

# Linhas orientativas para o estabelecimento de programas de monitorização de infra-estruturas rodoviárias

Sónia Monteiro Antunes, Jorge Viçoso Patrício

Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
santunes@lnec.pt  
jpatricio@lnec.pt

## Resumo

Neste artigo apresentam-se um conjunto de orientações para o estabelecimento de programas de monitorização de ruído, em infra-estruturas rodoviárias, com o objectivo de caracterizar o nível sonoro médio de longa duração. No que respeita à avaliação da eficácia das medidas de minimização, designadamente pavimentos “pouco ruidosos” e barreiras acústicas propõe-se a integração nos Programas de Monitorização de um conjunto de procedimentos normativos, actualmente já publicados, e que permitem avaliar o desempenho acústico destes tipos de medidas de minimização de ruído logo após à sua instalação, e ao longo de todo o período de vida útil.

**Palavras-chave:** Monitorização do ruído

## Abstract

This paper sets out a set of guidelines for the establishment of noise monitoring programmes from road infrastructures, in order to characterize the long term sound level. This paper also proposes the integration of a set of standardized procedures in noise monitoring programs, already published, regarding the assessment of the noise effectiveness of mitigation measures, such as low noise pavements and noise barriers, after their construction, and throughout their lifetime.

**Keywords:** noise monitoring

## 1 Introdução

Um dos objectivos de um Programa de Monitorização é o acompanhamento da resposta do sistema ambiental aos efeitos produzidos pela implementação do projecto, com a finalidade de detectar um eventual não cumprimento dos limites estabelecidos na legislação ambiental em vigor, e obter informação adicional (avaliação de tendências) que poderá posteriormente ser utilizada, quer na reavaliação dos impactes, quer na definição de propostas para novas medidas de minimização de ruído, que eventualmente se venham a revelar necessárias. O segundo objectivo de um Programa de Monitorização consiste na avaliação, ou confirmação, da eficácia das medidas de minimização dos impactes negativos previstos em determinadas componentes ambientais

Para o descritor ruído, no que respeita ao acompanhamento da resposta do sistema ambiental devido aos efeitos produzidos pela presença de uma infra-estrutura rodoviária, as campanhas de

monitorização têm como objectivo a caracterização do nível sonoro médio de longa duração, para os três períodos de referência (diurno, entardecer e nocturno), determinados durante uma série de períodos representativos de um ano. Posteriormente são calculados os indicadores de ruído associados ao incómodo global, designadamente, o indicador de ruído “diurno-entardecer-nocturno”,  $L_{den}$ , e o indicador de ruído “nocturno”  $L_n$ , o qual se encontra relacionado com as perturbações do sono. As campanhas de monitorização devem ser realizadas nas proximidades dos receptores sensíveis identificados no Plano Geral de Monitorização apresentado no RECAPE, e em receptores sensíveis que tenham apresentado reclamações devido ao ruído de tráfego rodoviário originado pela infraestrutura em avaliação, mesmo que não estejam contemplados no Plano Geral de Monitorização. A monitorização pode ser realizada recorrendo a medições acústicas, as quais devem ser efectuadas de acordo com os procedimentos descritos na norma Portuguesa NP 1730, partes 1, 2 e 3 de 1996. Anote-se que em 2007 foi finalizada a revisão da série de normas ISO 1996, pela Comissão de Normalização Internacional (ISO). Em consequência, foram publicadas as novas versões ISO 1996-1 em 2003 e ISO 1996-2, em 2007. Em alternativa à realização de uma campanha de monitorização baseada em medições, poder-se-á recorrer a modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, reportados a um período temporal de previsão de um ano.

Relativamente à avaliação da eficácia das medidas de minimização, designadamente as barreiras acústicas e os pavimentos “pouco ruidosos”, existe actualmente um conjunto de procedimentos normativos que permitem avaliar o desempenho acústico destes tipos de medidas de minimização de ruído logo após a sua instalação, e ao longo de todo o período de vida útil. Considerando os diferentes objectivos de um programa de monitorização optou-se nesta comunicação por dividir este trabalho em duas partes, abordando-se na primeira parte aspectos relacionados com a caracterização do nível sonoro médio de longa duração, representativo do valor médio anual, para posterior determinação dos indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $L_n$ . Na segunda parte do trabalho são abordadas algumas metodologias existentes para a avaliação da eficácia das medidas de minimização de ruído, designadamente pavimentos “pouco ruidosos” e barreiras acústicas.

## 2 Caracterização do indicador de ruído “diurno-entardecer- nocturno”, $L_{den}$ , e do indicador de ruído “nocturno” $L_n$

Para que cada componente significativa da exposição sonora seja representada nos resultados de medição, deve-se ter em conta, na caracterização dos níveis sonoros, o efeito da combinação das condições de funcionamento da fonte e da influência das condições atmosféricas associadas à propagação sonora. No que respeita às características de variação das emissões sonoras, a não ser que se pretenda a obtenção de um valor que represente unicamente as condições de emissão e propagação sonoras que ocorreram durante o intervalo de medição, será necessário efectuar a conversão dos níveis sonoros obtidos para valores representativos do fluxo de tráfego no período em análise (valores médios anuais, por exemplo). Relativamente à influência das condições meteorológicas nos níveis sonoros durante o intervalo de medição, esta traduz-se por uma alteração na curvatura dos raios sonoros, em consequência dos gradientes de temperatura e da velocidade do vento. A curvatura dos raios sonoros (designado neste relatório por  $R$ , expresso em quilómetros), exprime-se em função dos gradientes de temperatura ( $\Delta T$ , em kelvin) e da velocidade do vento, ( $\Delta u$ , em metro por segundo), a 10 e 0,5 m acima do solo, de acordo com a expressão seguinte:

$$R = \frac{3,2}{0,6\Delta T + \Delta u \cos \theta} \quad (1)$$

onde  $\theta$  representa o ângulo entre a direcção do vento e a direcção que contém a fonte e o receptor.

A influência das condições atmosféricas é detectável para distâncias do receptor à via da ordem dos 50 m, mas é mais significativa para distâncias superiores a 100 metros [4]. Para medições de curta

duração, a norma ISO 1996-2 (edição de 2007) indica que só se devem realizar medições de ruído de tráfego, com qualquer tipo de condições atmosféricas (desde que a velocidade do vento não seja muito elevada) se for cumprida a expressão (2) :

$$h_S + h_R \geq 0,1 \cdot d \quad (2)$$

onde  $h_S$  representa a altura da fonte,  $h_R$  a altura do receptor, e  $d$  a distância entre a fonte e o receptor. Esta expressão requer que o microfone esteja colocado a 5 m de altura, para uma distância entre a fonte e o ponto de medição de 50 m, ou então, para uma distância de 100 m, que o microfone esteja colocado a 10 metros de altura. Para a realização de medições a alturas mais usualmente utilizadas, a referida norma restringe a realização de medições às condições atmosféricas que favorecem a propagação sonora desde a fonte até ao receptor (caso das condições de aplicação do Anexo A da referida norma). Efectivamente, para grandes distâncias entre a fonte e o receptor, e com condições de propagação sonora favoráveis entre a fonte e o receptor, correspondem resultados de medição com uma maior reprodutibilidade, para os quais os níveis sonoros são mais elevados. Tendo em conta os fenómenos em jogo e a finalidade das medições acústicas, podem-se considerar três tipos de amostragens de ruído, no domínio do tempo, designadamente [4]

**Amostragem de “curta duração”** – corresponde a medições durante um intervalo de tempo para o qual se pode considerar que as características estatísticas das condições meteorológicas são estáveis. Pode-se aceder experimentalmente a este tipo de condições efectuando medições simultâneas das condições meteorológicas e dos níveis sonoros, num intervalo de tempo que se estende entre os 10 minutos, até algumas horas. Efectivamente podem-se produzir flutuações das condições atmosféricas durante algumas fracções de segundo, em consequência de fenómenos de turbulência, ou então durante períodos mais alargados, correspondentes a um ritmo diário, ou a um ritmo sazonal, ou até mesmo anual. Neste tipo de amostragem pretende-se escamotear a contribuição dos fenómenos de turbulência, sem no entanto captar os ciclos diários.

Durante o período da amostragem deve ser efectuado o cálculo da média das variáveis meteorológicas medidas, sendo desejável que, durante este intervalo, se consiga obter um valor representativo das emissões sonoras. De facto, dentro deste intervalo, as condições meteorológicas podem ser consideradas localmente como estacionárias, ou seja, as suas características serem constantes no intervalo considerado. Refira-se que um intervalo de observação com uma duração inferior a 10 minutos, não permite tornar a medição independente de fenómenos de turbulência, e uma duração mais longa do tempo de observação não permite estimar o fenómeno como localmente estacionário, uma vez que começa a ser influenciada pelas flutuações associadas ao ciclo diário [4]. Nas situações em que é necessário ter em conta a influência das condições atmosféricas, o anexo A da norma ISO 1996 estabelece uma metodologia para avaliação da existência de condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor, para medições de “curta duração”, viabilizando a respectiva realização. Esta avaliação é efectuada em termos de curvatura dos raios sonoros, que no método semi-qualitativo descrito no referido anexo, depende das alturas da fonte e do receptor, da velocidade e direcção do vento, grau de nebulosidade do céu, período do dia e valor de insolação. Neste caso é efectuada a distinção entre duas configurações geométricas para a localização da fonte e do receptor, que dependem das respectivas alturas:

- Considera-se a existência da situação “alta”, quando, quer a fonte quer o receptor, estão a uma altura superiores a 1,5 metros do solo, ou a fonte esteja localizada a uma altura inferior a 1,5 metros mas o receptor a uma altura superior ou igual a 4 metros.
- Na situação “baixa” quer a fonte quer o receptor estão a uma altura inferior a 1,5 metros do solo.

Na Fig. 1 apresentam-se os requisitos para a realização de medições de curta duração, em termos de curvatura dos raios sonoros ( $R$ ), e respectivos desvio-padrão associados, para diferentes combinações fonte-receptor e tendo em conta a influência das condições atmosféricas. Esta figura é válida para terrenos planos e sem obstáculos à propagação sonora. Anote-se que os requisitos constantes nesta figura não se aplicam a medições de longa duração.

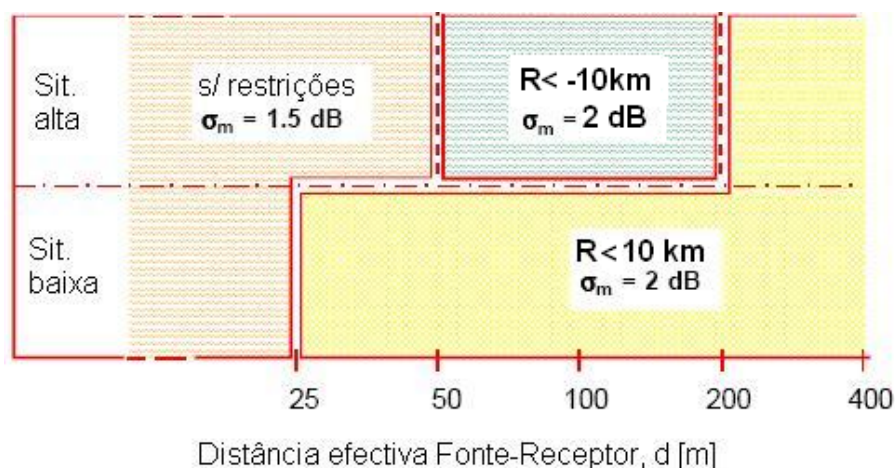


Fig. 1– Requisitos para a realização de medições de curta duração e respectivos desvio-padrão associados, tendo em conta a influência das condições atmosféricas, para diferentes combinações fonte receptor (adaptado de ISO 1996-2)

Esta figura deve ser complementada com a tabela A.1 do anexo A da norma ISO 1996-2 relativamente aos requisitos para que a curvatura dos raios sonoros,  $R$ , seja menor que 10 km em valor absoluto, dependendo da configuração geométrica (situação alta ou situação baixa). Para as duas configurações geométricas, os requisitos anteriores dependem do período do dia e do grau de nebulosidade do céu, e são dados em função do menor valor para a componente da velocidade do vento na direcção de propagação sonora, medida a 10 m de altura. Para a definição dos períodos do dia, a figura A.4 do anexo A da norma ISO 1996-2 indica os limites da altitude do sol, e portanto do gradiente de temperatura, em função do período do dia e do mês do ano, para latitudes de 35° e 45 ° Norte.

**Amostragem de “média duração”** – A este tipo de amostragem temporal corresponde um intervalo de tempo com a duração de todo o período de referência (ou seja, 13 horas no período diurno; 3 horas no período do entardecer e 8 horas no período nocturno). Neste caso, e para cada intervalo de referência, as condições meteorológicas não são constantes, mas podem ser definidas como tal por hipótese (recorrendo-se para o efeito a dados estatísticos) ou então medidas. Os níveis sonoros podem ser calculados por uma composição de situações de “curta duração” ponderadas pela repartição das condições de propagação observadas, ou definidas como hipótese. Pode-se comparar os resultados obtidos com recurso a métodos de previsão, assumindo a existência de determinadas condições meteorológicas com os resultados da medição realizada em condições particulares (neste caso condições favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor). Uma alternativa à medição durante todo o período de referência é a realização de medições durante intervalos de medição mais curtos, enquanto se contabilizam o número de veículos separadamente em cada categoria (fazendo-se a distinção entre veículos ligeiros e pesados), e as correspondentes velocidades médias de circulação. Os níveis sonoros medidos podem ser convertidos para os valores de tráfego para um período de referência (diurno, entardecer ou nocturno). Para este efeito, será necessária a utilização de um método de previsão para o ruído de tráfego rodoviário (no caso português, o método de cálculo francês

NMPB-Routes-96), para o cálculo do nível sonoro relativamente ao período de referência, tomando-se por exemplo o valor de tráfego médio diário, de modo que:

$$L_{Aeq, conv, diário} = L_{Aeq, med, INTmed} + (L_{cal, diário} - L_{cal, INTmed}) \quad (3)$$

representando:

$L_{Aeq, conv, diário}$  – A conversão do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, que ocorreu durante o intervalo de tempo de medição, para as condições médias de tráfego diário;

$L_{Aeq, med, INTmed}$  - É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, que ocorreu durante o intervalo de tempo de medição ;

$L_{cal, diário}$  – É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, calculado pelo modelo de previsão tendo em conta as condições médias de tráfego diárias;

$L_{cal, INTmed}$  - É o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, calculado pelo modelo de previsão tendo em conta as condições de tráfego que ocorreram durante o período de medição.

Na situação anteriormente descrita é importante a validação dos resultados obtidos na medição dos níveis sonoros, de modo a permitir a correspondente conversão para outros tipos de fluxo de tráfego (para um período de referência, ou então até mesmo para um período de longa duração), devendo-se verificar:

- ✓ Que os níveis sonoros medidos são exclusivamente devidos ao ruído de tráfego rodoviário, e originados somente pela infra-estrutura em avaliação;
- ✓ A existência de singularidades (por exemplo congestionamento de tráfego, passagens de ambulâncias com sirenes em funcionamento, ou existência de acidentes) que não são representativas de período de referência que se pretende caracterizar.

A título informativo refira-se que a norma francesa NF S 31-085 (versão de 2002), estabelece condições para o número de passagens mínimo de veículos, de modo a permitir a extrapolar para outras condições de tráfego. No âmbito desta norma é necessário cumprir as seguintes condições:

- ✓ Registo de, pelo menos, 200 passagens de veículos, quando na infra-estrutura em avaliação o modo de circulação do tráfego é fluido;
- ✓ Registo de, pelo menos, 500 passagens de veículos, quando na infra-estrutura em avaliação modo de circulação de tráfego é pulsado, ou então a percentagem de veículos pesados é elevada.

A referida norma também preconiza uma metodologia para a realização de testes estatísticos (teste estatístico de análise temporal; teste de Gauss; teste de coerência e obtenção da correlação entre os níveis sonoros obtidos em 2 pontos distintos) que permitem validar os resultados obtidos tendo em atenção as necessidades identificadas.

No caso de vias com uma baixa intensidade de tráfego, é recomendada a medição das passagens individuais de veículos com recurso ao nível de exposição sonora ( $L_{AE}$ ), sendo o nível sonoro contínuo equivalente ( $L_{Aeq, T}$ ), calculado a partir da expressão (7.4). Para a situação anteriormente descrita, o número mínimo de passagens de veículos para cada categoria, a considerar, é de 30.

$$L_{Aeq, T} = 10 \lg \frac{t_0}{T} \left[ \sum_i n_i 10^{\frac{L_{AE, i}}{10}} \right] \quad (4)$$

Nesta expressão  $T$  representa o tempo do intervalo de referência, em segundos;  $t_0$  é igual a 1 segundo;  $L_{AE,i}$  valor médio do nível exposição sonora médio para a categoria  $i$ ,  $n_i$  é o número de veículos para a categoria  $i$  que passam durante o intervalo de referência.

**Amostragem de “longa duração”** – Esta abordagem é bastante diferente das anteriores, correspondendo a uma repartição dos dados de curta duração ou de média duração durante um período representativo da duração do intervalo que se pretende caracterizar (usualmente um ano). Enquanto que para medições de curta duração, as variações devido às propriedades do solo são pequenas, nas medições de longa duração tal pode não suceder. Deste modo torna-se importante complementar os resultados das medições com uma descrição da superfície do solo entre a fonte e a posição de medição, anotando as características que podem influenciar a respectiva impedância acústica (segundo a NP 4361-2 as superfícies reflectoras podem-se classificar em 3 categorias, com distintas propriedades acústicas: solo duro, que inclui pavimentos, água, betão e qualquer superfície possuindo uma baixa porosidade; solo poroso, que inclui os solos cobertos de erva, árvores ou outra vegetação; e solo misto, se a superfície é constituída simultaneamente por solo misto e poroso). No que respeita às condições climatéricas, os meteorologistas consideram que, para que as observações possam ser consideradas representativas, estas devem ser recolhidas durante 30 anos. Efectivamente, para este período de duração, as observações meteorológicas podem ser consideradas como localmente estacionárias, enquanto que durações inferiores podem ser consideradas como muito sensíveis a anos com condições atmosféricas excepcionais. Os dados climáticos recolhidos pelas estações meteorológicas (e que constam nas normais climatológicas) não indicam especificamente os gradientes verticais da velocidade do som. De facto, as normais climatológicas são constituídas por dados aerodinâmicos (velocidade e direcção do vento à uma altura de 10 m e dados térmicos (insolação, nebulosidade), obtidos geralmente em terrenos planos e sem obstáculos. Estes dados podem, em situações muito particulares, serem correlacionados com os perfis verticais da velocidade do vento e da temperatura existente na proximidades destas estações, desde que o local de medição e o local onde se encontra a estação sejam comparáveis do ponto de vista topográfico, de ocupação e natureza do solo, e não existam nas suas proximidades grandes massas de água.

Para a estimativa de níveis sonoros representativos de um período de longa duração, e quando o receptor esta localizado nas proximidades da infra-estrutura rodoviária (a menos de 100 metros), pode-se desprezar a influencia das condições atmosféricas, sendo no entanto necessário efectuar a conversão dos valores obtidos para valores representativos da média anual, obtendo-se o que se designa por resultado da medição para o “tráfego de longa duração”. Para este efeito, pode-se utilizar a metodologia já explicitada para as amostragens de “média duração” (e que corresponde à substituição do termo, diário, na expressão 3 por anual). Caso o receptor se localize a mais de 100 metros da via, é necessário lidar separadamente com diferentes categorias de condições meteorológicas, e combiná-las de acordo com a respectiva taxa de ocorrência ao longo de período em estudo (na maior parte dos casos correspondente a um período anual).

A estimativa dos níveis sonoros médios, tal qual como eles ocorrem, ao longo de diferentes condições meteorológicas, requer longos intervalos de medição, muitas vezes de vários meses. Efectivamente na opção de monitorização em contínuo, as medições devem ser efectuadas em períodos de tempo suficientemente longos, de modo a que não seja necessária a monitorização da fonte e das condições meteorológicas, uma vez que se assume uma média representativa do que se pretende. Para a obtenção de um valor médio anual, pode ser necessária a medição ao longo de todo o ano, ou como alternativa a medição durante um mês em cada estação do ano. Será também necessário avaliar se as condições meteorológicas observadas durante o período de medição são representativas dos efeitos das condições meteorológicas representativas da média anual. Anote-se o facto de as condições climatéricas características de cada estação poderem afectar, quer a emissão sonora (no caso do tráfego rodoviário sabe-se que a temperatura do pavimento rodoviário tem influência no ruído emitido devido à interacção pneu-pavimento), quer a propagação sonora.

Alternativamente, para a obtenção de valores de longa duração, é possível a utilização de medições de curta duração, realizadas preferencialmente em condições favoráveis de propagação sonora entre a fonte e o receptor (de modo a garantir-se uma boa reprodutibilidade dos resultados), acompanhadas dos dados estatísticos relativos à respectiva taxa de ocorrência. Os resultados destas medições podem ser combinados com cálculos para outras condições de propagação sonora entre a fonte e o receptor, que têm em conta estatísticas meteorológicas (quando as distâncias dos receptores à via em estudo assim obrigam a ter em conta esta influência). Para o efeito, é necessária a medição do nível sonoro contínuo equivalente durante um período suficientemente longo e para um fluxo de tráfego composto por um número suficiente de passagens de veículos, de modo a obter-se um valor médio da variação dos níveis sonoros correspondentes às passagens individuais de cada veículo. O intervalo de tempo de medição a utilizar depende do volume de tráfego e da exactidão pretendida

No que respeita a técnicas de amostragem espacial, os níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, em diferentes pontos de medição, podem ser eficazmente determinados se for efectuada uma medição simultânea do nível sonoro para uma posição de referência, durante todo o período de medição, e em diversas posições (com uma distância inferior a 30 m da posição de referência) durante intervalos de tempo mais curtos. No entanto, é necessário que para cada combinação de posições de microfones, inclua pelo menos a passagem de 10 veículos. Neste caso, o nível sonoro para a posição  $i$  do microfone, é obtido a partir da seguinte expressão:

$$L_i = L_{ref} - \Delta L_i \quad (5)$$

Em que  $L_{ref}$  é o nível sonoro na posição de referência, medido durante todo o período de medição e  $\Delta L_i$  é a diferença entre os níveis sonoros medidos simultaneamente na posição de referência e na posição  $i$ . O nível de ruído de fundo na posição do microfone deve ser pelo menos 10 dB inferior ao ruído de tráfego rodoviário a ser medido.

Por último, deve-se referir o facto de a versão de 2007 da norma ISO 1996, introduzir o conceito de incerteza de medição no âmbito das medições em acústica ambiental. Este conceito, relacionado com o grau de exactidão do resultado da medição, está muito directamente ligado ao “esforço” associado à medição. Efectivamente, é desejável que em situações de avaliação de ultrapassagem ou não de valores limites, ou então nas situações para avaliação da necessidade de implementação de medidas de minimização, que o valor associado à incerteza de medição seja o mais baixo possível. Contudo, nas situações onde os níveis sonoros estão distantes dos valores limites, é aceitável a simplificação dos critérios de amostragem, o que implicará necessariamente valores de incerteza de medição mais elevados. Para a determinação da incerteza de medição, segundo a norma ISO 1996-2, deve-se ter em conta as seguintes fontes de incerteza:

- ✓ incerteza devido ao equipamento de medição;
- ✓ incerteza devido à localização do microfone;
- ✓ incerteza devido à presença de ruído residual;
- ✓ incerteza devido às características de emissão sonora da fonte;
- ✓ incerteza devido às condições meteorológicas.

Neste último caso, a referida norma só apresenta valores de incerteza associados à realização de medições nas condições favoráveis à propagação sonora (portanto quando se obtêm resultados aos quais corresponde um valor com uma maior reprodutibilidade). Para outro tipo de condições de propagação sonora, a incerteza de medição aumenta de modo significativo, e a única maneira de se obter uma estimativa dentro de valores aceitáveis é a repetição das medições, num número suficiente de vezes, em condições independentes mas similares.

### **3 Avaliação da eficácia das medidas de minimização**

#### **3.1 Avaliação da eficácia de pavimentos “pouco ruidosos”**

Na norma ISO 11819 são descritos dois métodos de medição da influência de pavimentos rodoviários no ruído de tráfego, nomeadamente, o método de passagem estatística de veículos (conhecido pela sigla SPB), e o método de proximidade (conhecido pela sigla CPX). Estes dois métodos complementam-se entre si, sendo o método SPB mais utilizado nos ensaios para a determinação da influência do pavimento nos níveis sonoros a utilizar nos modelos de previsão de ruído de tráfego rodoviário, e respectiva classificação. O método CPX, combinado com dispositivos de georeferenciação, permite a avaliação das características acústicas em toda a extensão de uma via, ao longo do tempo.

Para a realização dos ensaios segundo o método SPB, a norma ISO 11819-1 especifica como pavimento de referência, uma superfície de betão betuminoso denso, de textura lisa, com um agregado de granulometria entre 11 e 16 mm. Do ponto de vista acústico é aproximadamente equivalente a um pavimento com mistura de granulometria descontínua do tipo SMA. Na maior parte dos casos, os pavimentos de referência nacionais são os mais correntemente utilizados. No entanto, para que possa ser utilizado como referência, este pavimento deve estar sujeito ao tráfego, durante pelo menos um ano, e ter a mesma idade do pavimento em ensaio. A profundidade da macro textura, medida de acordo com as normas ISO 10844 ou ISO 13473-1 deve ser da ordem dos 0,5 a 1 mm. Um aspecto importante que a própria norma salienta (no anexo C), é o facto de os resultados obtidos pelo método SPB não serem válidos por mais de 5 anos devido a variações, quer nos pneus. Este facto torna necessário a actualização dos resultados obtidos com recurso a este método. Efectivamente as características acústicas dos pavimentos modificam-se com a idade, existindo uma tendência para o aumento dos níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento. Nos primeiros anos, o efeito do pavimento é determinado na condição de novo, devendo ser comparado com o pavimento de referência nas mesmas condições. Com a passagem dos anos, os níveis sonoros devido à interacção pneu-pavimento, tanto no pavimento em ensaio, como no de referência, têm ambas tendências a aumentar, estimando-se um aumento do ruído de rolamento de 2 dB(A), o que pode ser considerado como uma degradação normal da superfície. Neste método é também necessário ter em conta a influência da temperatura nos níveis sonoros emitidos, na medida em que se verifica um aumento dos valores dos níveis sonoros à medida que a temperatura diminui.

Uma versão simplificada do método SPB (designada por método da passagem de veículos controlada, e conhecida pela sigla CPB) consiste na utilização de um número limitado de veículos, escolhidos mediante combinações veículo/pneu pré-seleccionadas. De acordo com os objectivos das medições, podem ser seleccionadas diferentes condições de condução dos veículos (velocidade constante, em aceleração, em desaceleração, com o motor parado). A norma francesa NF 31-119-2 é baseada neste procedimento, e tem como base 4 combinações representativas de veículos/pneus. O método CPB é mais expedito que o método SPB, no entanto não leva em consideração as variações dos níveis sonoros que possam ocorrer para o mesmo tipo de veículo, nem permite a medição dos níveis sonoros associados ao tipo de veículos representativos da composição do tráfego na estrada em estudo.

O método de medição CPX foi desenvolvido para o estudo da influência das características da camada de desgaste de pavimentos no ruído de tráfego rodoviário, em condições de circulação dos veículos onde a interacção pneu-pavimento é dominante. Este método envolve a medição do ruído de rolamento em posições dos microfones localizadas próximo da zona de contacto entre o pneu e o pavimento. Para o efeito, o pneu em ensaio, é colocado num atrelado especial rebocado por um veículo ligeiro, e nas suas proximidades são colocados os microfones de medição. Na bibliografia sobre o assunto, pode-se encontrar várias configurações para a montagem dos atrelados, mas tendo



todas em comum o enclausuramento do pneu em ensaio, de modo a não permitir a influência de ruído proveniente de outros veículos, e também do ruído induzido pelo vento. No entanto, existem actualmente algumas variações deste método que incluem a colocação do pneu em ensaio, directamente numa das rodas de um veículo ligeiro, ou então a utilização da técnica de intensimetria sonora, de modo a resolver o problema do registo dos níveis sonoros na situação de campo próximo (método designado por *close proximity sound intensity*).

Uma das vantagens deste método relativamente ao método SPB, é que permite facilmente (e rapidamente) a avaliação de toda a extensão da estrada, podendo-se utiliza-lo na monitorização das características acústicas do pavimento, identificando os trechos “mais ruidosos”.

No apêndice B do “*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*”, é descrito um procedimento para a certificação de atrelados e veículos a utilizar no método CPX. Os métodos descritos dizem essencialmente à protecção da realização das medições relativamente ao ruído ambiente exterior. A principal vantagem do método CPX é que pode ser implementado em situações urbanas, não sendo influenciado pelas reflexões de edifícios próximos. Outra das vantagens é que o pavimento pode ser ensaiado de modo contínuo, enquanto que o método de SPB só é representativo da parte do troço onde foram efectuados os ensaios. No entanto, deve-se salientar que os métodos baseados na medição dos níveis sonoros próximo de pneus, não tem em conta os efeitos do campo distante na propagação sonora, como também os efeitos devido às interferências das fontes. Anote-se o facto de estudos efectuados no âmbito do projecto europeu SILVIA, demonstraram uma fraca correlação entre os resultados obtidos com recurso aos métodos SPB e CPX.

### **3.2 Avaliação da eficácia de barreiras acústicas”**

A norma ISO 10847:1997 “Acústica. - Determinação *in situ* da perda por inserção de barreiras exteriores de todos os tipos” especifica dois métodos para esta determinação, o método directo, e o método indirecto utilizando um local equivalente. Uma variação do método indirecto engloba a previsão dos níveis sonoros para a situação ANTES.

No método directo, são efectuadas medições dos níveis sonoros ANTES e DEPOIS da instalação das barreiras. Para efeitos da aplicação deste método são definidas as posições do receptor e de referência, correspondendo esta última a um ponto onde o ruído proveniente da fonte não é minimamente influenciado pela presença da barreira (usualmente este ponto esta localizado a uma altura de 1,5 m do topo da barreira, e a uma distancia da via de 15 m de modo a minimizar os efeitos de campo próximo). A principal vantagem na utilização deste procedimento, é que assegura o mesmo tipo de topografia do local de medição. No entanto possui a desvantagem de as condições meteorológicas poderem não serem equivalentes para as duas medições, assim como as condições de circulação de veículos (o mesmo fluxo de tráfego, com o mesmo tipo de composição). A equivalência nas condições meteorológicas inclui a velocidade do vento e direcção, temperatura, humidade relativa e nebulosidade do céu.

No método indirecto, para a caracterização da situação “antes da barreira” devem ser realizadas medições num local substituto equivalente. Este local substituto deve ter o mesmo perfil de terreno, o mesmo tipo de obstáculos à propagação sonora e o mesmo tipo de superfícies reflectoras, devendo a superfície do solo ser equivalente à do local onde está instalada a barreira, num sector que se estende de 60 ° para cada lado da linha que une as posições dos receptores em direcção à fonte. A posição de referência e a posição do receptor são as mesmas que as do método de medição directa. Para uma comparação válida dos níveis sonoros ANTES e DEPOIS, é necessária a equivalência nas condições meteorológicas e de fluxo de tráfego. Assim, e no caso do método indirecto, é preferível que as situações ANTES e DEPOIS sejam avaliadas simultaneamente, ou seja em localizações adjacentes de modo a assegurar uma equivalência nas condições atmosféricas e de fluxo de tráfego (se possível). No caso de utilização do método indirecto com recurso a um modelo de previsão, são necessárias a realização de medições no local com a presença de barreira para determinação dos níveis na condição

DEPOIS, e a utilização de um modelo de previsão para o cálculo dos níveis sonoros sem a presença da barreira. Uma vez que esta situação inclui a comparação entre valores medidos e valores calculados, para receptores afastados da via, é importante que as condições meteorológicas utilizadas no modelo de previsão sejam replicadas durante a realização das medições, assim como as condições de fluxos de tráfego.

Em ambos os métodos, e no que respeita à influência das condições meteorológicas na propagação sonora, para curtas distâncias do receptor à via, é possível efectuar as medições com todo o tipo de classes de vento (condições favoráveis, homogéneas ou desfavoráveis), desde que a velocidade do vento seja inferior a 5 m/s. No caso de grandes distâncias entre o receptor e a via, é importante que somente sejam realizadas medições, com condições de propagação favoráveis entre a fonte de ruído de tráfego rodoviário e o receptor.

No âmbito do programa “*Standard, Measurement and Testing*” a Comissão Europeia, financiou o projecto de investigação “*Adrienne*” onde foram estabelecidas novos métodos de ensaio para a determinação das características de isolamento sonoro e absorção /reflexão de barreiras acústicas *in situ*. Em 2003, foi publicada pelo Comité Europeu de Normalização, a especificação técnica, CEN/TS 1793-5, que descreve a metodologia para a realização de ensaios *in situ* para a determinação do isolamento e absorção sonora de barreiras acústicas.

O método *Adrienne* baseia-se na reconstrução da resposta impulsiva por detrás da barreira acústica em avaliação. Para este efeito é colocado um altifalante em frente à barreira (a uma distância de aproximadamente de 1 m), no lado da via, e que emite uma sequência determinista de impulsos bipolares — um sinal MLS (sequência de comprimento máximo), sendo colocado por detrás da barreira, um microfone de medição, a uma distância de 25 cm. Este sinal é convenientemente pós-processado de modo a obter-se a componente do campo sonoro transmitida pela barreira, a partir da resposta impulsiva global do dispositivo em ensaio. A utilização deste método permite a verificação do cumprimento das características intrínsecas do produto instalado relativamente às correspondentes especificações de fabrico. Para além disso, permite aferir da qualidade de instalação da barreira acústica, detectando defeitos na selagem acústica entre painéis. Tendo em conta que as barreiras acústicas poderão modificar as suas características ao longo do tempo, a utilização periódica deste método permitirá avaliar uma possível degradação das suas características acústicas. Comparativamente com o método tradicional para a caracterização do isolamento de barreiras acústicas em laboratório (serie de normas EN 1793), existe uma tendência, para um mesmo tipo de barreira, de os valores de isolamento sonoro obtidos em laboratório, serem ligeiramente inferiores aos resultados obtidos nas medições *in situ* [5]. Num estudo comparativo sobre a aplicação destes dois métodos para a caracterização do isolamento sonoro para diferentes tipos de barreiras (barreiras de betão; barreiras metálicas, barreiras acrílicas, barreiras de madeira e barreiras mistas). Os resultados obtidos permitiram constatar a eficácia da aplicação deste método para os diversos tipos de barreira, assim como uma boa correlação com os resultados obtidos em laboratório, mostrando-se sensível à qualidade da montagem, presença de selantes [5].

No que respeita à determinação das características de absorção sonora, estas são obtidas à partir da determinação do índice de reflexão sonora. Para o efeito é colocado um microfone entre a fonte sonora e a barreira acústica, quer para a medição da componente directa emitida pela fonte, quer para a medição componente reflectida pela barreira. Com recurso à técnica de subtracção de sinais, a componente reflectida é extraída da resposta global, após remoção da componente directa proveniente do altifalante. A distância do microfone ao altifalante deve ser mantida estritamente constante para a medição da componente reflectida, sendo definido um conjunto de nove posições de medição, obtidas por rotação da montagem altifalante-microfone segundo o plano vertical (ou em alguns casos segundo o plano horizontal), em torno de um eixo de rotação, e em passos de 10°. Os valores individuais do índice de reflexão sonora, por banda de terços de oitava devem ser ponderados de acordo com o espectro normalizado de ruído de tráfego definido na norma EN 1793-3.

A realização deste tipo de medições *in situ*, para a caracterização do isolamento e absorção sonora, permitirá, por um lado, a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho após instalação, assim como a verificação do desempenho a longo prazo de barreiras acústicas. Este último aspecto torna-se mais significativo, desde a publicação da norma EN 14389-1 que explicita os procedimentos a seguir relativamente à manutenção das funcionalidades de dispositivos de redução de ruído de tráfego rodoviário, durante todo o período de vida.

A utilização de métodos descritos na especificação técnica CEN/TS 1793-1 permite a obtenção de valores para o índice de reflexão sonora  $DL_{RI}$  (para a caracterização da absorção sonora) e do índice de isolamento sonoro  $DL_{SI}$ . Estes valores podem ser utilizados como um meio de comparação para a avaliação da durabilidade de uma barreira acústica a longo prazo e durante todo o período de vida útil. Para uma barreira acústica, a verificação da durabilidade do seu desempenho inicial (em termos de isolamento e absorção sonora), deve ser efectuada 5 anos, 10 anos e 20 anos após a sua entrada em serviço. Para o efeito pode ser realizada uma avaliação física, tendo como base variações ou mudanças do estado do material absorvente (por exemplo a desintegração das fibras) assim como uma avaliação visual relativa a variações na constituição ou estado dos materiais e suportes de fixação que possam afectar o isolamento sonoro conferido pela barreira (existência de fendas entre painéis). Quando são identificadas, na avaliação visual, variações que possam afectar o desempenho acústico da barreira, devem ser realizados ensaios *in situ* na zona identificada de acordo com CEN/TS 1793-5

Finalmente, no que respeita aos dispositivos adicionais que podem ser colocados no topo de uma barreira acústica, destinados a contribuir para a atenuação sonora, actuando principalmente sobre o campo sonoro difractado (usualmente designados por topos difractores). Podem ser efectuadas medições *in situ* para a avaliação da sua eficácia, de acordo com o procedimento descrito na norma CEN/TS 1793-4. Para este efeito, devem ser realizadas medições com e sem o dispositivo adicional, em condições de repetibilidade (mesmo local, mesmas condições meteorológicas, mesmo equipamento, mesmos operadores). Para ambas as situações, são calculados os índices de difracção correspondentes. Este cálculo, assenta na medição dos espectros de potência das componentes directas e difractada pelo bordo superior, corrigidos de modo a ter em conta a diferença de percurso entre as duas componentes, com recurso à técnica de subtracção de sinais, anteriormente referida. O índice de difracção final é uma média dos índices de difracção obtidos em vários pontos de medição.

## 4 Conclusões

No que respeita à caracterização do nível sonoro de longa duração, para cada período de referência representativo do período de um ano, as linhas orientativas podem-se sintetizar nos seguintes aspectos:

- ✓ No caso de pontos receptores localizados a uma distância inferior a 100 metros da via é necessário efectuar a conversão dos níveis medidos para valores representativos do fluxo de tráfego anual, sendo, nesta situação, necessário registar as características do tráfego que ocorreram durante as medições (número de veículos pesados e ligeiros e respectivas velocidades médias de circulação). Para o efeito será necessária a utilização de um método de previsão para o ruído de tráfego rodoviário (no caso português, o método de cálculo francês NMPB-Routes). Para a realização deste tipo de conversão é importante a validação dos resultados obtidos nas medições, de acordo com os critérios que se apresentaram ao longo do texto.
- ✓ No caso de pontos receptores localizados a distâncias superiores a 100 metros da via, para além da conversão dos níveis sonoros medidos para valores representativos do fluxo de tráfego anual, é necessário ter em conta a influência das condições atmosféricas. Os resultados das medições de curta duração, realizadas preferencialmente em condições favoráveis de propagação entre a fonte e o receptor, podem ser combinados com cálculos, tendo conta estatísticas meteorológicas.

No que respeita à avaliação da eficácia de pavimentos pouco ruidosos, anote-se a importância da utilização do método SPB para o estabelecimento das correcções devido à influência do pavimento nos dados de entrada dos modelos de previsão do ruído de tráfego rodoviário, de modo a possibilitar a utilização de valores mais adequadas com as técnicas e materiais existentes em Portugal. Por outro lado, a utilização do método CPX permite a avaliação do pavimento em toda a extensão da estrada, permitindo a monitorização das características acústicas do pavimento, e a correspondente identificação de trechos “mais ruidosos”.

Relativamente à avaliação da eficácia de barreiras acústicas, para uma comparação válida dos níveis sonoros nas situações ANTES e DEPOIS, é essencial, em ambos os métodos a equivalência nas condições meteorológicas e de fluxo de tráfego, e, no caso do método indirecto, da topografia do terreno.

No caso de utilização do método indirecto com recurso a um modelo de previsão, e para receptores afastados da via, é importante que as medições sejam realizadas durante a ocorrência de condições meteorológicas favoráveis à propagação sonora entre a fonte e o receptor, e que este tipo de condições sejam replicadas no modelo de previsão. No que respeita à realização de ensaios *in situ* para a determinação do isolamento e absorção sonora de barreiras acústicas, este tipo de actuação permitirá a comparação das especificações de projecto com dados de desempenho após instalação, assim como a verificação do desempenho a longo prazo de barreiras acústicas.

## Referências

- [1] International Organization for Standardization, ISO 1996-2: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise —Part 2:Determination of environmental noise levels, ISO, 2007
- [2] Association Française de Normalisation, NF S 31-085: Caractérisation et mesurage du bruit dû Trafic routier, AFNOR, 2002
- [3] Antunes, S., Patrício, 2008 - Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal. Ruído. Relatório final sectorial. Relatório 297/08 - NAICI, LNEC, 2008
- [4] Zouboff, V.; Laporte, J.; Brunet, Y., 1998 – Effects des conditions météorologiques sur la propagation du bruit. Prise en compte pratique, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1998
- [5] Garai, M.; Guidorsi, P., 2000 – European methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data, Journal of the Acoustical Society of America, vol 108 (3), pp 1054-1067, 2000
- [6] International Organization for Standardization, ISO 11819-1:1997: Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 1: Statistical Pass-By method, ISO 1997
- [7] European Committee for Standardization, EN 14389-1 Road traffic noise reducing devices - Procedures for assessing long term performance - Part 1: Acoustical characteristics, 2007
- [8] European Committee for Standardization, CEN/TS 1793-5:2003, Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation, 2003