



DESEMPENHO DE BARREIRAS ACÚSTICAS AO AR LIVRE: COMPARAÇÃO ENTRE ASPECTOS OBJETIVOS E SUBJETIVOS.

Maria de Fátima Ferreira Neto e Stelamaris Rolla Bertoli

Faculdade de Engenharia Civil –UNICAMP – C.P.6021 - 13083-970 Campinas - SP

mffneto@uol.com.br rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

A melhoria na qualidade de vida é uma busca constante de todo o ser humano e o conforto acústico é um dos aspectos da qualidade de vida que se deseja alcançar. O conforto acústico de um ambiente depende, entre outros parâmetros, do isolamento adequado de ruídos provenientes do meio exterior. As barreiras acústicas, instaladas em ambientes abertos, podem reduzir o ruído que chega até as edificações. No Brasil a utilização de barreiras ao ar livre é muito pequena e poucos estudos sobre desempenho de barreiras estão sendo realizados. O objetivo deste trabalho é apresentar o estudo do desempenho de três tipos de barreiras ao ar livre, comparando aspectos objetivos com subjetivos. Entende-se como aspectos objetivos os resultados das medidas físicas como a perda por inserção das barreiras. Para a avaliação dos aspectos subjetivos, foi constituído um júri, que respondeu sobre a sensação percebida por um estímulo sonoro, recebido através da barreira. Uma metodologia foi desenvolvida para estimar a percepção do ruído através das barreiras pelo júri. Os resultados da atenuação das diferentes barreiras foram comparados com os da atenuação estimada pelo júri e indicaram que o desempenho real pode ser semelhante ao desempenho subjetivo.

Palavras-chave: barreiras acústicas, poluição sonora, conforto ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é uma das causas de maior incômodo para as pessoas. A busca pelo conforto acústico vem crescendo cada vez mais, nos últimos anos. As barreiras acústicas entram como um auxiliar para o alcance do tão desejado conforto acústico. São utilizadas em ambientes internos ou externos, para a atenuação de ruídos de diversas origens, como exemplo, tráfego rodoviário, máquinas industriais, máquinas de construção, etc. A barreira, situada entre a fonte e um receptor, torna-se uma resistência à propagação das ondas sonoras e, portanto, ao ruído [KURZE, 1974]. Há grandes evidências de que o impedimento visual da fonte sonora pela barreira, causa consideráveis efeitos psicológicos, resultando em uma sensação, nem sempre verdadeira, de redução de ruído.

Muitas têm sido as pesquisas sobre a diminuição do ruído por barreiras. Entre os primeiros pesquisadores está Maekawa (MAEKAWA, 1968), cuja pesquisa foi baseada na teoria da difração de Kirchhoff-Fresnel e, como resultado, apresentou um gráfico da atenuação em função do número de Fresnel, obtido empiricamente. Há autores que elogiam o método, como sendo bastante simplificado (LAM, 1994) e há autores que o criticam por não levar em consideração a interferência que ocorre entre a onda incidente e as ondas refletidas pelo solo (NICOLAS, 1983); há ainda outros, que o julgam

de difícil aplicação na prática (RATHE, 1969). Após Maekawa, Kurze e Anderson (KURZE, 1971) apresentaram suas pesquisas estendendo o modelo de fonte pontual, utilizada por Maekawa, para fonte linear. Depois desses pesquisadores, outros surgiram apresentando diversas teorias para o estudo da atenuação do ruído, pelas barreiras. Entre eles, pode-se citar Embleton *et al* (EMBLETON, 1980), que apresentou um método utilizando a teoria de integral de linha, e Duhamel e Sergent (DUHAMEL, 1998), que utilizaram o Método de Elementos Finitos.

Sobre a eficiência da barreira na redução do ruído, a literatura apresenta estudos que se estendem para além da geometria da barreira e distâncias da fonte à barreira, receptor à barreira e fonte ao receptor. Harris, por exemplo, menciona a influência das condições atmosféricas, na eficiência da barreira (HARRIS, 1966). Segundo Harris, a absorção do som no ar é uma função da umidade relativa, da temperatura e da frequência. Zucherwar e Meredith (ZUCHERWAR, 1985), especificaram a pesquisa para as baixas frequências, já que a absorção do som no ar é maior quanto maior for a frequência. O piso que está nas proximidades da barreira, também foi muito pesquisado. Isei *et al*, fez um estudo sobre redução de ruído por barreiras sobre solo com impedância finita, apresentando resultados de cálculos de cinco teorias (ISEI, 1980). Beranek e Vér (BERANEK, 1992) também apresentam uma vasta teoria sobre a influência do solo na eficiência da barreira.

Na literatura há poucos estudos sobre a influência do material nas barreiras. Alguns trabalhos relatam o estudo de barreiras de vegetação. Apenas, Aylor (AYLOR, 1976) apresentou resultados da comparação de diferentes tipos de barreiras percebidas pelo receptor. Em outro trabalho, Aylor foi mais específico no estudo do solo e da vegetação (AYLOR, 1971). Nos trabalhos apresentados por Gerges (GERGES, 2000) e Magrab (MAGRAB, 1975), os autores não mencionam propriamente, o material a ser utilizado na composição da barreira mas, falam em densidades mínimas para uma eficiência relativa da barreira.

2. FATORES QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA DAS BARRERIAS ACÚSTICAS

Os aspectos objetivos envolvem os resultados das medidas físicas, como perda por inserção, reflexão, absorção, difração. Porém, para a realização dessas medidas, muitos fatores precisam ser levados em consideração.

2.1 Fatores ambientais

São diversos os fatores externos que influenciam o desempenho da barreira. Entre eles estão o efeito do vento, temperatura, tipo de solo que está sob a barreira, absorção do ar. Para minimizar esses efeitos, a fonte sonora deve estar suficientemente próxima da barreira.

Os efeitos provocados pelo vento e pelo gradiente de temperatura, sobre a propagação sonora são muito similares e geralmente são dependentes entre si. O vento provoca uma distorção da frente de onda, devido à velocidade e direção. O atrito entre o ar em movimento e o solo resulta em um decréscimo na velocidade próximo ao nível do solo, causando uma distorção na frente de onda. As ondas sonoras que estão na mesma direção do vento, são refratadas em direção ao solo porém, o sinal sonoro recebido não é afetado. Já as ondas sonoras que estão em sentido contrário ao do vento, são refratadas para longe do solo provocando o surgimento de sombra acústica. O sinal sonoro recebido é, portanto, reduzido e essa redução pode chegar a 25 dB [SCHOLLES, 1971].

A influência da temperatura, além de estar na velocidade do som no ar, está também no surgimento de sombras acústicas, isto porque, o gradiente de temperatura causa deformação na frente de onda, por causar uma diminuição na velocidade do ar. Com isso, as ondas sonoras sofrem a refração, com desvios para cima do solo e, portanto, surgem as zonas de sombra, simétricas em relação à fonte.

O tipo de solo que está sob e nas proximidades da barreira também provoca alteração no sinal sonoro que chega ao receptor. Superfícies rígidas como concreto, aparentemente não têm propriedades de absorção. Um solo coberto com grama, por exemplo, absorve mais do que um solo coberto com

cimento. Há pesquisadores que afirmam que o efeito do solo sobre o desempenho da barreira é maior que outros fatores, como por exemplo, as propriedades absorvedoras da barreira. (ISEI, 1980).

A absorção do som pelo ar é causada, geralmente, pela dissipação de energia no processo de relaxamento vibracional das moléculas de oxigênio e nitrogênio, e varia proporcionalmente com a frequência e a temperatura, e inversamente com a umidade relativa. A absorção do som no ar, também pode ser causada pela combinação dos efeitos de viscosidade e condução de calor. Essa é a chamada absorção clássica do ar e, que à temperatura de 20 °C, é dada por:

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-10} f^2 \quad (\text{dB/m}) \quad (1)$$

onde, α = coeficiente de absorção e f é a frequência da onda sonora. (GERGES, 2000).

Em altas frequências a absorção ocorre de maneira mais significativa, porém, seu valor é pequeno quando comparado com os outros mecanismos de atenuação.

2.2. Aspectos físicos das barreiras acústicas

O controle de ruído por barreiras tem se tornado uma medida comum de proteção ambiental. Na Europa, por exemplo, há inúmeros exemplos de barreiras acústicas colocadas ao longo de rodovias. No Brasil, temos o exemplo da barreira colocada no km 14 da Rodovia dos Bandeirantes, na entrada de São Paulo. Colocada entre a fonte sonora e os receptores, a barreira acústica impede a livre propagação do som, levando a um decaimento sonoro bem mais intenso do que ocorreria em condições naturais; visto que as ondas sonoras se propagam em linha reta, sofrendo um decaimento em função da distância. A onda sonora, ao atingir a barreira, tem parte de sua energia refletida, parte transmitida e parte difratada. A difração ocorre nas bordas da barreira. Em ambientes abertos, a energia da onda sonora incidente é reduzida pela barreira pela absorção e reflexão do material que constitui a barreira e por espalhamento e refração na atmosfera.

A teoria da difração foi desenvolvida, primeiramente, na óptica e, mais tarde, aplicada a todos os fenômenos ondulatórios, incluindo a acústica. A difração é um dos problemas mais difíceis em óptica e sua solução rigorosa, é complexa. Para a maioria dos casos práticos de controle de ruído, o problema da difração deve ser tratado por um método simplificado de aproximação. Dentre o grande número de métodos sugeridos para o cálculo da atenuação da barreira, apresentados na literatura, a curva empírica de Maekawa permanece a mais simples (LAM, 1994). Segundo Maekawa (MAEKAWA, 1968; MAEKAWA, 1987), a atenuação do ruído devido a difração depende das dimensões da barreira e dos agentes emissores e receptores do ruído. A altura e a posição da barreira também são importantes para o estudo da difração. O grau de difração dependerá da natureza da onda e da frequência. As baixas frequências se espalham em um ângulo maior do que as altas frequências (BERG, 1995).

As barreiras podem ser de diferentes tipos: concreto, vegetação, madeira, materiais transparentes, materiais metálicos, etc. As formas das barreiras também podem ser bastante diversificadas, seja para realçar a parte estética ou para melhorar o seu desempenho. Porém, devem ser eficientes para proteger o receptor da porção predominante da energia sonora radiada da fonte. Ao mesmo tempo, deve ter aparência agradável, estabilidade estrutural e baixo custo. Faz parte deste trabalho o estudo de barreiras de concreto, acrílico e madeira.

Uma barreira com densidade mínima de 10 kg/m², entre a fonte e o receptor, pode causar uma apreciável redução no ruído, porque o som, segundo Magrab, alcançará o receptor somente por difração (MAGRAB, 1975).

O concreto é o material mais comum para a confecção de barreiras acústicas. A espessura varia entre 9 e 20 cm e a densidade superficial está entre 400 e 800 kg/m² (DAIGLE, 1998). Por ser material denso, espera-se um bom desempenho.

O acrílico também é um material utilizado em ambientes internos, como por exemplo, em estúdios de gravação. Em ambientes externos, a utilização de materiais transparentes em barreiras, visualmente menos agressivos, pode ocorrer quando se tratar de uma área residencial e/ou comercial, ou próximo de uma área com um fluxo de pedestre intenso. Pode-se, inclusive, utilizar materiais reciclados. A espessura varia entre 5 e 8 mm e a densidade superficial está entre 10 e 20 kg/m² (DAIGLE, 1998). Por ser transparente e, portanto, permitir ao receptor visualizar a fonte sonora, neste trabalho foi proposto o estudo de seu desempenho como barreira e a influência da sua transparência sobre sensação auditiva do júri.

A madeira é um material muito utilizado em ambientes internos por ser um material absorvente. Neste trabalho o objetivo é estudar o comportamento desse material como barreira acústica, em ambiente externo. A densidade superficial da madeira está entre 200 e 400 kg/m² (MANO, 1991).

Há ainda, barreiras constituídas por plantações de árvores ou outro tipo de vegetação, que pode fornecer alguma atenuação devido à absorção e dispersão, a menos que haja uma grande quantidade de árvores com poucas e/ou pequenas folhas e com troncos de espessuras finas. Uma pequena muda, por exemplo, não tem muito a oferecer como atenuador. No entanto, plantações de árvores são ainda absorvedoras e contribuem para o ambiente, visual e psicologicamente. As folhas produzem efeito de mascaramento do ruído, devido ao vento. Há autores, como Maekawa (MAEKAWA, 1994), que consideram as árvores e arbustos como importantes elementos para o controle de ruído. As barreiras de vegetais e árvores têm sido freqüentemente mencionados como meio natural de redução de ruído externo porém, há autores, como Donald Aylor (AYLOR, 1972) que discutem a eficiência e praticidade das barreiras de vegetais, envolvendo quantidade e qualidade da redução do ruído.

A combinação entre vários materiais para a confecção de barreiras é uma prática bastante comum. A melhoria na estética pode ser um objetivo, como também a melhoria na eficiência da barreira, isto se obtém acrescentando materiais absorventes em barreiras reflexivas.

Na prática, o grau de eficiência de uma barreira vai derivar da composição dos efeitos mencionados: transmissão sonora, difração, reflexão e absorção. O adequado dimensionamento de uma barreira considera estes efeitos separadamente. Porém, o objetivo final será sempre a busca pelo conforto acústico que se quer alcançar, seja em um ambiente fechado (edificação) ou em ambiente aberto, como ruas, parques, etc.

A literatura não indica a influência do material na eficiência da barreira acústica. É o que pretende-se verificar com este trabalho, já que intuitivamente, a eficiência de uma barreira de um determinado material deve ser diferente da eficiência de outra barreira constituída por outro material.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização da experiência, foram colocadas em uma circunferência de raio 4,4m, os três tipos de barreiras mencionados e um espaço, representando “sem barreira”. As barreiras tinham a altura de 1,5m e a largura de 3,7m. As barreiras de concreto e acrílico não possuíam orifícios. Já a barreira de madeira era composta por ripas de 5cm e com espaço, de igual largura, entre elas. No ponto central da circunferência, foram colocados os equipamentos para as medições objetivas. Para a obtenção dos dados subjetivos, um júri, composto por um grupo de indivíduos de ambos os sexos e mesma faixa etária, esteve posicionado, um a um, também no centro da circunferência. A figura 3 mostra o esquema da montagem experimental.

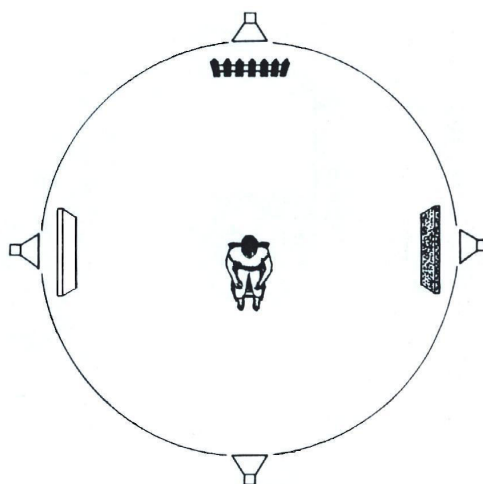


Figura 1: Esquema da montagem experimental. Em sentido horário, temos: sem barreira, acrílico, madeira e concreto. (FONTE: modificado de AYLOR, 1976).

4. DESEMPENHO DAS BARREIRAS

4.1 Avaliação Objetiva

O nível de pressão sonora foi medido, no centro da circunferência, a uma altura de 1,4m, antes e depois da colocação das barreiras. O equipamento de medição utilizado foi o *Mediator BK 2238* com software de análise de frequência *BZ 7123* e como gerador de ruído branco, *Investigator 2260*. Ambos da Brüel & Kjaer.

O cálculo do desempenho das barreiras, seguiu o a norma ISO 10847, de Agosto de 1997. Essa norma especifica dois métodos para a determinação da perda por inserção de barreiras: método direto e método indireto. O método direto, refere-se às medidas de nível de pressão sonora “antes” e “depois” da colocação das barreiras. Quanto ao método indireto, é aplicado em locais onde não há a possibilidade de realizar as medidas do nível de pressão sonora antes da colocação das barreiras e não se pode remover as barreiras para realizar as medidas. Nesse caso, utilizam-se as medidas de um local semelhante para poder fazer a comparação do “antes” com o “depois”. Neste trabalho, foi utilizado o método direto.

A perda por inserção de uma barreira, D_{IL} , é definida como a diferença no nível de pressão sonora antes (L_p antes) e depois (L_p depois) que a barreira é construída [DAIGLE, 1999]. E é dada por:

$$(2) \quad D_{IL} = L_p \text{ antes} - L_p \text{ depois}$$

4.2 Avaliação subjetiva

O júri ajudou na verificação da eficiência da barreira, sob o ponto de vista subjetivo, onde foi extremamente importante a sua opinião.

Um indivíduo de cada vez, foi posicionado no centro da circunferência, como está representado na figura 1. O indivíduo recebeu uma planilha com as alternativas *muito menor* (-3), *menor* (-2), *pouco menor* (-1), *igual* (0), *pouco maior* (1), *maior* (2) e *muito maior* (3). Foi instruído a olhar para um ponto sem barreira (referência) e esperar pelo estímulo. Uma outra fonte, posicionada atrás de uma barreira emitiu o ruído e o indivíduo fez a sua avaliação em relação à referência, isto é, se a sensação

recebida dá um idéia de superior ou inferior em relação à anterior, por exemplo. O nível de pressão sonora variou entre 60 e 100 dB, com intervalos de 10 dB. A duração de cada estímulo foi de doze segundos. Esse foi o tempo necessário para que o *Mediator* apresentasse o espectro sonoro do ruído emitido. O estímulo consistiu em diferentes valores de nível de pressão sonora para cada uma das 4 condições de barreiras.

5. RESULTADOS

O cálculo do desempenho das barreiras acústicas, isto é, da perda por inserção, seguiu a norma ISO 10847, de Agosto de 1997, como foi citado no item 4.1. Na figura 2 está representado o resumo comparativo do desempenho das três barreiras.

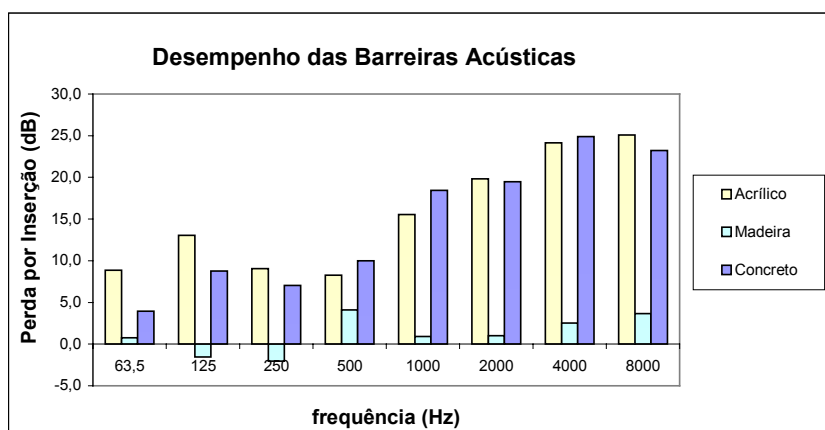


Figura 2: Desempenho das barreiras Acústicas. Perda por inserção em função da frequência.

Pode-se verificar, portanto, que as barreiras de concreto e acrílico apresentaram melhor desempenho, isto é, maior perda por inserção. A barreira de acrílico apresentou um desempenho inesperado. Apesar de ser maciça, é uma barreira fina e sua eficiência pode ser comparada com a barreira de concreto que é mais grossa e densa. A menor diferença entre essas duas barreiras ficou na frequência de 2000 Hz. Essa diferença é imperceptível ao ouvido humano, pois é de 0,3 dB. A maior diferença ficou na menor frequência, onde o acrílico superou em 4,9 dB a barreira de concreto. Nas frequências mais baixas, isto é, inferiores a 250 Hz, o desempenho da barreira de acrílico superou significativamente, o desempenho da barreira de concreto. Entre 500 e 1000 Hz, ocorreu o inverso. Entre 2000 e 4000 Hz, houve uma diferença pequena entre as duas barreiras. Já para 8000 Hz, novamente a barreira de acrílico supera a barreira de concreto. Pode-se confirmar, então, que barreiras com densidade pequena, também podem desempenhar-se muito bem no papel de atenuadoras de ruído. Este gráfico, também demonstra, a ineficiência da barreira de madeira como atenuadora de ruído, para todas as frequências.

Quanto à avaliação subjetiva, o júri considerou que a barreira de madeira lhe dá a mesma sensação auditiva em relação à referência, isto é, “sem barreira”. As barreiras de concreto e acrílico transmitiram sensações muito próximas, uma da outra. A diferença entre uma e outra ocorreu nos níveis de pressão sonora de 60 e 90 dB, em que o acrílico transmitiu a sensação “muito menor” em relação à referência e o concreto transmitiu apenas “menor”, conforme mostra a figura 3. Segundo o júri, as barreiras de concreto e acrílico apresentaram o melhor desempenho e a de menor desempenho é a barreira de madeira.

O impedimento visual da fonte sonora pela barreira, causa consideráveis efeitos psicológicos, resultando em uma sensação nem sempre verdadeira em relação ao ruído. Na avaliação subjetiva, verificou-se que a barreira que bloqueava completamente a fonte sonora, (barreira de concreto), foi considerada eficiente na atenuação do ruído, da mesma forma que a barreira de acrílico, que é transparente e, portanto, não bloqueava a visão da fonte sonora. A barreira de madeira, que bloqueava parcialmente, foi considerada ineficiente. Podemos concluir então, que a barreira de concreto pelo fato de ser densa e opaca, contribuiu para o resultado obtido. Quanto à barreira de acrílico, apesar de transparente, é maciça, e isso contribuiu para chegar à conclusão de que é boa atenuadora. Já a barreira

de madeira, por possuir os espaços entre as ripas, causou a sensação de “fragilidade” perante o ruído e, portanto, contribuiu para a conclusão de que é má atenuadora.

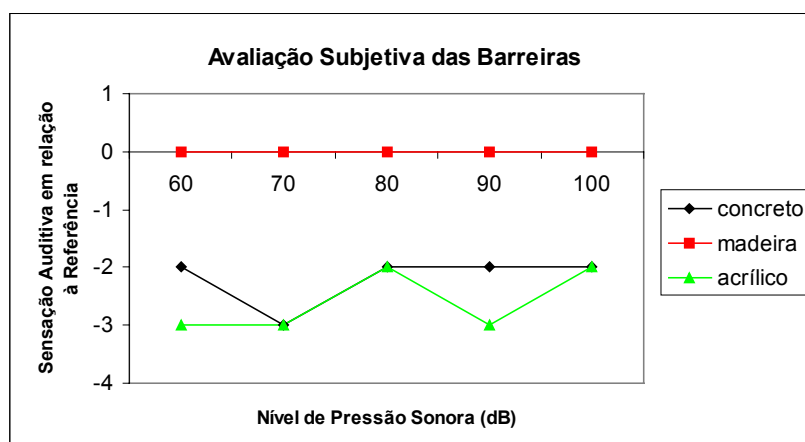


Figura 3: Gráfico da Sensação auditiva em relação ao nível de pressão sonora.

6. CONCLUSÃO

Pelas medidas realizadas e os resultados obtidos, conclui-se que as barreiras de concreto e acrílico possuem desempenhos muito próximos. A variação no desempenho das duas barreiras pode ser maior ou menor conforme a frequência. A barreira de madeira possui uma eficiência muito baixa. Em algumas frequências, a atenuação é praticamente nula. Isso se deve, principalmente, aos orifícios dessa barreira. Se fosse uma barreira sem orifícios, o seu desempenho seria melhor. Pode-se concluir, então, que o material que constitui a barreira é importante para a avaliação do desempenho e a ausência de orifícios na barreira, aumenta a eficiência.

A avaliação subjetiva confirmou a avaliação objetiva, isto é, o júri considerou que a barreira de madeira passa a sensação sonora *igual* à da referência “sem barreira”, isto é, essa barreira é ineficiente como atenuadora de ruídos externos. As barreiras de concreto e acrílico lhes deram a sensação de reduzir o ruído, visto que a avaliação dessas barreiras variou entre *menor* e *muito menor* do que a referência “sem a barreira”. A obstrução da fonte sonora por barreira densa, contribui para a sensação de maior atenuação. Da mesma forma, a percepção de que a barreira é maciça, mesmo sendo transparente, também contribui para a sensação de atenuação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYLOR, Donald E., Noise reduction by vegetation and ground **J. Acoust. Soc. Am.**, EUA, v.51, n1 part 2, p.197-205, 1972.
- AYLOR, Donald, Perception of noise transmitted through barriers, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.59, no.2, p.397-400, fev. 1976.
- BERANEK, L. L., VÉR, I. L. **Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications**. New York: John Wiley and Sons, 1992.
- BERG, Richard E., STORK, David G. **The Physics of Sound**. 2ed. New Jersey : Prentice Hall. 1995.
- DAIGLE, Gilles A. Techincal Assessment of the Effectiveness of Noise Control, **Noise/News International**, v.6, no. 1, p.11-36, Mar. 1998.
- DUHAMEL, D., SERGENT, P., Sound propagation over noise barriers with absorbing ground, **J. Sound and Vib.**, v. 218, no. 5, p.799-823, 1998.
- EMBLETON, Tony F. W., Line integral theory of barrier attenuation in the presence of the ground, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.67, no.1, p.42-45, jan. 1980.

- GERGES, S. N. Y., **Ruído: Fundamentos e Controle**, Florianópolis: NR Ed., 2e., 2000.
- HARRIS, Cyril M., Absorption of sound in air versus humidity and temperature, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.40, no.1, p.148-159, fev. 1966.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10847 – **Acoustics – In – situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types**. 1997(E), 18p.
- ISEI, T. et al. Noise reduction by barrier on finite impedance ground, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.67, no.1, p.46-58, Jan. 1980.
- KURZE, U. J., ANDERSON, G. S. Sound attenuation by barrier **Applied Acoustics**, v.4, p.35-54, 1971.
- KURZE, Ulrich J., Noise reduction by barriers **J. Acoust. Soc. Am.**, EUA, v.55, n3, p.504-518, mar. 1974.
- LAM, Y. M., Using Maekawa's chart to calculate finite length barrier insertion loss, **Appl. Acoust.**, v. 42, no. 1, p.29-40, 1994.
- MAEKAWA, Z., Noise reduction by screens **Applied Acoustics**, v.1, p.157-173, 1968.
- MAEKAWA, Z., LORD, P. **Environmental and Architectural Acoustics**, Great Britain: ST. Edmundsbury Press, 1994.
- MAEKAWA, Z., Simple estimation methods for noise reduction by various barriers, **Rivista Italiana Di Acustica**, v.XI, no.3, p. 73 – 98, 1987.
- MAGRAB, Edward B. **Environmental Noise Control**. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- MANO, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**, São Paulo: Edgar Blücher, 1991.
- NICOLAS, J., EMBLETON, Tony F. W., PIERCY, J.E., Precise model measurements versus theoretical prediction of barrier insertion loss in presence of the ground, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.73, no.1, p.44-54, jan. 1983.
- RATHE, E. J., Note on two common problems of sound attenuation, **J. Sound and Vib.**, v. 10, no. 3, p.472-479, 1969.
- SCHOLES, W. E. et al. Field Performance of a Noise Barrier **J. Sound Vib.** v.16, p.627-642, 1971.
- ZUCHERWAR, Allan J., MEREDITH, Roger, W., Low-frequency absorption of sound in air, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.78, no.3, p.946-955, set. 1985.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro, para a realização deste trabalho.