



EFEITO DA ABSORÇÃO SONORA NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE BARREIRAS ACÚSTICAS PARALELAS

Cristina Y. K. Ikeda(1); Fulvio Vittorino (2); Ronaldo J. Pinto Jr (3)

(1) Mestre, Pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, cristinak@ipt.br

(2) PhD, Diretor do Centro Tecnológico do Ambiente Construído, fulviov@ipt.br

(3) Técnico do Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, ronaldoj@ipt.br
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, Av. Prof. Almeida Prado 532, Prédio 36, São Paulo – SP, 05508-900, Tel.: (11) 3767 4555

RESUMO

Barreiras acústicas paralelas usadas para proteger comunidades existentes nos dois lados de uma rodovia podem provocar o aumento do nível sonoro pela reflexão do som de uma barreira acústica sobre parte da comunidade localizada do lado oposto desta barreira. Motoristas e passageiros também ficam expostos a níveis de ruído maiores ao passarem por entre barreiras acústicas paralelas. O artigo tem como objetivo verificar o impacto da absorção sonora na altura da barreira acústica e no conforto de moradores e dos que trafegam por uma rodovia. Através do uso da simulação computacional foi determinado o nível de pressão sonora em forma de mapas de isônicas para cada modificação da absorção sonora o que permitiu a comparação com o desempenho de barreiras acústicas refletoras de maior altura. Os resultados indicaram que barreiras com maior absorção sonora possuem melhores níveis de desempenho acústico em comparação com barreiras refletoras de mesma altura. Entretanto, acima de certo valor de absorção, os ganhos quanto à diminuição de nível de ruído não são tão significativos.

Palavras-chave: simulação acústica, barreiras acústicas, absorção sonora.

ABSTRACT

Parallel noise barriers used to protect existing communities on both sides of a highway may cause an increase in noise level by the reflection of sound from an acoustic barrier on the community located on the opposite side of this barrier. Drivers and passengers are also exposed to higher noise levels when passing by parallel noise barriers. The article aims to determine the impact of sound absorption in the acoustic barrier height and the comfort of dwellers, and people driving in a highway. Through the use of computer simulation, the sound pressure level was determined in the form of sound contour maps for each modification of the sound absorption which allowed comparison with the performance of reflective noise barriers of greater height. The results indicated that more sound absorptive barriers have better acoustic performance levels compared with reflective barriers of the same height. However, above a certain amount of absorption, gains on reduction of noise level are not as significant.

Keywords: acoustic simulation, noise barriers, sound absorption

1. INTRODUÇÃO

Apesar da importância das rodovias como instrumento de desenvolvimento, as preocupações com os impactos ambientais causados pelas mesmas e a incorporação desta variável nos projetos rodoviários só ocorreram no final da década de 1970 nos países desenvolvidos e início da década de 1990 nos países da América Latina em geral e, em específico no Brasil e Estado de São Paulo (Way, 1977; Gil, 1992) com exceção do túnel “acústico” Rafael Mascarenhas na cidade do Rio de Janeiro inaugurado em 1971, com extensão da ordem de 500 m. Segundo Reis (1996), até o final da década de 1970 a única preocupação com a questão ambiental dos órgãos estaduais de São Paulo, responsáveis pelas rodovias, se resumia ao paisagismo e à recuperação da vegetação dos taludes.

Estudos feitos sobre a mitigação do ruído em rodovias por Tarrío (1992), Balbo (1996), Murgel (1999), Porto (1999) e Romanini (2000) apontaram que se podem obter reduções significativas de ruído por meio da modernização da frota; empregando-se pavimentos asfálticos poroso, de maior absorção sonora; limitando a velocidade máxima para os veículos; implantando-se barreiras acústicas; melhorando-se a isolamento sonora da fachada da edificação dos receptores, por exemplo, pela instalação de janelas de vidro duplo ou outros artifícios arquitetônicos; etc. Além disso, a FHWA (*online-a*) indica que outra forma de se atenuar o ruído é fazer com que, nas áreas urbanas, o tráfego passe pelo subsolo, solução conhecida como “*cut and cover*”, que, apesar da grande efetividade, tem custo elevado de implantação, principalmente em centros urbanos consolidados, nos quais a infraestrutura de serviços públicos/privados já foi enterrada.

No caso das barreiras acústicas, as comumente encontradas são compostas de concreto. Entretanto, estas barreiras são refletoras e, dependendo da situação, podem atingir grandes alturas, o que acarreta em maiores reforços estruturais e impacto visual. O uso de barreiras absorventes pode vir a diminuir a sua altura em relação a uma barreira refletora. Segundo Watts e Godfrey (1999), estudos de modelos de previsão de ruído de tráfego anteriores indicaram que materiais absorventes podem reduzir os níveis de ruído substancialmente especialmente quando as barreiras são colocadas em ambos os lados da rodovia e existe possibilidade de reflexões múltiplas entre as faces paralelas das barreiras.

No caso de barreiras paralelas reflexivas, conforme a FHWA (*online-b*), o som refletido entre elas pode causar diminuição do desempenho de cada barreira devido às várias reflexões que difratam sobre cada barreira. Entre as formas de se aumentar a eficiência de barreiras acústicas paralelas pode-se aplicar material de absorção sonora em um ou nos dois lados da barreira ou inclinar um ou ambos os lados da barreira para fora da rodovia.

A absorção sonora em barreiras acústicas é caracterizada pelo índice “ $DL\alpha$ ”, que é um número único de avaliação do desempenho de absorção sonora, normalmente usado em avaliações sonoras em rodovias. Este índice expressa diferença de níveis de pressão sonora, em dB(A), calculado pela Equação 1, conforme a norma BS EN 1793-1: *Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Intrinsic characteristics of sound absorption* (BSI, 2012), sendo que $DL\alpha$ mais baixos caracterizam materiais menos fonoabsorventes. O índice correspondente à redução global som refletido em campo, levando em conta um espectro de emissão típico para ruído do tráfego rodoviário, em comparação a uma barreira perfeitamente refletiva, do mesmo tamanho.

$$DL\alpha = -10 \log \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{0,1Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}} \right|$$

Equação 1

Onde:

- i = índice do somatório que designa a banda de terço de oitava em consideração;
- α_{Si} = coeficiente de absorção sonora na i -ésima banda de terço de oitava; e
- Li = nível de pressão sonora de ruído de tráfego normalizado, conforme a Tabela 1 da norma BS EN 1793-3: *Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Normalized traffic noise spectrum* (BSI, 1998), em dB(A), na i -ésima banda de terço de oitava.

Os valores de $DL\alpha$ considerados nas análises realizadas no presente trabalho foram: 0 (correspondente a

material muito refletivo), 4 (material refletivo), 8 (material absorvente) e 12 (material muito absorvente). Segundo Parker (2010), a norma BS EN 1793-1 permite classificar o desempenho de produtos usados para melhorar a absorção sonora da face das barreiras em categorias, sendo esses valores aqui adotados como os limites das citadas categorias, conforme apresentado na Tabela 1. Observa-se que, em alguns casos, como barreiras altas e túneis, pode ser necessária uma absorção sonora maior do que a produzida por materiais da categoria A4. Ressalta-se ainda, que esses valores de $DL\alpha$ podem ser conseguidos, com uma grande variedade de soluções, que vão desde concretos de baixa porosidade, passando por revestimentos texturizados com diversas granulometrias até soluções em painéis metálicos perfurados, preenchidos com lãs minerais.

Tabela 1 – Categorias de desempenho da absorção

| Categoria | $DL\alpha$ [dB(A)] |
|-----------|--------------------|
| A0 | Não determinado |
| A1 | $DL\alpha < 4$ |
| A2 | 4 a 7 |
| A3 | 8 a 11 |
| A4 | 12 a 15 |
| A5 | >15 |

Alguns elementos construtivos utilizados como absorvedores sonoros são classificados como:

- **Revestimentos:** materiais separadamente fabricados, aplicados na superfície de uma barreira acústica de concreto. Esses materiais são geralmente aplicados por motivos estéticos, embora possam ser aplicados para tornar a superfície absorvedora sonora como na Figura 1. A principal preocupação da utilização dos revestimentos está na sua durabilidade.
- **Sistemas com cavidades incorporando materiais absorventes:** o sistema mais comum deste tipo são caixas metálicas perfuradas contendo materiais fibrosos como na Figura 2.



Figura 1: Superfície absorvedora (FHWA, online)



Figura 2: Sistema com cavidade incorporando material absorvente (RUUKKI, online)

Quando os materiais absorventes são montados em superfícies rígidas sem espaço de ar, eles têm picos de absorção nas médias frequências, o que acaba melhorando o desempenho geral do material. Já quando os materiais absorventes não são diretamente aderidos às superfícies rígidas, utilizando-se de espaçadores para se deixar câmaras de ar entre eles, dependendo das dimensões dos espaços de ar, pode haver picos de ressonância de absorção nas baixas frequências (Behar e May, 1980).

2. OBJETIVO

O artigo tem como objetivo verificar o impacto da absorção sonora na altura da barreira acústica e no conforto de moradores e dos que trafegam por uma rodovia.

3. MÉTODO

Para analisar o efeito da absorção sonora da face das barreiras, foram realizadas simulações da propagação do ruído gerado pelo tráfego de veículos em um trecho reto de rodovia situada em terreno plano. Utilizando-se o programa *SoundPlan*, foi determinado o nível de pressão sonora em forma de mapas de isônicas, cortes ao longo da altura e em receptores críticos situados na fachada de residências de comunidades em áreas lindeiras à rodovia.

Os valores da porcentagem de veículos por hora foram inseridos no software *SoundPlan* para a simulação dos níveis de ruído diurno e noturno nos receptores. O software calcula o nível equivalente diurno (L_d) a partir da média logarítmica dos níveis de ruído do período diurno conforme a Eq. (2), ou seja, os valores compreendidos em cada uma das 15 horas do intervalo entre as 7h às 22h, conforme indicado na NBR 10151: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000).

$$L_d = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{15} \left[\sum_{j=1}^{15} 10^{\frac{L_{eqj}}{10}} \right] \right\} \quad \text{Equação 2}$$

O modelo de pista/tráfego construído para as simulações foi validado, comparando-se os dados simulados pelo software *Soundplan* com os valores medidos em campo (IPT, 2006). Por não haver norma brasileira para a emissão do ruído de tráfego rodoviário, foi utilizada, inicialmente, como referência, a regulamentação do Ministério de transportes da Alemanha, RLS 90: *Richtlinien für den Larmschutz na Strassen* (BMVBS, 1990) por já ter tido seu modelo ajustado às condições de tráfego em rodovias no entorno da região metropolitana da cidade de São Paulo. As diferenças entre os valores de nível de pressão sonora medidos em três receptores de referência e os valores calculados variaram de zero a, no máximo, 2 dB(A).

- a) Os dados de entrada adotados foram:
 - Um quilômetro de rodovia em terreno plano visando gerar um modelo geométrico representativo dessas condições de tráfego no entorno da região metropolitana da cidade de São Paulo, em que se evidencie o efeito das barreiras e se minimize o impacto de topografias acidentadas; Residências a, aproximadamente, 65 metros, lado de cima da margem da rodovia e 250 metros, lado de baixo da margem da rodovia;
 - Barreiras acústicas paralelas com 700 metros de extensão a, aproximadamente, 1 metro da margem da rodovia com altura variando de 4,5 a 9 metros.
 - Fluxo de veículos = 80 000/dia;
 - Rodovia com 4 faixas, considerando a fonte alinhada ao eixo da rodovia;
 - Porcentagem de veículos pesados = 28,6%;
 - Velocidade = 100 km/h veículos leves, 80 km/h veículos pesados.
- b) Cálculos da propagação de ruído: Foi adotada opção de cálculo que implementa os algoritmos da norma ISO 9613-2: *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation* (ISO, 1996) para o cálculo da atenuação do som ao ar livre durante a propagação, a fim de se prever os níveis de ruído ambiental a uma determinada distância de uma variedade de fontes. De acordo com esse método, o nível de pressão sonora L_p , em um dado ponto do espaço ou receptor, é uma dada por:

$$L_p = L_w + D - (A_{div} + A_{ar} + A_{barr} + A_{sol}) + L_{refl}, \quad \text{Equação 3,}$$

Onde:

- L_w = Nível de potência sonora de um trecho da pista, modelada como uma fonte pontual. O programa discretiza a rodovia como uma sequência de fontes pontuais e tem algoritmos que consideram, correções, em função da velocidade na pista, sua inclinação, rugosidade, etc, expresso em dB;
- D = índices de diretividade em dB, que no caso das rodovias, modela-se como uma fonte sonora apoiada em superfície refletora, expresso em dB;
- A_{div} = Atenuação devido à divergência geométrica, que considera o afastamento entre fonte e receptor, expresso em dB;
- A_{ar} = Atenuação devido à absorção atmosférica, considerando efeitos de temperatura e umidade, considerando modelos empíricos de cálculo expresso em dB;
- A_{barr} = Atenuação devido à presença de barreiras acústicas e outros elementos sólidos, utilizando a equação baseada no número de Fresnel, expresso em dB;
- A_{sol} = Atenuação devido à absorção sonora do solo, também, considerando modelos empíricos de cálculo, expresso em dB; e

- L_{refl} = Acréscimo de pressão sonora, devido à reflexão do som em superfícies. Para cada receptor, a modelagem de cada reflexão é feita considerando a existência de fontes sonoras “em espelho” a partir das fontes sonoras reais, expresso em dB.

A partir de cada frequência, o método prevê que o nível contínuo de pressão sonora equivalente ponderado, em A, seja calculado.

Uma limitação do software Soundplan, para ruídos rodoviários, é que ele não trabalha por faixas de frequência e sim faz o cálculo para uma frequência central de 500 Hz. Na Fig. 3, são apresentados os valores do Nível Sonoro Contínuo Equivalente do ruído, Leq , para cada faixa de terço de oitava de 100 a 10000 Hz, de medições realizadas em uma rodovia. Pode-se observar que 500 Hz é a frequência central na qual se tem um patamar de níveis de ruído mais altos para o espectro de ruído em rodovia.

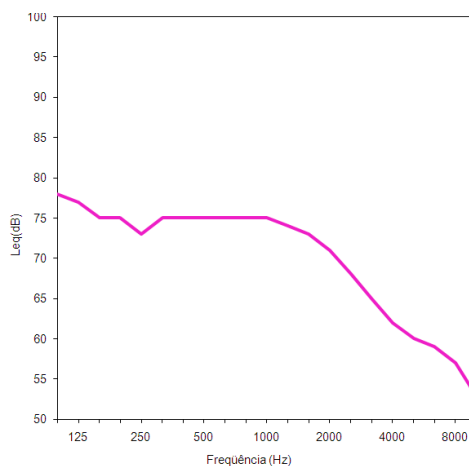


Figura 3: Níveis de ruído emitidos pelo tráfego em rodovia, medidos pelo IPT - Leq [dB re 20 μ Pa]

- Limites de ruído: Foram adotados os limites de ruído sobre a comunidade da norma brasileira NBR 10151 (ABNT, 2000). Para uma área estritamente residencial, o nível de ruído máximo permitido para o período diurno é 50 dB(A) e para o período noturno é 45 dB(A).
- Foram definidos vários pontos, chamados de receptores, que representam as diversas residências do local que estão expostas ao ruído da rodovia. Esses pontos foram posicionados a 1,5m acima do nível do solo, em posição correspondente ao centro da fachada dessas residências, distante a aproximadamente 1m dela. Por meio desses pontos receptores foi possível avaliar o impacto do ruído da rodovia sobre as residências.
- Foram definidos, ainda vinte receptores posicionados entre a face da barreira e o centro do canteiro central, para avaliar o impacto da absorção sonora sobre os motoristas e passageiros, quando estiverem trafegando no trecho entre barreiras acústicas.

Visando a mitigação do impacto do ruído da rodovia nas residências, foram desenvolvidas várias soluções, trabalhando-se com duas barreiras acústicas paralelas com diversas absorções.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir, são apresentados os resultados obtidos, garantindo-se, sempre, o atendimento do critério máximo de 50 dB(A) em todos os receptores.

Na Figura 4, pode-se verificar qual a altura mínima necessária para que as barreiras acústicas causem a atenuação necessária para que os receptores lindeiros à rodovia não estejam sujeitos a níveis de ruído superiores ao citado critério máximo de 50 dB(A). Quanto mais fono-absorvente for a barreira acústica, menor é a sua altura, ressaltando-se, contudo, que o efeito não é linear. Para o caso deste trecho de rodovia em terreno plano, verifica-se que a adoção de materiais com elevada absorção sonora $DL\alpha = 12$, permite a redução da altura da barreira de 6 m (necessária quando sua superfície era totalmente refletora) para apenas 4 m.

Nas Figuras 5 a 9, têm-se os mapas de ruído para a condição sem barreira (onde é possível ver o forte impacto sonoro sobre os receptores lindeiros) e a eliminação desse impacto, com o emprego das barreiras com alturas e absorções sonoras diferentes.

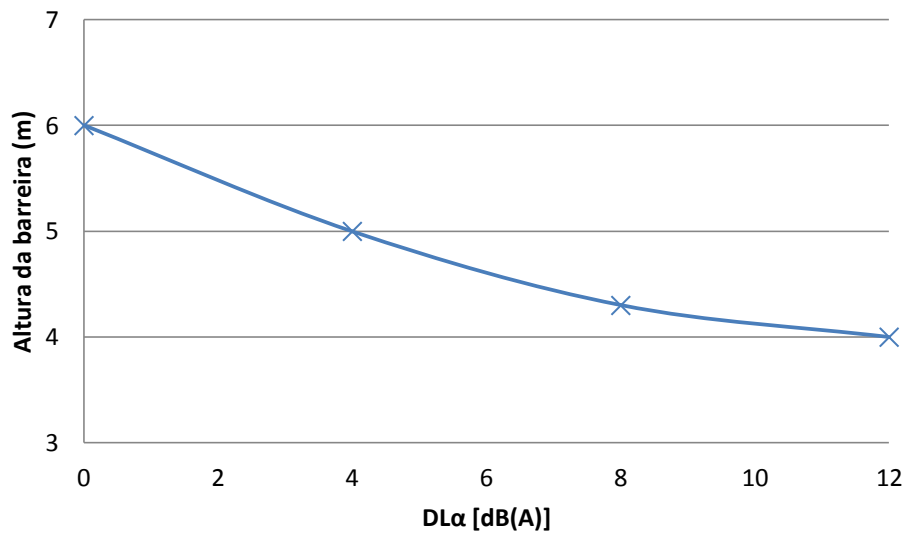
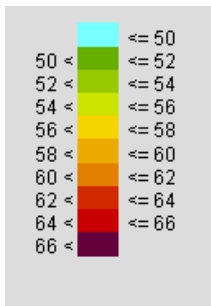


Figura 4: DLα x Altura da barreira acústica



Nível de ruído em dB(A).

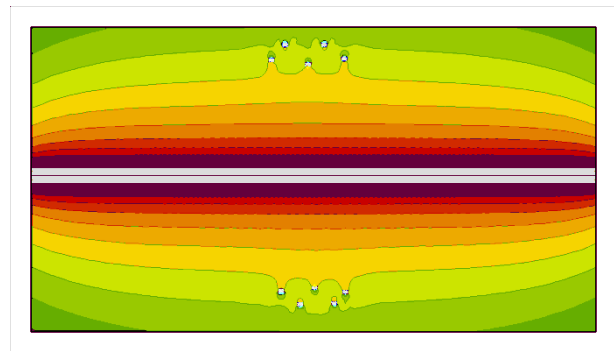


Figura 5: Mapa de ruído, na altura de 1,5m acima do solo, considerando VDM = 80.000, sem barreiras acústicas.

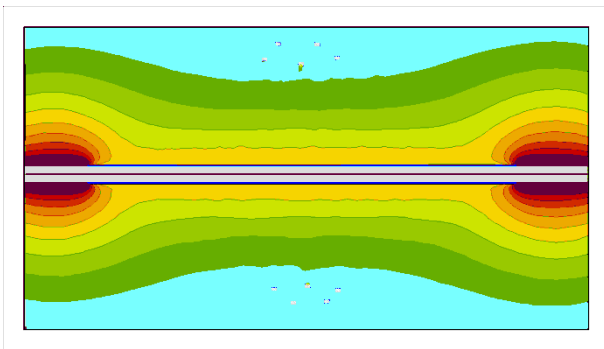


Figura 6: Mapa de ruído, na altura de 1,5m acima do solo, considerando VDM = 80000, DLα=0, altura da barreira de 6m.

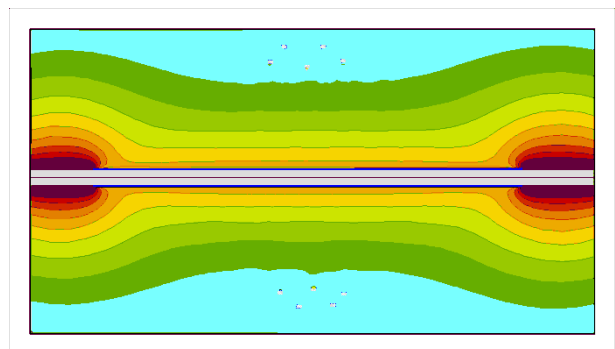


Figura 7: Mapa de ruído, na altura de 1,5m acima do solo, considerando VDM = 80000, DLα=4, altura da barreira de 5m.

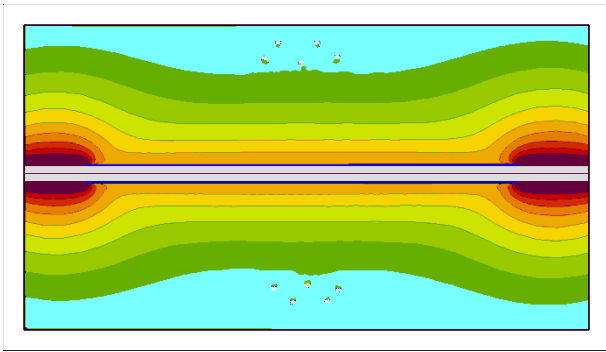


Figura 8: Mapa de ruído, na altura de 1,5m acima do solo, considerando VDM = 80000, $DL\alpha=8$, altura da barreira de 4,3m.

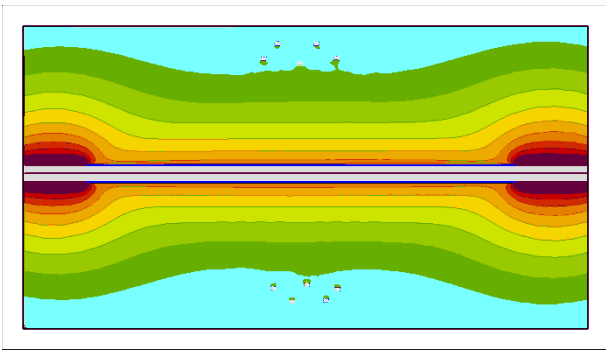


Figura 9: Mapa de ruído, na altura de 1,5m acima do solo, considerando VDM = 80000, $DL\alpha=12$, altura da barreira de 4m.

Na Figura 10 verifica-se que o nível de pressão sonora nos vintes receptores posicionados entre a face da barreira e o centro do canteiro central é pouco afetado pelo efeito conjunto absorção e altura da barreira. Isso se deve ao fato de que esses receptores estão contidos no interior da fonte sonora, sendo preponderante a componente direta do ruído sobre a contribuição gerada pelas reflexões.

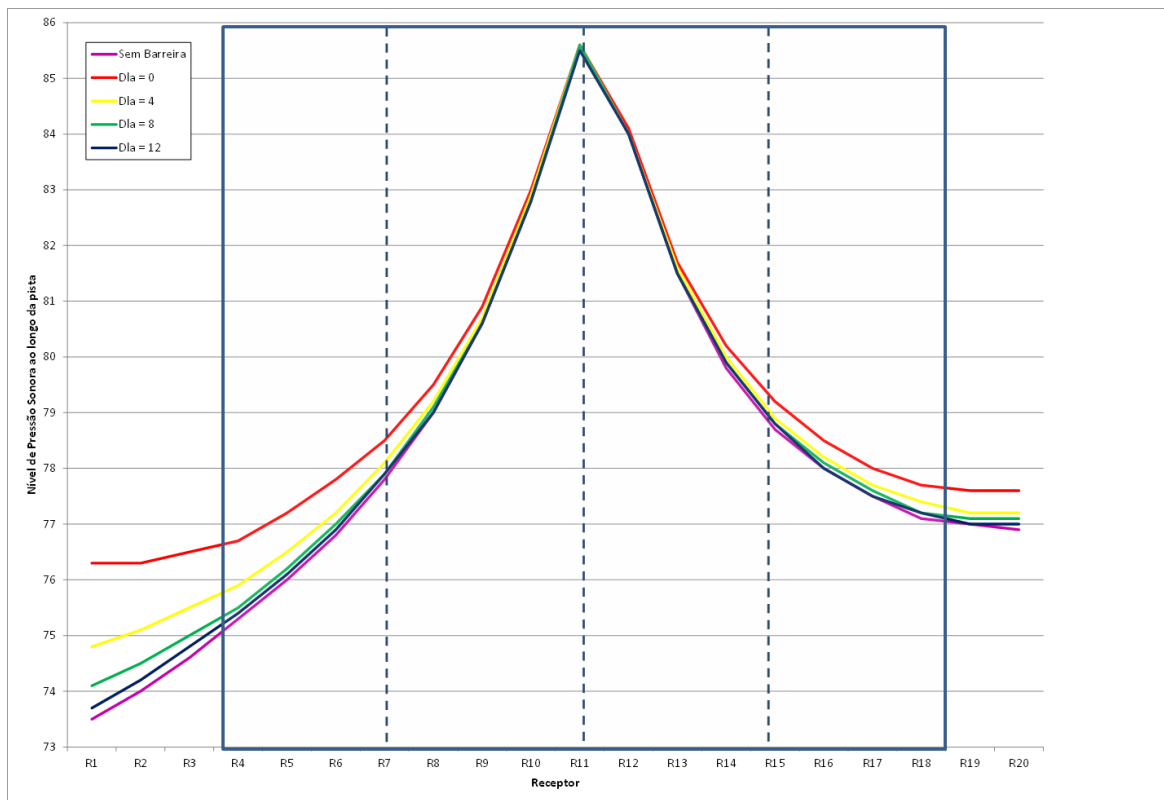


Figura 10: Nível de pressão sonora nos vintes receptores posicionados entre a face da barreira e o centro do canteiro central.

Nas Figuras 11 a 14, observa-se a distribuição do nível de ruído, em corte, ao longo de uma seção típica da pista, para as diversas alternativas de absorção sonora e altura de barreira, bem como o posicionamento dos receptores. Essas imagens detalham os resultados já verificados na figura 10.

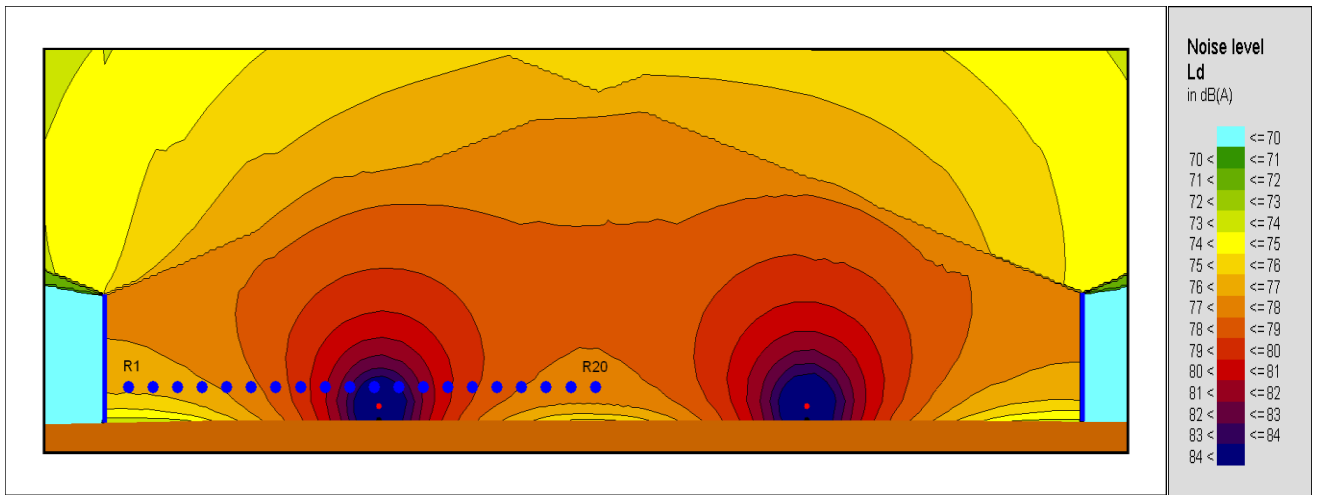


Figura 11: Corte considerando VDM = 80.000, altura de barreiras de 5 metros, $DL\alpha=0$

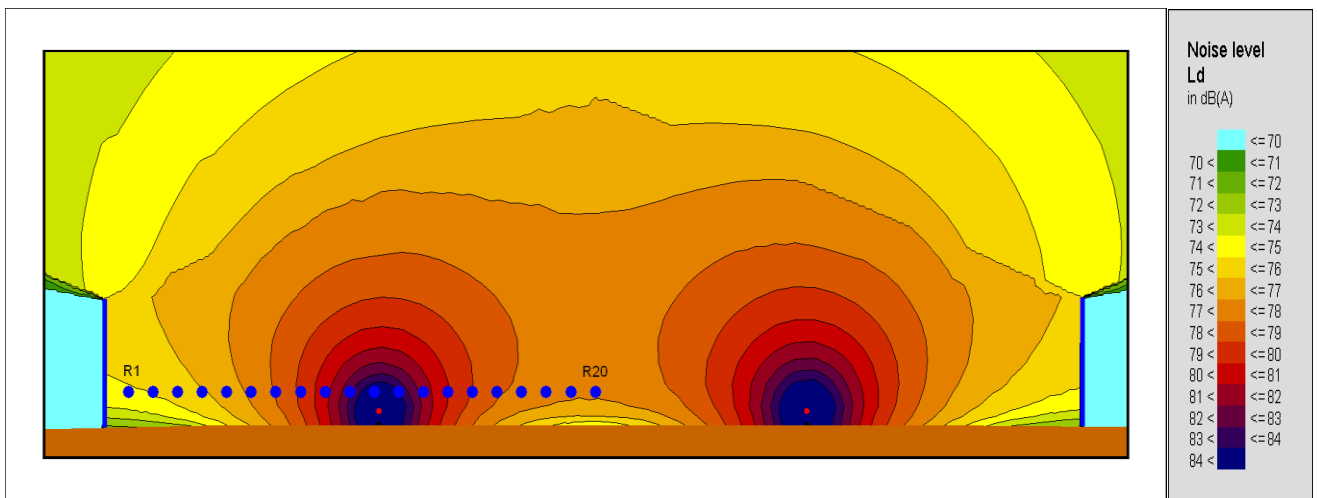


Figura 12: Corte considerando VDM = 80.000, altura de barreiras de 5 metros, $DL\alpha=4$

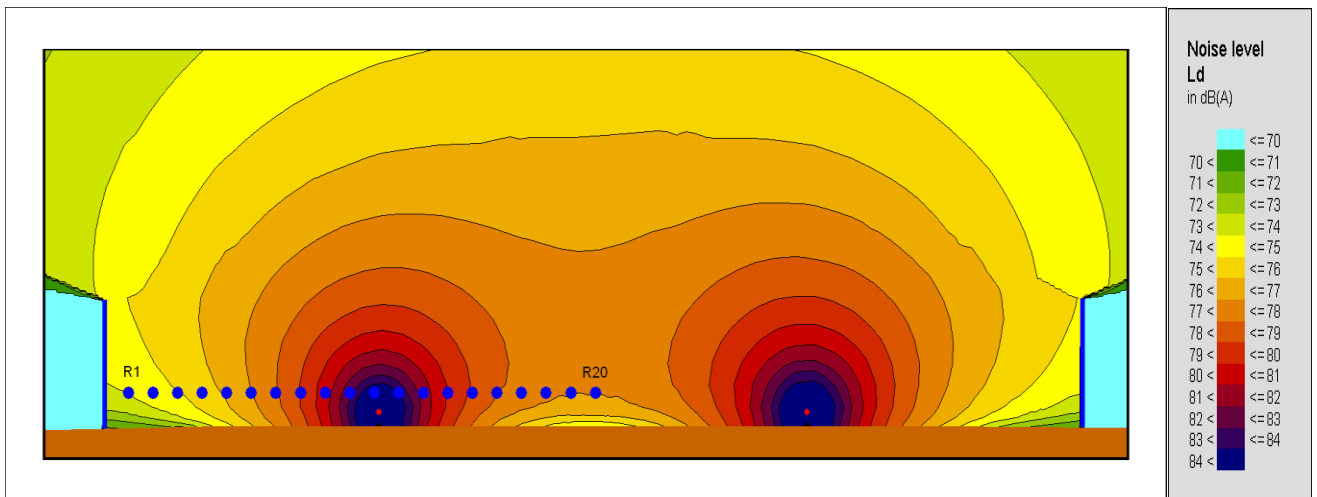


Figura 13: Corte considerando VDM = 80.000, altura de barreiras de 5 metros, $DL\alpha=8$

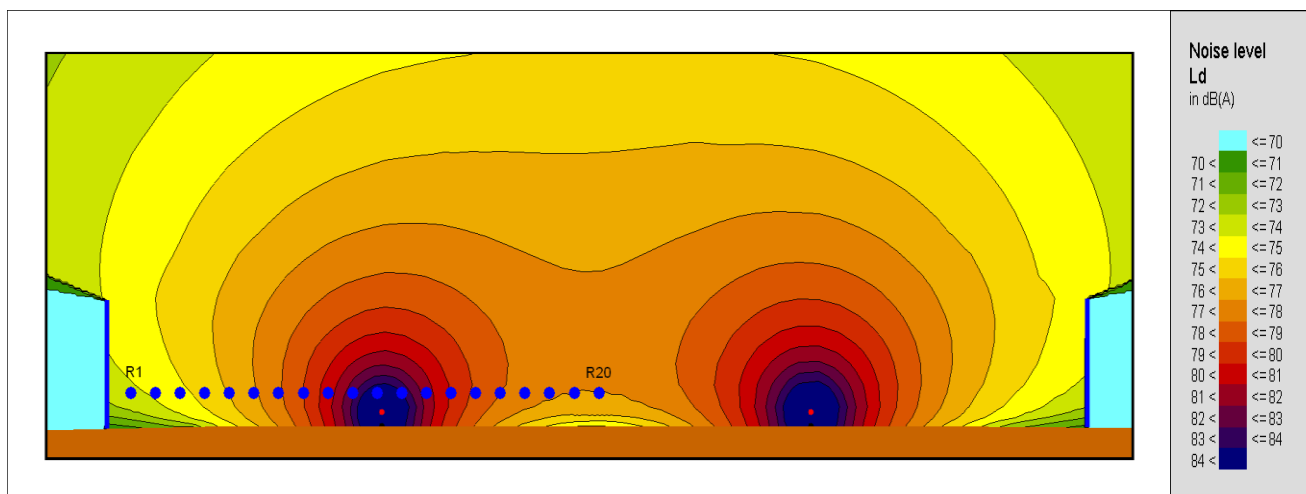


Figura 14: Corte considerando VDM = 80.000, altura de barreiras de 5 metros, $DL\alpha=12$

5. CONCLUSÕES

Quanto maior o valor do $DL\alpha$, menor é altura de barreira necessária para que o critério seja atendido. Entretanto, acima de um $DL\alpha=8$, os ganhos quanto à diminuição de altura da barreira existem, mas não são tão significativos para os receptores.

Para os passageiros e motoristas, praticamente, não há benefício em se adotar superfícies absorvedoras na face da barreira que está voltada para a pista.

Tendo em vista os resultados das simulações, as vantagens de se poder fazer o uso de barreiras com menor altura e com menor carga estrutural, tem como próximo passo o desenvolvimento de soluções de materiais e de técnicas construtivas de barreiras fono-absorventes que atendam a demanda específica de desempenho acústico com elevada durabilidade e que requeiram baixa manutenção a custos razoáveis.

Observa-se que, atualmente, entende-se que a questão da durabilidade está fortemente associada aos custos ao longo da vida útil do elemento, considerando não só o custo inicial de construção das barreiras, mas, também, o citado de manutenção. Na norma brasileira sobre barreiras acústicas, NBR 14313: Barreiras acústicas para vias de tráfego - Características construtivas (ABNT, 1999), não há especificações de vida útil de projeto mínima. Há algumas sugestões de vida útil para barreiras acústicas nas normas EN 14389-1: *Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Acoustical characteristics* (BS, 2007), e EN 14389-2: *Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Non-acoustical characteristics* (BS, 2004), porém elas são um pouco vagas sobre esse tema, deixando a decisão sempre a cargo do interessado. A primeira especificação mínima de vida útil de produtos para construção civil, mais consistente, está na recente norma brasileira NBR 15575 (Partes 1, 2 e 4): Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), que trata de desempenho de edificações, e que determina uma vida útil mínima de projeto de 50 anos para a estrutura de edifícios e de 40 anos para vedações verticais externas, mas sempre atrelada a programas de manutenção periódica, conceito que se aplica às barreiras acústicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. **NBR 14313**: Barreiras acústicas para vias de tráfego - Características construtivas. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho . Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais — Desempenho . Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho . Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- BALBO, J.T. 1996. **Rodovias e Meio-Ambiente**: Alternativas de Matéria Prima Físico-Ambiental. Série Ciências Ambientais, n° 24. IEA-USP. 13p.
- BEHAR, A.; MAY, D. N. Durability of sound absorbing materials for highway noise barriers. **Journal of Sound and Vibration**, v.71, p.33-54, 1980.
- BMVBS - DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen – **RLS 90**, 1990.
- BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 14389-1**: Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Acoustical characteristics. 2007.

- _____. **BS EN 14389-2**: Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Non-acoustical characteristics. 2004.
- _____. **BS EN 1793-1**: Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Intrinsic characteristics of sound absorption. 2012.
- _____. **BS EN 1793-3**: Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Normalized traffic noise spectrum. 1998.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Noise Barrier Design Handbook**. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: 14 abr. 2013 (b).
- _____. **Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels - Civil Elements**. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/pubs/nhi09010/01.cfm>>. Acesso em: 14 abr. 2013 (a).
- GIL, F.V.1992. Lãs Carreteras: Sus efectos sobre las águas. In: Simposio sobre carreteras y medio ambiente. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha. **Anais**.p.197-213.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – S.A. Dimensionamento das barreiras acústicas na região do Tamboré, no trecho oeste do rodoanel Mario Covas, São Paulo, 2006, Relatório Técnico Nº 89 591-205, acesso restrito.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613-2**: Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation.1996..
- MURGEL, E. 1999. Influência do uso de pavimento asfáltico poroso com polímero na emissão de ruído de tráfego. In: V SIBRAV – Simpósio de Acústica Veicular. SOBRAC. 6p.
- PARKER, G. 2010. Enhancements to noise barriers design standards for European highways. In: 20th International Congresso n Acoustics. Sydney, Australia. **Proceedings**.
- PORTO, H.G. 1999. **Pavimentos drenantes**. São Paulo, D&Z Construção Gráfica e Editora 105p.
- REIS,N.G. 1996. **Memória do Transporte Rodoviário** – desenvolvimento das atividades rodoviárias de São Paulo. São Paulo, Editora CPA Consultoria de projetos e Artes Ltda. 149p.
- ROMANINI, P.U. **Rodovias e meio ambiente**: principais impactos ambientais, incorporação da variável ambiental em projetos rodoviários e sistema de e gestão ambiental. 2000. 2 Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia Geral. São Paulo.
- RUUKKI. **Absorbing noise barrier cassette**. Disponível em: <<http://www.ruukki.com/Products-and-solutions/Infrastructure-solutions/Noise-barriers/Absorbing-noise-barrier-cassette>>
- TARRIO, F.R. 1992. Ruido. Medidas Correctoras: Experiencias. In: IIº Simposio sobre carreteras y medio ambiente. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha. **Anais**. P.97-109.
- WATTS, G.R.,GODFREY, N. S., Effects on roadside noise level of sound absorptive materials in noise barriers. **Applied Acoustics**, v.58, p.385-402, 1999.
- WAY, J.M.Roadside verges and conservation in Britain: Review. **Bio. Conser**. 12:65-74.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao IPT pelo apoio neste trabalho.