ruído. Transporte Rodoviário. Impacto ambiental.

Abstract

Highway transportation causes great environmental impact, not only due to the enormous use of energy but also due to the infrastructure required for its operation. Gases emission and noise generated by the traffic cause irreversible environmental damages and, consequently, it has been targeted by many researches and studies. In Brazil, where there is an expressive increase in the motorization taxes, 63% of the loads and 97% of the passengers are transported in highways, therefore it's necessary to extend the investigation about the subject; previous studies already found that both, the rolling noise and the acoustical features of the pavement surface, influence excessively the generation and propagation of noise. This article discusses the environmental noise theme, focusing it in road traffic, in order to contribute to actions that avoid the generation or minimize their effects. It brings information on the current state-of-the-art, based on national and international bibliography, concerning generation, measurement and mitigation techniques of the noise. Besides that information, it presents results obtained from 1487 noise measures in four different pavements implanted in Brazilian highways. The results denote the importance pavement surface on measured noise.

Keywords: Noise. Highway transportation. Environmental impact.

1 Introdução

O som é o resultado das vibrações dos corpos elásticos, quando essas vibrações se encontram em determinados limites de frequência. Tais vibrações são mais ou menos rápidas, recebem o nome de vibrações sonoras e se propagam com velocidade uniforme em todas as direções se a propriedade elástica do meio for igual em todos os sentidos. Apesar de o som ser composto por uma variedade de frequências, o ouvido humano é capaz de sentir as frequências entre 20 e 20.000Hz (GERGES, 2000).

Destarte, segundo Gerges (2000), o ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa, ou, simplesmente, como todo som indesejável. Gerges (2000) explica que, o ruído ambiental, ou doméstico, é aquele gerado por diversas fontes, como o tráfego de veículos, as atividades comerciais, os animais domésticos, entre outras; excetuando-se aquelas dos ambientes industriais.

Para Gerges (2000), a pressão sonora é utilizada para definir os níveis ou a intensidade do ruído e sua unidade, o decibel (dB)¹, é a unidade logarítmica que expressa a razão entre a pressão sonora que está sendo medida e uma referência.

¹ Gerges (2000) explica que, quando uma medição de nível sonoro não utiliza nenhum filtro ponderador, o valor obtido é indicado

A exposição humana a altos níveis de ruído ocasiona respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas; hipertensão sanguínea; mudanças gastrintestinais; reações musculares e; vasoconstrição das veias. Além dessas alterações fisiológicas, também existem as bioquímicas, que estão relacionadas a mudanças na produção de cortisona, do hormônio da tireóide e de adrenalina; além de alterações na glicose sanguínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, dentre os quais o aumento da pressão sanguínea, que causa hipertensão arterial. Todos esses problemas convergem para o aumento nos gastos com saúde e em perdas expressivas no potencial produtivo (WHO, 1999; FERNANDES, 2002).

Nos países membros da União Européia, o trabalho desenvolvido por Raitanen (2005) estimou que cerca de 20% da população está exposta a níveis inaceitáveis de ruído, aqueles que causam dano à saúde. O mesmo trabalho menciona que aproximadamente 170 milhões de habitantes daquele continente sofrem algum tipo de incômodo devido aos níveis de ruído diurno.

Além de ser prejudicial à saúde e à qualidade de vida da população, há que se considerar, ainda, como consequência, a perda de valor dos imóveis em áreas afetadas por sons indesejáveis. Na Suécia, um estudo de perdas causadas pelo ruído apresenta cifras da ordem de 330 milhões de dólares por ano, ligadas principalmente à desvalorização imobiliária (SANDBERG, 2001).

Diante dessa problematização, este artigo tem como propósito discutir o tema ruído ambiental, focando-o naquele decorrente do tráfego de veículos, a fim de contribuir para a definição de ações que evitem a geração e/ou minimizem os seus efeitos. Para isso, o trabalho reúne informações sobre o atual estado-da-arte, através de consulta na bibliografia nacional e internacional, no tocante à geração, mensuração e mitigação do ruído. Além das informações bibliográficas, apresenta resultados obtidos a partir de 1487 medidas de ruído em quatro diferentes pavimentos implantados em rodovias brasileiras.

2 Geração de ruído

A WHO (1999) considera que o tráfego de veículos (rodoviários e ferroviários) e o modal aéreo são as principais fontes geradoras de ruído. Publicação da FHWA (1995) também sustenta que o ruído, tanto em zonas urbanas quanto rurais, está intimamente associando aos transportes. Essa problemática é atual, mas não recente. Shafer apresentou, em 1977, uma compilação de diversas pesquisas (realizadas em Londres e Vancouver em 1969; Chicago em 1971; Joanesburgo, Paris e Munique em 1972) sobre os ruídos ambientais que mais afetavam o público em geral e o tráfego de veículos foi o mais lembrado.

Sandberg e Ejsmont (2002), e Raitanen (2005) afirmam que na Europa, cada vez mais, tem-se buscado alternativas para reduzir o ruído causado pelo tráfego ou minimizar os seus efeitos. Para pesquisar sobre o tema e buscar alternativas à sua atenuação, diversas iniciativas de cooperação têm sido estabelecidas. Destacam-se os projetos SILVIA (*SILenda Via - Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise*), FEHRL (*Forum of European National Highway Research Laboratories*) e SILENCE. Não obstante, nos EUA, a FHWA tem empreendido esforços no mesmo sentido (SILVIA, 2008; FEHRL, 2008; SILENCE, 2008; FHWA, 2008).

No Brasil, o assunto merece e carece destaque, pois o país tem experimentado um expressivo aumento em suas taxas de motorização, passando de 122 habitantes/veículo na década de 1950 para seis habitantes/veículo em 1995, o que acentuou ainda mais o problema (ANTP, 2003). Para esse contexto brasileiro, Mello (2001) informa que 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias.

No caso do transporte rodoviário, pode-se dizer que o ruído é causado pela composição, volume e velocidade do tráfego (veículos de passeio, motocicletas, veículos pesados etc.), além do comportamento dos motoristas. É oportuno lembrar que o ruído dos veículos é originário dos sistemas de motor, escapamento e transmissão, do contato pneu/pavimento e do efeito aerodinâmico.

Na Figura 1 está apresentada a contribuição de cada parcela no ruído total, onde merece destaque a importância do ruído pneu/pavimento (HANSON *et al.*, 2005).

Quando considerada a velocidade de 100 km/h, a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e transmissão e 10% do ruído aerodinâmico. Todavia, em trechos urbanos e de baixas velocidades, o sistema motor/escapamento torna-se relevante. Sandberg (2001) afirma que, para veículos de carga, o ruído do motor (incluindo escapamento e transmissão) é a principal fonte para acelerações de 0-50km/h, porém o atrito pneu/pavimento é a principal fonte acima de 40-50km/h ou para o caso de velocidades constantes.

O ruído pneu/pavimento depende de muitos fatores: modelo e idade do veículo; peso por eixo; pressão de inflação dos pneus; tipo e tamanho dos pneus (para neve, esportivo, para lama etc.); temperatura; textura e material de composição dos pneus e; superfície da rodovia (textura, qualidade, umidade e temperatura). Seus mecanismos de geração são bastante complexos e não são completamente entendidos, principalmente por acontecerem de maneira simultânea.

De maneira geral, podem ser divididos em dois grupos: mecânicos, relacionados à vibração e; aerodinâmicos, relacionados ao contato pneu/superfície. O ruído causado pela expulsão de ar (*air pumping*) é considerado o mais relevante dentro do grupo aerodinâmico.

simplesmente por dB. Quando uma medição é feita com filtro ponderador, o valor obtido, em decibéis, é indicado na forma dB(X), onde X significa a denominação do filtro ponderador (tipo A, B, C ou D).

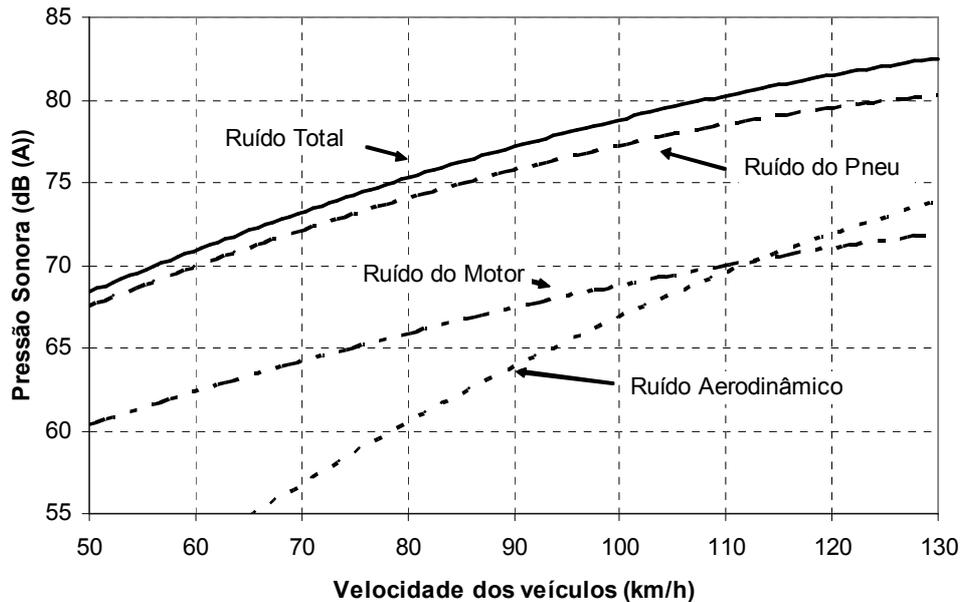


Figura 1: Influência das diversas fontes no ruído

Fonte: Hanson *et al.* (2005)

A vibração dos pneumáticos leva à ocorrência de ruídos de baixa frequência (abaixo de 1.000 Hz), enquanto o ruído causado pela expulsão de ar conduz a altas frequências (acima de 100.000Hz). Ambos são afetados pelas características da superfície do pavimento. A vibração é afetada pela macrotextura enquanto a expulsão de ar é afetada pela presença de vazios superficiais.

3 Mensuração do ruído

3.1 Métodos de ensaio para medição de ruído

Existem inúmeros métodos para medir ruído (ou pressão sonora), cada qual com suas características e aplicabilidades. Os métodos mais usuais e consagrados estão descritos nesse tópico, que traz, na seqüência, métodos para a correção do ruído em função da temperatura, em atendimento às recomendações prescritas na literatura consultada, e, ainda, três métodos para a caracterização acústica de materiais.

3.1.1 Statistical Pass-By Index – SPBI

O método preconizado na ISO 11819-1 (ISO, 1997) consiste em medir a maior pressão sonora (com filtro ponderador tipo A)² de veículos individuais que estão passando por um ponto de referência na rodovia, assim como a sua velocidade. Cada veículo medido é classificado em leve, pesado com dois eixos ou pesado com mais de dois eixos.

As rodovias, por sua vez, são classificadas em três categorias, de acordo com a velocidade de uso. As velocidades de referência são as seguintes: rodovias de baixa velocidade, de 45 a 64 km/h e velocidade de referência de 50 km/h; rodovias de média velocidade, de 65 a 99 km/h e velocidade de referência de 80 km/h; rodovias de alta velocidade, de 100 km/h ou mais e velocidade de referência de 110 km/h.

Para a realização das medidas, as rodovias devem atender aos seguintes critérios: a) a extensão da pista deve ter no mínimo 30 metros para ambos os lados a partir da posição do microfone, para velocidades altas esta distância deve ser de 50 metros; b) o trecho deve ser nivelado e plano; c) a rodovia deve estar em boas condições, a não ser que a intenção seja estudar o efeito de tal condição; d) o volume de tráfego deve conter o mínimo de veículos necessários para atender à ISO 11819-1 (ISO, 1997).

Além disso, o microfone deve estar localizado em um ambiente livre de barreiras sonoras, tendo no mínimo 25 metros de espaço livre ao seu redor, a fim de evitar absorções ou reverberações. Deve estar posicionado a 7,5 metros \pm 0,1 metro do eixo da via (Figura 2a) e a 1,2 metros \pm 0,1 metro acima de sua superfície (Figura 2b).

² A medição sonora com filtro ponderador tipo A aproxima a resposta do sistema auditivo para sons com níveis sonoros moderados.

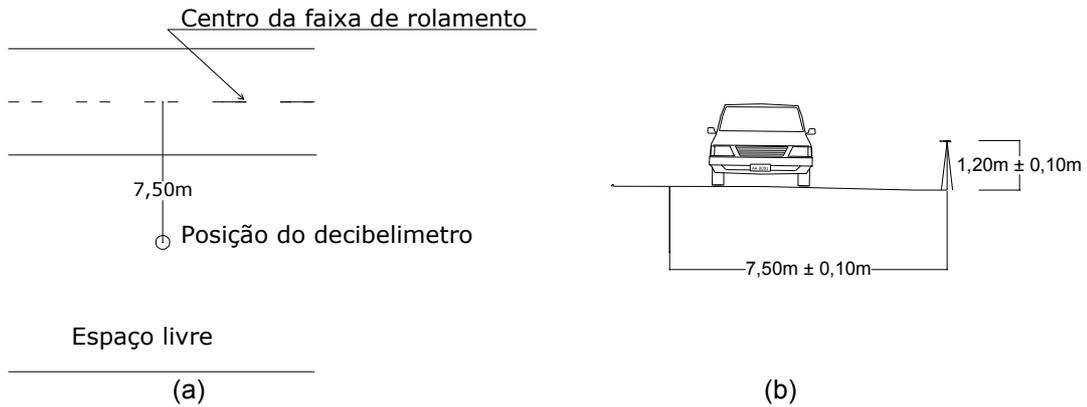


Figura 2: Posicionamento do microfone: (a) vista superior e (b) vista frontal
 Fonte: ISO 11819-1 (ISO, 1997)

Nesse método, um número mínimo de veículos de cada categoria deve ser atendido, qual seja: 100 veículos de passeio, 30 veículos pesados com dois eixos, 30 veículos pesados com mais de dois eixos. Ademais, a soma destes dois últimos deve resultar em no mínimo 80 veículos pesados. Além disso, só devem ser levados em consideração veículos que estão claramente livres da interferência acústica de outros veículos.

Finalmente, deve ser realizada a regressão linear dos valores obtidos, para que estes possam se enquadrar nos valores do Quadro 1, aos quais se aplica a Equação 1, que fornece o SPBI.

Quadro 1: Velocidade de referência e peso dos fatores (W_x)

Categoria do veículo		Velocidade da rodovia					
		Baixa		Média		Alta	
Nome	Número	Velocidade de referência	W_x	Velocidade de referência	W_x	Velocidade de referência	W_x
Carros	1	50km/h	0,900	80km/h	0,800	110km/h	0,700
Pesados de dois eixos	2a	50km/h	0,075	70km/h	0,100	95km/h	0,075
Pesados de mais de dois eixos	2b	50km/h	0,025	70km/h	0,100	95km/h	0,225

$$SPBI = 10 \cdot \log [W1 \cdot 10 \cdot L1/10 + W2a \cdot (v1/v2a) \cdot 10 \cdot L2a/10 + W2b \cdot (v1/v2b) \cdot 10 \cdot L2b/10] \quad (1)$$

Na Equação 1:

SPBI é o índice estatístico de passagem (*Statistical Pass – By Index*) para uma média entre veículos leves e pesados;

L1, L2a, L2b são valores de pressão sonora para as categorias respectivas (dB);

W1, W2a, W2b são fatores³ que presumem as proporções dos veículos respectivos, de acordo com o Quadro 1;

V1, V2a, V2b são as velocidades de referência dos veículos, de acordo com o Quadro 1.

Os valores de temperatura e umidade do ar também são medidos. Os níveis de ruído medidos levam em consideração tanto o ruído pneu/pavimento quanto o ruído causado pelo sistema motor/transmissão e pela aerodinâmica. Esse método apresenta os melhores resultados no quesito avaliação do ruído de tráfego em áreas povoadas, porém é um método trabalhoso e extenso.

3.1.2 Close Proximity – CPX

Nesse método, prescrito na ISO 11819-2 (ISO, 1997), é medida a pressão sonora advinda da interação pneu/pavimento em velocidades pré-programadas. Sucintamente, o equipamento utilizado consiste da instalação de microfones junto a dois pneus instalados no interior de um trailer, o qual possui uma cobertura para reduzir a incidência do vento e do ruído proveniente dos outros veículos (Figura 3). Isso permite que o ensaio possa ser realizado independente do tráfego na via. O ensaio é relativamente rápido e de resultados bastante confiáveis, porém apresenta uma limitação, que é proveniente do equipamento, pois o mesmo permite medições em uma série limitada de pneus.

³ Estes valores podem variar de acordo com o país, a localidade e o horário do dia ou da noite; portanto eles representam valores globais para casos típicos dos países de origem da norma de referência.



Figura 3: Equipamento de ensaio do método CPX
Fonte: Hanson *et al.* (2005)

3.1.3 Close Proximity Sound Intensity – CPI

Este método, prescrito na ISO 3740 (ISO, 2000), é muito similar ao CPX, descrito anteriormente; todavia o equipamento é instalado próximo ao pneu, como mostra a Figura 4 (a e b). Para realizar o ensaio não se faz necessária a presença da cobertura utilizada no CPX. Ele pode ser executado em rodovias normais a velocidades de tráfego, porém apenas alguns veículos podem ser adaptados ao CPI.



Figura 4: Equipamento de ensaio do método CPI
Fonte: Hanson *et al.* (2005)

3.1.4 Controlled Pass By – CPB

Para este ensaio, preconizado na ISO 362 (ISO, 1998), são utilizados procedimentos muito próximos daqueles previstos no método SPBI, porém com alguns veículos pré-determinados e em velocidades pré-estabelecidas, em um campo de testes com baixíssimo tráfego de veículos ou sem tráfego (Figura 5). Este método requer menos tempo que o SPBI, pois não leva em consideração a variação de veículos do mesmo tipo, tendo, mesmo assim, as mesmas limitações do SPBI.

Em que :

L é o ruído corrigido;

L_m é o ruído medido (dB);

T é a temperatura da rodovia ($^{\circ}\text{C}$);

T_{ref} é a temperatura a 20°C ;

K é o coeficiente de correção da temperatura que varia para cada tipo de veículo (para veículo de passeio K é $-0.03 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ se $T > T_{\text{ref}}$; é $-0.06 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ se $T < T_{\text{ref}}$; para caminhões leves e vans K é $-0.02 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ e para caminhões pesados $K=0$).

Lahtinen (1999) apud Raitanen (2005) apresenta mais dois métodos de correção, um em função da temperatura do ar e outro em função da temperatura do ar e do pavimento.

Apesar de existirem modelos de correção do ruído para diferentes temperaturas são raros os trabalhos que tem se utilizado deste procedimento. O mesmo vale para a umidade do ar, que tem influência sobre as medidas; todavia, não é prática a correção, talvez pela falta de modelos para esta finalidade.

3.3 Métodos para caracterização acústica de materiais

3.3.1 Absorção sonora do pavimento

A ISO 13472 (ISO, 2002) apresenta um método que avalia as propriedades acústicas dos pavimentos *in situ*, baseado no princípio que as superfícies fonoabsorventes são capazes de atenuar o som gerado por uma fonte, pois aceita que esse princípio exerce grande influência na geração e na transmissão do ruído. A Figura 6 ilustra o esquema do equipamento *in situ*.

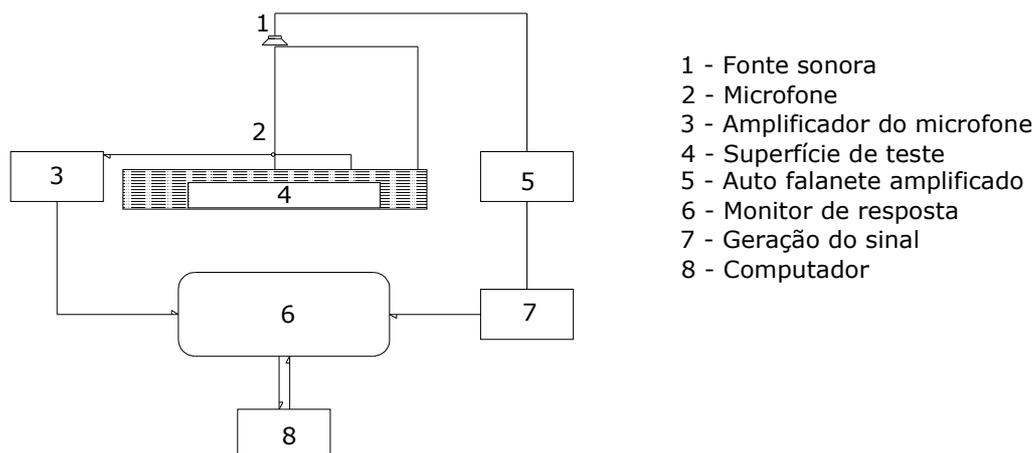


Figura 6: Esquema do equipamento *in situ*
Fonte: Bernhard e Wayson (2008)

3.3.2 Tubo de impedância

O tubo de impedância para ensaios laboratoriais de medição da absorção acústica da amostra de pavimentos e impedância acústica é prescrito nas normas ASTM E 1050 (ASTM, 2008) e ISO 10534-2 E (ISO, 1998). O método consiste em excitar um tubo de impedância (com uma amostra do material em estudo em sua extremidade) com um ruído branco de banda larga e medir a pressão sonora no seu interior. Os sinais obtidos são processados por analisador digital de frequências para se determinar a curva de absorção sonora em função da frequência. A Figura 7 ilustra o equipamento utilizado.

No Brasil, pesquisas com o tubo de impedância foram feitas por Láo (2004) e por Astrana (2006). Nascimento et al. (2005) utilizaram a técnica do tubo de impedância para medições *in situ* de diferentes revestimentos.

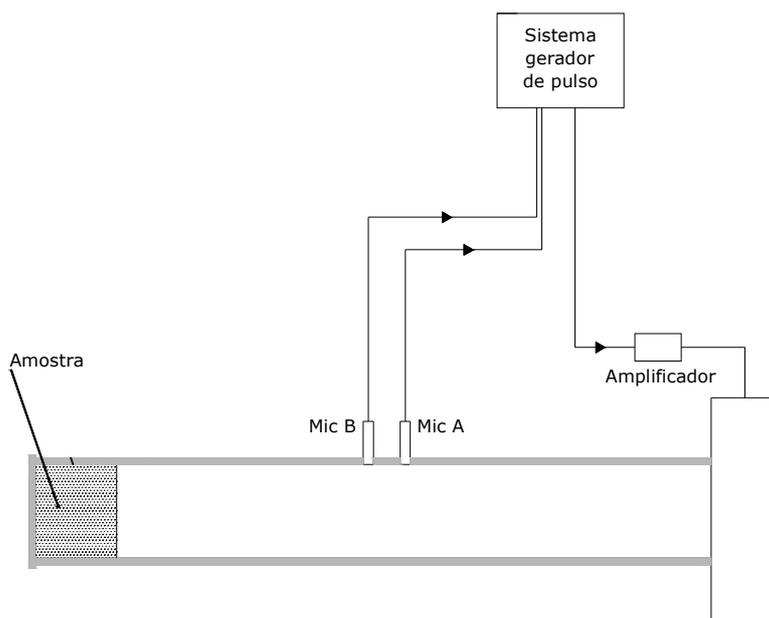


Figura 7: Tubo de impedância
Fonte: Hanson *et al.* (2004)

3.3.3 Tyre/Pavement Test Apparatus – TPTA

Esse método tem como referência o ensaio feito pela Purdue University, de Indiana (EUA), conhecido como Tyre/Pavement Test Apparatus (TPTA). O equipamento consiste em um cilindro de aproximadamente 3,60 metros de diâmetro, que contém as amostras de 1/6 do diâmetro do cilindro. Nele são colocados dois braços com rodas para simular o tráfego, como mostra a Figura 8. A sala onde o equipamento é instalado deve ser isolada evitando, assim, o ruído de fundo e a variabilidade climática. A principal característica desse ensaio é que ele consegue representar o ruído apenas do atrito entre o pneu e o pavimento, sem outras fontes.



Figura 8: Tyre/Pavement Test Aparatus (TPTA)
Fonte: Garcia *et al.* (2002)

4 Alternativas para mitigação do ruído

Os limites aceitáveis e/ou toleráveis para o ruído causado pelo tráfego de veículos variam de país para país. Nos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA) fixa valores entre 80 e 87 dB(A), dependendo do tipo de veículo e da velocidade de uso da rodovia (USDOT/FTHW, 1995).

No Brasil, a NBR 10151 (ABNT, 2000) fixa como valor máximo de ruído flutuante, para áreas externas e no período diurno, 40 dB(A) para sítios e fazendas até 70 dB(A) para áreas predominantemente industriais. Apesar disso, os níveis de ruído encontrados nas proximidades das vias (tanto rurais quanto urbanas) estão além desses limites. Dessa forma, medidas de curto, médio e longo prazo para adequá-las aos limites e proporcionar melhor

qualidade de vida à população se fazem necessárias no país. Com essa motivação, esse tópico apresenta alternativas para mitigação do ruído, que passam pelo planejamento urbano, pela utilização de barreiras sonoras e/ou pavimentos silenciosos e pelo isolamento acústico das edificações.

4.1 Planejamento urbano

O planejamento urbano está definido pela Constituição Federal Brasileira, no Art. 182 (BRASIL, 1988). Tem como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Remete a política de desenvolvimento urbano ao Poder Público Municipal, a partir de diretrizes gerais fixadas em lei.

Via de regra, o planejamento urbano é feito para um município ou para uma determinada região, como nos casos das Regiões Metropolitanas. Nesses casos, o Poder Público estabelece, através de legislação local, depois de consultados os valores estabelecidos na legislação superior (no caso do Brasil segue a NBR 10151 – ABNT, 2000 e a NBR 10152 – ABNT, 2000), os limites máximos admitidos de ruído que deverão ser observados nos períodos matutino, vespertino e noturno.

Dessa forma, o planejamento urbano é fundamental na definição dos patamares e no controle das emissões de ruídos, ou seja, por meio do Plano Diretor e de outros instrumentos de prevenção e controle, como o zoneamento urbano, o estudo de impacto ambiental, o relatório de impacto ambiental, entre outros, é possível estabelecer mecanismos para combater a poluição sonora. Desta forma a concessão ou o indeferimento de licenças ambientais toma por molde o atendimento a todos os requisitos necessários para a manutenção dos padrões de qualidade ambiental.

No que diz respeito ao planejamento, com vistas à qualificação do ambiente urbano, apresenta-se algumas recomendações:

- Planejar o zoneamento de uso e os índices urbanísticos para garantir boa qualidade da saúde e do sono do cidadão nas suas áreas residenciais e nas áreas onde as atividades de trabalho específicas assim necessitem;
- Organizar o tráfego interno nas áreas urbanas, dando prioridade ao transporte público e ao pedestre;
- Incentivar o uso de veículos automotores e aparelhos domésticos e industriais, com nível adequado de emissão de ruído;
- Considerando os mecanismos de atenuação sonora ao ar livre, conforme ilustra a Figura 9, planejar às rodovias, corredores de tráfego, aeroportos e outras atividades urbanas, fontes de ruído a partir de medidas que protejam a população;
- Equipar as áreas urbanas com praças silenciosas e recreativas;
- Instalar sistema de controle preventivo de níveis máximos e médios de ruído ambiental em lugares públicos;
- Implantar a educação ambiental no currículo escolar e em campanhas publicitárias.

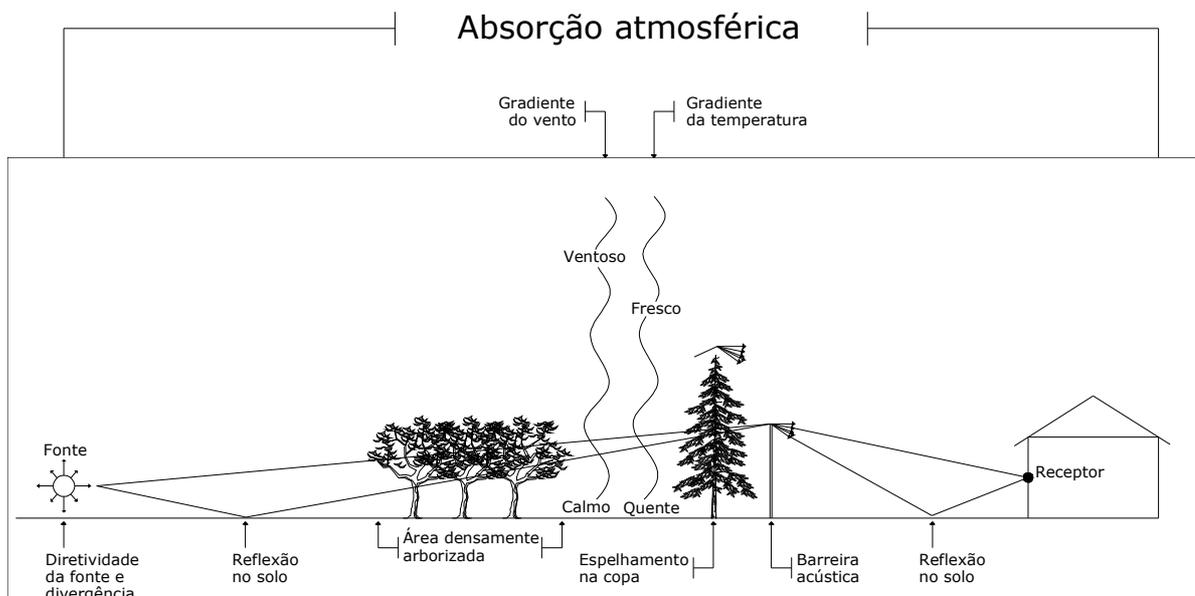


Figura 9 - Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre
Fonte: Anderson e Kurze (1992) *apud* Bistafa (2006)

Callai (2008) estudou o perfil de influência da poluição sonora em rodovias e verificou que, alterando o afastamento de 7,5m para 30m a pressão sonora é reduzida de 81,0 para 65,2 dB(A). As medidas foram realizadas de acordo com o método SPBI em dois tipos de pavimentos (Concreto Betuminoso Usinado à Quente

e Micro-revestimento). Esta importante redução demonstra que, quando possível, o aumento do afastamento da fonte receptora pode atenuar expressivamente a pressão sonora.

4.2 Barreiras sonoras

Dentre as várias alternativas de atenuação do ruído, uma das mais utilizadas é a das barreiras sonoras, por sua relativa simplicidade e relativa eficácia. As barreiras sonoras podem ser executadas de diversas formas e materiais, dependendo do ambiente onde se encontram e do nível de ruído que se tem por objetivo atenuar.

A barreira sonora baseia-se no princípio básico da física acústica, ou seja, ela funciona como um obstáculo à onda sonora, desviando e/ou absorvendo-a. Sua altura é um dos fatores mais importantes, como mostra a Figura 10, onde cada metro adicionado reduz 1,5 dB(A) do ruído, aproximadamente.

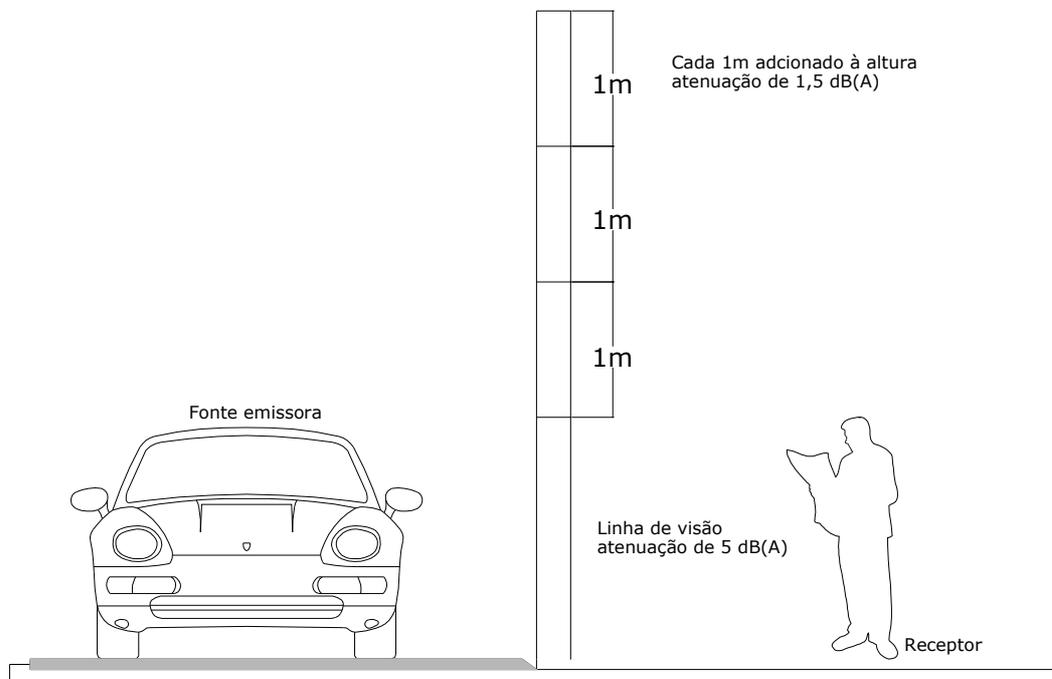


Figura 10: Altura da barreira sonora
Fonte: FHWA (2001)

A barreira sonora pode ser executada com solo natural (Figura 11a) e/ou árvores, ocasionando menor poluição visual e agressão ao ambiente natural; ou com materiais tradicionais como alvenaria, madeira ou concreto, ou ainda, de modo a não causar nenhuma diferença gritante ao local onde está colocada (Figura 11b).

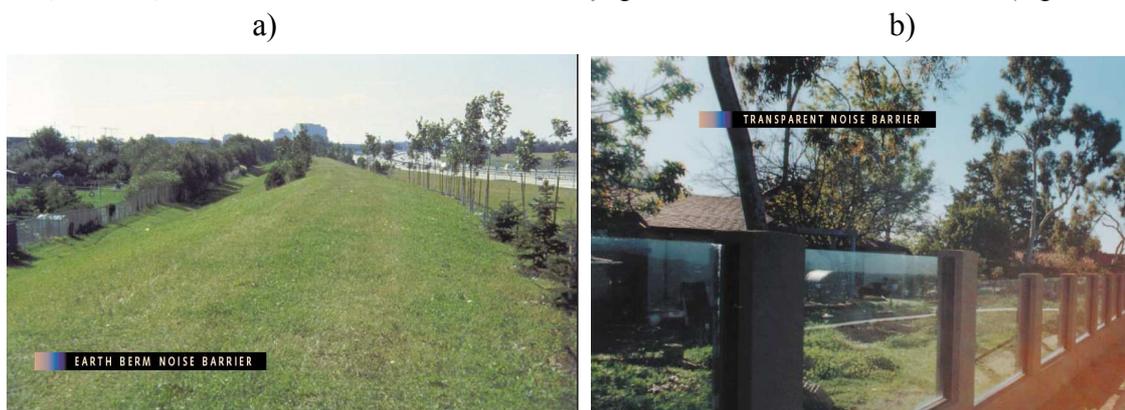


Figura 11: Barreira sonora: (a) retaludamento e arborização e (b) transparente
Fonte: FHWA (2001)

As barreiras sonoras começaram a ser utilizadas, nos Estados Unidos, por volta de 1970, em resposta às leis ambientais. Atualmente, são amplamente utilizadas naquele país, no entanto, seus pontos positivos não sobressaíram aos negativos. Os negativos, de um modo geral, são: 1) somente podem ser construídas em locais específicos; 2) certos locais não dispõem da área necessária para este tipo de intervenção; 3) são, em maior ou menor grau, uma poluição visual; 4) são onerosas para a sociedade, devido ao seu alto custo de implantação.

Esse último ponto negativo representa aproximadamente U\$ 692.840,00/km, num total de 17 estados pesquisados em 1992, segundo informa o FHWA (2006). Também a respeito do custo, o relato de Garcia *et al.* (2002) é que 41 estados americanos gastaram aproximadamente 1,4 bilhões de dólares em 1994, apenas na manutenção das barreiras sonoras existentes.

No Brasil, não existem relatos da utilização de barreiras sonoras, todavia há aproximadamente uma década se estende uma discussão a este respeito nas proximidades do Rodoanel Mário Covas em São Paulo. Devido ao grande impacto sonoro causado pela obra, há informações que no futuro serão utilizadas soluções conjugadas de barreiras sonoras e pavimentos silenciosos (Alphanews, 2007).

4.3 Pavimentos silenciosos

Um pavimento silencioso é uma superfície que, quando interagindo com um pneu rodando, influencia o ruído total do veículo de tal forma que no mínimo 3dB(A) (metade da energia acústica) são reduzidos em relação às superfícies rodoviárias tradicionais (SANDBERG; EJMONT, 2002).

O conceito de pavimentos (superfícies) silenciosos começou a aparecer na literatura internacional recentemente, devido especialmente à crença que as soluções existentes até o momento (barreiras sonoras) estavam fadadas ao desuso, pois sua ineficiência e seus altos custos estavam comprovados.

Para Sandberg (2001) e para Hanson et al. (2004), a construção de pavimentos que busquem segurança, desempenho, custo e baixos níveis de ruído deve considerar as seguintes possibilidades: a) superfícies com baixa textura e agregados pequenos; b) camadas porosas com altos volumes de vazios; c) superfícies com baixa rigidez no contato pneu/pavimento.

O ruído gerado em quatro diferentes pavimentos implantados em rodovias brasileiras foi avaliado através de 1487 medidas (Figura 12); e demonstram a importância das propriedades acústicas dos tipos de revestimentos e do tipo de veículo (classificado conforme a ISO 11819-1 de 1997); os maiores valores foram encontrados para o Concreto de Cimento Portland: 84,31 dB(A), seguido do concreto betuminoso usinado à quente: 82,52 dB(A), do tratamento superficial duplo: 82,19 dB(A) e, da camada porosa de atrito: 79,29 dB(A). A diferença entre a camada porosa de atrito e o concreto de Cimento Portland chegou a 5 dB(A), o que é bastante expressivo e representa 67% de perda na energia acústica.

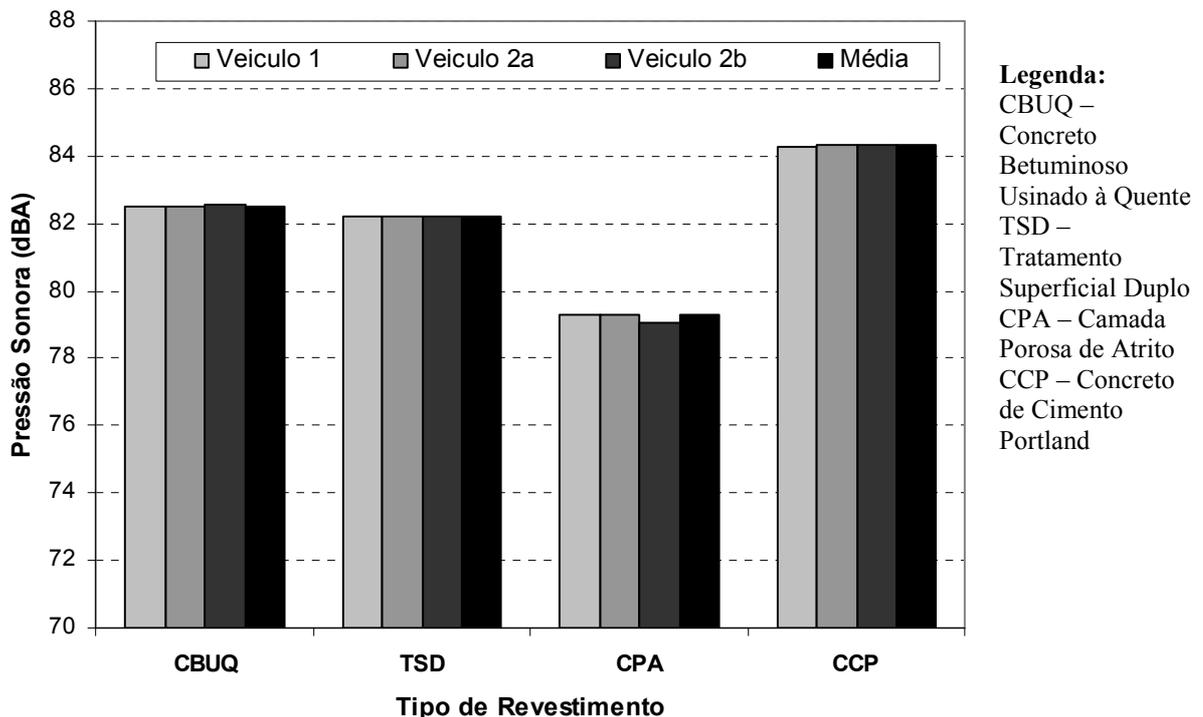


Figura 12: Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimentos e veículos

4.4 Isolamento acústico em edificações

Nos últimos anos, em muitos países, aumentaram, de forma significativa, as exigências de conforto acústico nas edificações. Isso se deve ao crescimento urbano significativo e, conseqüentemente, ao aumento das taxas de densidade demográfica e construtiva nesses espaços.

O isolamento acústico consiste em impedir que um determinado som ou ruído se propague da fonte até o local que se deseja silenciar, e é obtido, segundo Gerges (2000), através da adoção de soluções construtivas que alcancem a absorção do som. Esse autor salienta, também, que o isolamento do ruído fornecido por paredes, pisos e divisórias é apenas uma maneira de atenuar a transmissão da energia sonora de um ambiente para outro.

A absorção sonora, de acordo com a NBR 10830 (ABNT, 1989), significa a dissipação, a condução e a transmissão da energia sonora nas mudanças de meio de propagação, ou, simplesmente, a dissipação desta energia em um meio homogêneo e isotrópico.

A NBR 10152 (ABNT, 2000) estabelece os níveis máximos de ruídos considerados adequados aos diversos tipos de ambiente. Seu objetivo é o de orientar sobre os valores recomendados para se atingir o conforto, levando em consideração o uso e a atividade que serão realizadas no ambiente e as condições a que o ambiente será exposto (Figura 13).

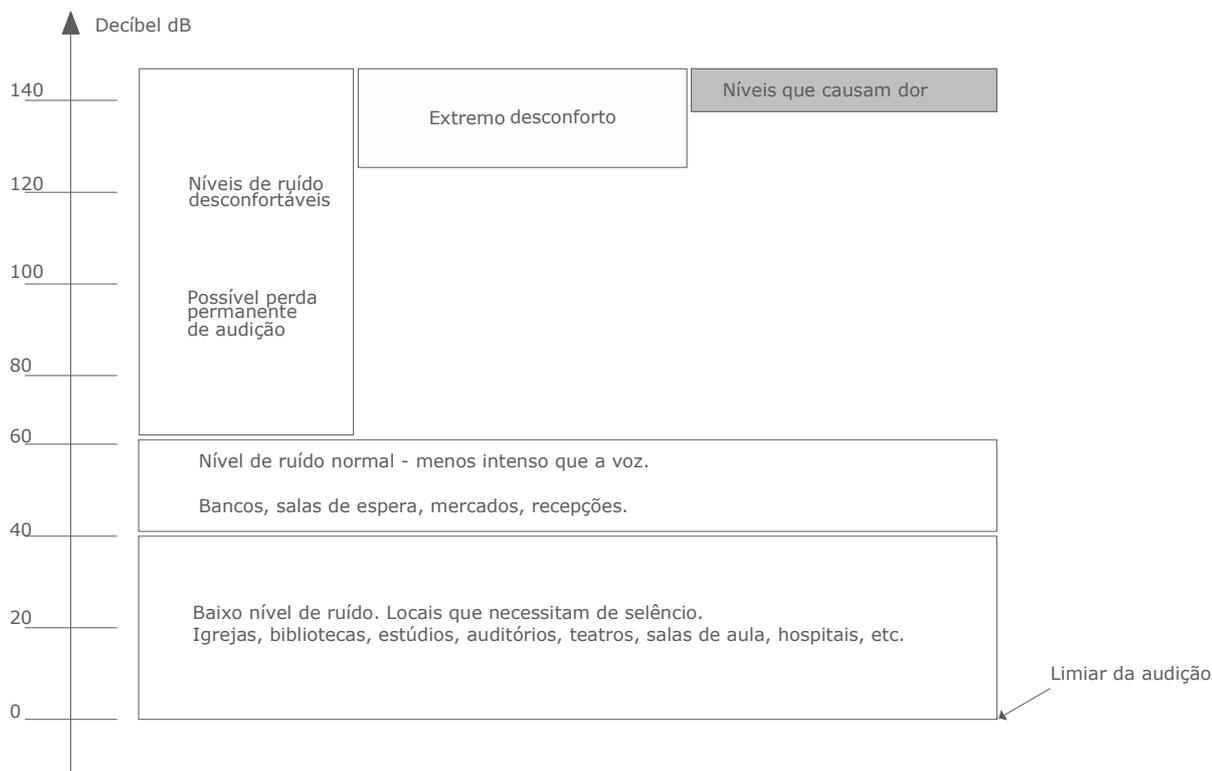


Figura 13: Níveis de ruídos em ambientes

Fonte: Fernandes (2002)

A pesquisa sobre acústica de edificações é muito recente no Brasil. Investigações mostram que, para melhorar e adequar acusticamente as edificações não são necessários recursos especiais; materiais já utilizados na construção civil, quando usados com critério, dão conta do isolamento. Ao contrário do Brasil, em países da Europa e nos Estados Unidos existem normas específicas sobre isolamento acústico para residências, com forte punição para aqueles que não as respeitam, além de pesquisas e trabalhos publicados sobre o assunto (DIMETRE, 2008).

A produção das edificações muitas vezes privilegia o interesse econômico dos responsáveis técnicos tanto pelos projetos como pelas suas respectivas execuções, em detrimento do sossego, da saúde e da segurança. Baring (1985) já noticiava que parcelas expressivas da população brasileira estavam trabalhando e repousando em circunstâncias adversas, no que diz respeito a ruído. O mesmo autor dizia que o prejuízo para o desempenho e a saúde dessas pessoas estava sendo abstraído pelos que confundiam “conforto acústico” com “salubridade acústica”. Apontava, também, o crescimento do número de edificações construídas com materiais leves nas vedações, paredes e lajes, para aliviar fundações e diminuir custos, implicando um isolamento sonoro abaixo dos valores recomendados.

Na atualidade se verifica que o continuísmo dessa situação pode ser atribuído à ignorância da população quanto aos direitos do consumidor - tratados no Art. 615 do Código Civil (BRASIL, 2002) e no Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990), que pode considerar defeito de construção um isolamento acústico inferior aos limites traçados pelas normas brasileiras. No caso da falta de isolamento acústico adequado na edificação, destaca-se como de extrema relevância a responsabilidade dos agentes intervenientes pela mesma.

Uma edificação eficiente, no entanto, tem origem no projeto. O conhecimento dos pré-requisitos necessários ao condicionamento ambiental de uma área específica determina, na concepção do projeto, uma melhor relação

custo/benefício pelo aproveitamento das soluções adotadas, se comparada à realização das soluções após a execução física do edifício (JANKOVITZ, 2008).

Cada caso requer especificações criteriosas de ambientação voltadas para a adequação ao uso; à escolha adequada dos materiais e à sua disposição, para assegurar a qualidade da solução e o controle dos parâmetros que regem a qualidade do ambiente (JANKOVITZ, 2008). O tratamento ambiental prévio é um exercício de gerência que integra os métodos de produção visando à qualidade de vida e à satisfação dos usuários.

A indústria da construção civil sempre foi determinante para a qualidade de vida da sociedade. O sucesso de um empreendimento é determinado pelas características de seu produto, de modo a satisfazer as necessidades da sociedade no que diz respeito ao melhor desempenho de seu produto em relação à segurança, ao consumo de energia, ao conforto acústico, ao custo etc. A condição básica de sobrevivência da construção civil, portanto, é atender as necessidades do usuário final no que se refere à melhoria da qualidade de vida.

5 Conclusões

As preocupações com o bem-estar da sociedade e com a saúde pública devem estimular o poder público e a sociedade em geral a tomar decisões voltadas à redução da geração do ruído e/ou mitigação de seus efeitos.

O artigo mostrou que o tráfego de veículos está entre as principais fontes geradoras de ruído e, por esse motivo, cada vez mais, o ruído causado pelo tráfego rodoviário tem se tornado um quesito de projeto de rodovias e tem sido alvo de pesquisas e preocupação da sociedade em geral.

Para mensurar o ruído foram descritos cinco métodos usuais e consagrados, dentre os quais o único procedimento com normalização nacional, denominado ruído médio de tráfego.

Também foram descritos os métodos para a correção do ruído em função da temperatura, em atendimento às recomendações prescritas na literatura consultada, e, ainda, três métodos para a caracterização acústica de materiais, quais sejam: Absorção sonora do pavimento; tubo de impedância e; tyre/pavement test apparatus.

Como medidas mitigadoras, foram apresentadas as seguintes alternativas: Planejamento urbano; barreiras sonoras; pavimentos silenciosos e; isolamento acústico em edificações. Além da sistematização das informações bibliográficas, os resultados apresentados, obtidos através de pesquisa de campo, indicam a importância de se considerar o tipo de revestimento do pavimento no ruído ambiental, bem como podem auxiliar na tomada de decisão de futuros projetos de engenharia rodoviária.

Para finalizar, cabe mencionar a grande lacuna de conhecimento e a despreocupação das autoridades brasileiras e da sociedade em geral com o tema ruído ambiental, especialmente o do tráfego de veículos, quando comparadas ações, estudos e bibliografias brasileiras com aquelas encontradas nos países europeus e nos Estados Unidos. Por tais motivos, o presente artigo traz sua contribuição para aproximar essas realidades.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E1050*: standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis. In: ANNUAL Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM, 2008. v. 4.06.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151*: acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10152*: acústica: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10830*: acústica: caixilho para edificação: acústica dos edifícios. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. *Política nacional de transportes públicos*. São Paulo: ANTP, 2003. 9 p.
- ASTRANA, C. A. L. *Estudo da absorção sonora e permeabilidade de concretos asfálticos drenantes*. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BARING, J. G. A. Isolamento sonora de paredes e divisórias. *A Construção São Paulo*, São Paulo, n. 1937, p. 19-24, 1985.
- BERNHARD, R.; WAYSON, R. L. *An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement*. Disponível em: <<http://www.asphaltalliance.com/>>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- BRASIL. *Código civil*. 2002. Cap. VIII. Art. 615. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/11/2002/10406.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2008.

- BRASIL. *Código de defesa do consumidor*. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Cap. II. Art. 182. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/const/con1988/CON1988_05.10.1988/art_182_.htm>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- CALLAI, S. C. *Perfil da influência da poluição sonora em rodovias*. 2008. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.
- DIMETRE, R. *Isolamento em baixa: estudo aponta queda no isolamento acústico das edificações brasileiras nos últimos séculos*. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3461>>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/>>. Acesso em: 30 maio 2008.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *FHWA-PD-96-046-DOT-VNTSC-FHWA-96-5: measurement of highway-related noise*. Washington, DC, 1996. 213 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, DC 1995. 95 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Highway traffic noise in the United States: problem and response*. Washington, DC, 2006. 24 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Keeping the noise down: highway traffic noise barriers*. Washington, DC, 2001. 24 p.
- FERNANDES, J. C. *O ruído ambiental: seus efeitos e seu controle*. Bauru, SP: Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP, 2002.
- FORUM OF EUROPEAN NATIONAL HIGHWAY RESEARCH LABORATORIES. 2008. Disponível em: <<http://www.fehrl.org/?m=22>>. Acesso em: 30 maio 2008.
- GARCIA, R. et al. A summary of recent trends to reduce highway noise with Portland cement concrete pavements. In: MEETING ON CONCRETE PAVEMENT NOISE. West Lafayette: Portland Cement Concrete, 2002. 67 p.
- GERGES, S. N. Y. *Ruído: fundamentos e controle*. Florianópolis: NR Editora, 2000.
- HANSON, D. I.; DONAVON, P.; JAMES, R. Tire/pavement noise characteristics for HMA pavements. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Lino Lakes, v. 74, p. 1-38, 2005.
- HANSON, D. I.; JAMES, S. J.; NESMITH, C. *Tire/pavement noise study*. Auburn: NCAT - National Center for Asphalt Technology. Report n. 04-02, 2004. 44 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 362 (E): Acoustics: measurement of noise emitted by accelerating road vehicles: engineering method*. Genebra, 1998. 18 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10534-2 (E): Acoustics: determination of sound absorption coefficient and impedance tubes: parte 2*. Genebra, 1998. 27 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 11819: Acoustics: measurement of the influence of road surface on traffic noise: parte 1*. Genebra, 1997. 31 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 11819: acoustics: measurement of the influence of road surface on traffic noise: parte 2*. Genebra, 1997. 31 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 13472: Acoustics: measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ: part 1: extended surface method*. Genebra, 2002. 27 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 37409: Acoustics: Determination of sound power levels of noise sources: guidelines for the use of basic standards*. Genebra, 2000. 25 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO/DIS 13325: tyres-coast-by-method for measurement of tyre/road sound emission*. Genebra, 2001. 27 p.
- JANKOVITZ, J. A. *Noções de isolamento acústico e absorção sonora*. Disponível em: <<http://www.abel-acustica.com.br/Acustica/IsoleAbsor.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2008.

- LÁO, V. L. E. S. T. *Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos*. 2004. 266 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- MELLO, J. C. Transporte: presente e futuro. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001. p. 31-39.
- NASCIMENTO, L. A. H. et al. Pavimentos silenciosos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36., 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Associação Brasileira de Pavimentação 2005. CD-ROM.
- RAITANEN, N. *Measuring of noise and wearing of quiet surfaces*. 2005. 96 f. Thesis (Doctor of Science in Technology)-Universidade de Tecnologia de Helsingke, Helsingke, 2005.
- SANDBERG, U. Tyre/road noise: myths and realities. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 2001, The Hauge. *Anais...* The Hauge: International Institute of Noise Control Engineering. p. 1-22.
- SANDBERG, U.; EJSMONT, J. *Tyre/road noise reference book*. Kisa: Informex, 2002. 640 p.
- SCHAFER, R. M. *The tuning of the world*. New York: Knopf, 1977. 382 p.
- SILENCE. Disponível em: <<http://www.silence-ip.org/site/>>. Acesso em: 30 maio 2008.
- O SILÊNCIO que o Rodoanel quebrou. *Alphanews*, 31 ago. 2007 Disponível em: <<http://www.alphanews.com.br/materias.asp?id=798>>. Acesso em: 30 jan. 2009.
- SILVIA. *SILenda via: sustainable road surfaces for traffic noise*. Disponível em: <<http://www.trl.co.uk/silvia/ortal>>. Acesso em: 30 maio 2008.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Federal Highway Administration. *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, DC, 1995. 95 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for community noise*. 1999. Disponível em: <<http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>>. Acesso em: 30 jan. 2008.

SOBRE OS AUTORES

Luciano Pivoto Specht, Dr.

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Professor Associado – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Civil / Mestrado em Modelagem Matemática.

Raquel Kohler, Me.

Arquiteta e Urbanista, Mestre em planejamento Urbano e Regional, Professora Assistente – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Civil.

Cristina Elisa Pozzobon, Me.

Engenheira Civil, Doutoranda em Engenharia Civil, Professora Assistente – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Civil.

Sérgio Copetti Callai

Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. Egresso do Curso de Engenharia Civil – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Recebido em: 20.01.2009

Aceito em: 10.03.2009

Revisado: 28.04.2009