

Artigo REF: 26A002

ANÁLISE DA QUALIDADE FUNCIONAL E DO IMPACTO AMBIENTAL DE UMA ESTRADA URBANA

Elisabete Freitas^(*) e Paulo Pereira

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

^(*)Email: efreitas@civil.uminho.pt

RESUMO

Este artigo tem por objectivos descrever os principais indicadores da qualidade funcional e da qualidade ambiental utilizados correntemente a nível da rede e apresentar um caso de estudo de uma estrada integrada em meio urbano reabilitada recentemente. Esta estrada contempla três camadas de desgaste diferentes, duas das quais com textura otimizada, com o objectivo de se estudar o seu efeito no ruído de contacto pneu/pavimento.

Para a observação dos parâmetros técnicos de qualidade funcional (irregularidade, textura e resistência à derrapagem) foi utilizado um veículo do tipo multifunções e para a medição do ruído foram efectuadas medições junto à berma com a passagem de veículos a diversas velocidades.

Com base nesses parâmetros, por um lado, prevê-se que a curto prazo seja necessário desenvolver-se actividades de conservação da qualidade funcional do pavimento. Por outro lado, verificou-se que as camadas de desgaste optimizadas reduzem consideravelmente o impacto do ruído de tráfego no ambiente.

INTRODUÇÃO

A necessidade de conservar e de reabilitar os pavimentos rodoviários é uma consequência da alteração do seu comportamento ao longo do tempo. O comportamento dos pavimentos relaciona-se directamente com o desenvolvimento de degradações. As degradações representam alterações indesejáveis do estado físico e, consequentemente, mecânico dos pavimentos ao longo do tempo.

Segundo o comité científico da acção COST 324, o comportamento dos pavimentos define-se como a medida em que os pavimentos preenchem os seus principais objectivos (COST 324, 1997). A definição dos objectivos dos pavimentos deve resultar numa estratégia de gestão global, e são elaborados em função das necessidades da comunidade em geral, dos utentes rodoviários em particular, e das entidades responsáveis pela administração e exploração das infraestruturas.

Os objectivos dos pavimentos abordam, de um modo geral, a economia, a segurança, o nível de serviço, a resistência, o nível de degradação e o ambiente (COST 324, 1997). A avaliação do nível de realização dos objectivos é feita através de indicadores de avaliação do comportamento.

Os indicadores de comportamento são grandezas que permitem avaliar a relação entre o estado de um pavimento e os seus objectivos. Estes devem ser quantificáveis e devem proporcionar resultados facilmente interpretáveis e indiscutíveis (Lemlin, 1998).

A acção COST 354 “Performance Indicators for Road Pavements”, em fase de conclusão, teve como principal objectivo a definição de indicadores de desempenho uniformes (a nível europeu) para diversos tipos de infraestruturas rodoviárias. Nesta acção foram seleccionados 7 indicadores de desempenho, os parâmetros técnicos e os índices a eles associados (Antunes et al., 2008), os quais se apresentam no Quadro 1.

Quadro 1 – Indicadores de desempenho seleccionados (Antunes et al., 2008)

Indicador de desempenho	Parâmetro técnico	Índice
Regularidade longitudinal	IRI (mm/m)	PI_E (<i>PI_evenness</i>)
Regularidade transversal	Cavado de rodreira [RD] (mm)	PI_R (<i>PI_rutting</i>)
Resistência à derrapagem	SFC (0 a 1) a 60 km/h LFC (0 a 1) a 50 km/h	PI_F (<i>PI_friction</i>)
Macrotextura	Profundidade média do perfil [MPD] (mm)	PI_T (<i>PI_macrotexture</i>)
Capacidade de carga	Vida restante/vida de projecto [R/D] SCI3000 (µm)	PI_B (<i>PI_bearing capacity</i>)
Ruído	-	-
Poluição do ar	-	-

Para o ruído e a poluição do ar não foram estabelecidos parâmetros técnicos por falta de informação (Antunes et al., 2008), uma vez que o interesse neles tem aumentado apenas recentemente devido à rigorosa política ambiental europeia.

Para além dos indicadores referidos, foram estabelecidos indicadores para exprimir o fendilhamento, PI_CR (*cracking*) e os restantes defeitos de superfície, PI_SD (*surface defects*) (Antunes et al., 2008).

Deste modo, estes indicadores reflectem três níveis de qualidade dos pavimentos: a qualidade estrutural, a qualidade funcional e a qualidade ambiental.

A qualidade estrutural de um pavimento rodoviário é definida pelos indicadores de capacidade de carga, fendilhamento e defeitos de superfície. A qualidade funcional é definida pela regularidade longitudinal e transversal, resistência à derrapagem e a macrotextura. A qualidade ambiental é definida pelo ruído e pela poluição do ar.

Este artigo aborda a qualidade funcional e ambiental de uma estrada urbana de elevado volume de tráfego, cujo projecto de reabilitação considerou a construção de camadas de desgaste de baixo ruído.

A seguir caracteriza-se a estrada em estudo e, para cada um dos indicadores de desempenho associados à qualidade funcional e ambiental (regularidade longitudinal, resistência à derrapagem, macrotextura, ruído), descreve-se o parâmetro técnico e o equipamento utilizado para a sua determinação e apresenta-se e analisa-se os resultados obtidos. A regularidade transversal não foi estudada por se tratar de um pavimento acabado de reconstruir.

CARACTERIZAÇÃO DA ESTRADA

Localização e geometria

O estudo desenvolve-se ao longo de 3 km numa estrada urbana no centro da cidade de Braga (Portugal) reabilitada recentemente. O perfil da estrada caracteriza-se por duas faixas de rodagem com duas vias de tráfego em cada sentido. A estrutura do pavimento é do tipo semi-rígido, sendo construído por uma camada de base estabilizada com cimento, uma camada de

regularização em betão betuminoso e por três tipos de camada de desgaste. Uma das camadas é feita em betão betuminoso desgaste convencional (BB 0/12). As outras duas foram especialmente concebidas para minimizar o ruído de contacto pneu/pavimento, sendo constituídas por misturas abertas (MA1 e MA2). A mistura MA1 tem a característica adicional de ser mais resistente a esforços de tracção, tendo sido colocada numa zona de curvas sucessivas (Figura 1).

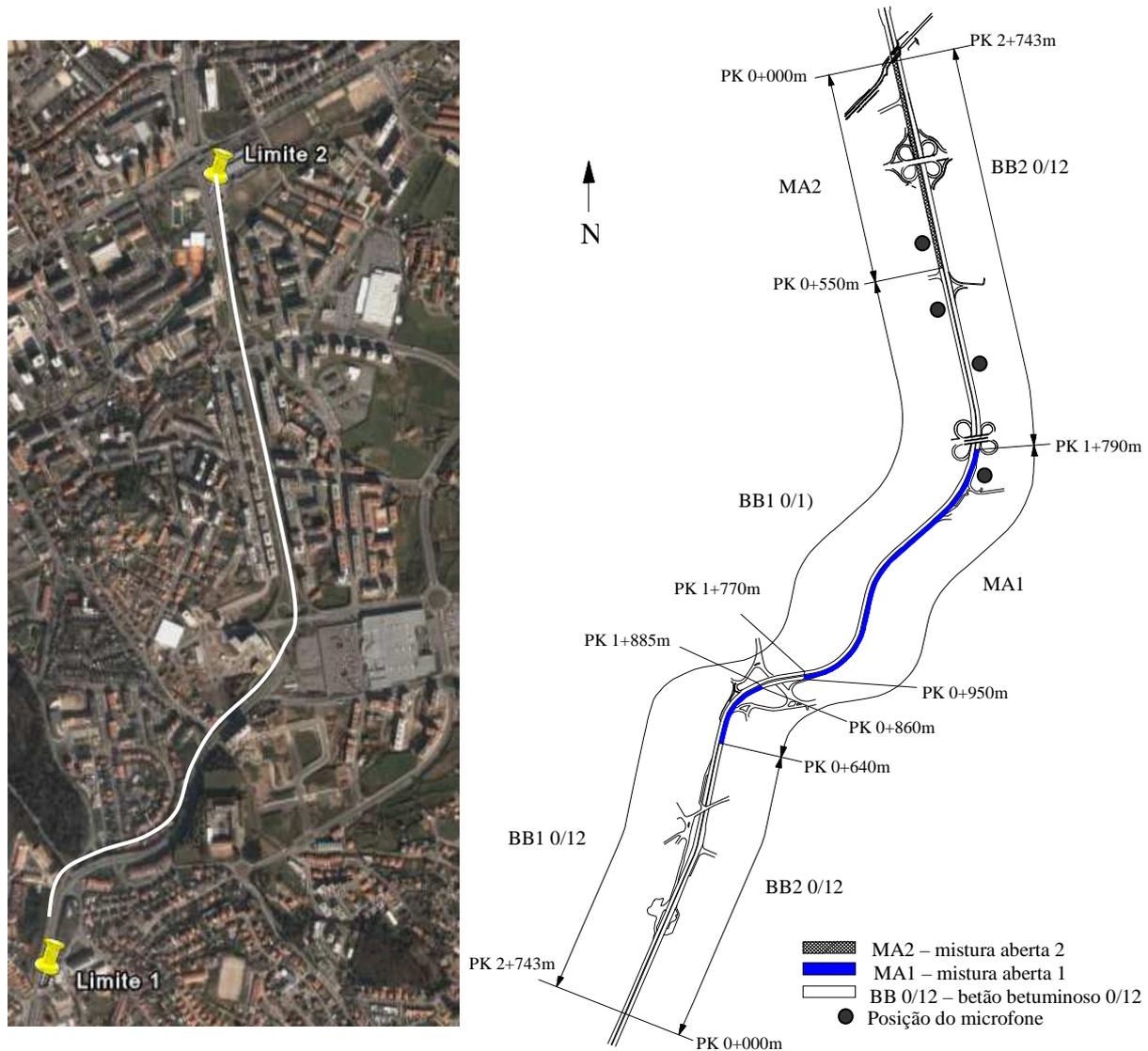


Figura 1 – Envolvente da estrada e representação esquemática do posicionamento das diversas camadas de desgaste

Caracterização das camadas de desgaste

As principais propriedades das misturas utilizadas nas camadas de desgaste estão apresentadas no Quadro 2 e na Figura 2. As diferenças mais relevantes para o comportamento destas misturas referem-se à granulometria, a qual determina o volume de vazios. No caso das misturas MA1 e MA2, a curva granulométrica foi otimizada com vista à redução do ruído de contacto pneu-pavimento e à redução da projecção de água (aumento da drenabilidade da superfície) reduzir o ruído. O menor volume de vazios da camada MA1 confere-lhe uma maior resistência aos esforços de tracção.

Quadro 2 – Propriedades das misturas

Tipo de camada	Dimensão máxima do agregado (mm)	Porcentagem de betume (%)	Volume de vazios* (%)
MA1	8	5.7	15.0
MA2	8	5.7	18.5
BB (0/12)	12	5.1	4.9

* obtido em provetes Marsall

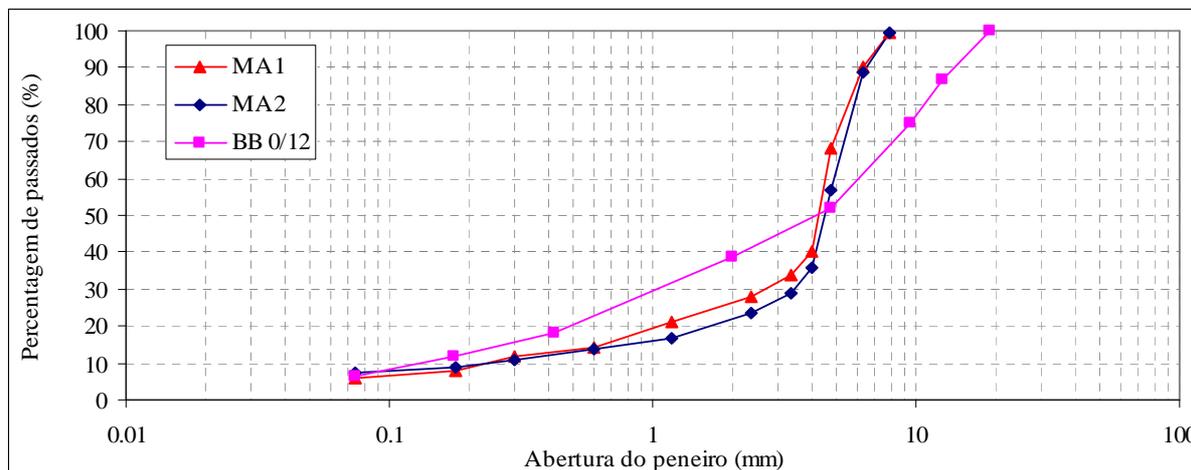


Figura 2 – Curvas granulométricas das misturas

CARACTERIZAÇÃO DA REGULARIDADE LONGITUDINAL

Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

A regularidade longitudinal é determinante no conforto de circulação (Delanne et al., 1999) e na geração de cargas dinâmicas (Dolcemascolo et al., 1999), sendo determinada a partir do Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index*, IRI).

O IRI foi definido pela primeira vez no fim dos anos 70 nos Estados Unidos, tendo sido depois simplificado e normalizado pelo Banco Mundial.

O IRI é medido a partir do perfil longitudinal e representa os deslocamentos acumulados da suspensão de um veículo tipo, simulados pelo modelo de “quarto de veículo”, os quais são divididos pela distância percorrida durante o ensaio, tendo por unidades (m/km) (Sayers et al., 1998). A definição do índice IRI é dada pela equação (1):

$$IRI = \frac{1}{B} \times \int_1^B |z_2(x) - z_1(x)| dx \quad (1)$$

onde: B é a base de cálculo (comprimento em metros);

x é a abcissa sobre o perfil e

z é a diferença de cotas.

Os Cadernos de Encargos adoptaram o IRI para a classificação dos pavimentos quanto à regularidade longitudinal. No Quadro 3 apresenta-se os 5 níveis de classificação e a correspondente descrição dos limites a cumprir. Para os limites de IRI propostos deve ser comparada a percentagem de valores calculada a partir da média dos valores de IRI obtidos nas rodeiras esquerda e direita de cada via de tráfego. No Quadro 4 apresenta-se os limites de IRI admissíveis, para uma base de cálculo de 100 m, e a correspondente percentagem mínima da extensão/pontos para as camadas de desgaste betuminosas.

Quadro 3 – Classificação dos pavimentos com base no IRI

Muito Bom	excede largamente os parâmetros exigidos;
Bom	cumpre os parâmetros exigidos excepção feita à percentagem da extensão do traçado com valores inferiores a 3,0, que deverá ser superior ou igual a 95%;
Razoável	cumpre os parâmetros exigidos, excepção feita às percentagens de extensão do traçado com valores inferiores a 1,5 e 3,0, onde se admitem respectivamente as percentagens de 40 e 90;
Medíocre	não cumpre as exigências anteriores (razoável), mas apresenta valores de IRI de 1,5; 2,5 e 3,0 em percentagens do traçado superiores a 15, 60 e 85, respectivamente;
Mau	não cumpre os parâmetros exigidos nas classificações anteriores.

Quadro 4 – Valores admissíveis de IRI (m/km), calculados por troços de 100 metros em pavimentos com camadas de desgaste betuminosas

Percentagem da extensão da obra		
50%	80%	100%
≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3,0

Descrição do equipamento multifunções

O equipamento utilizado é do tipo “Multifunções”. Este equipamento é composto por uma barra rígida que se encontra fixada no pára-choques dianteiro de um veículo, por um sistema de medição da velocidade fixado numa das rodas e por um sistema de aquisição, controlo e tratamento de dados (Figura 3). A barra rígida é dotada de 5 lasers, 2 acelerómetros e de um sensor inercial de movimento (“inertial motion sensor”) os quais permitem medir:

- o perfil longitudinal ao longo das rodeiras esquerda e direita e entre estas duas;
- o perfil transversal definido por 5 pontos;
- a inclinação longitudinal e transversal da estrada;
- o raio de curvatura da estrada;
- a macrotextura do pavimento, definida pela profundidade média do perfil (MPD), ao longo das rodeiras esquerda e direita;
- a irregularidade longitudinal, definida pelo IRI, ao longo das rodeiras esquerda e direita e entre estas duas.

O sistema de aquisição, controlo e tratamento de dados garante a fiabilidade dos resultados para velocidades de ensaio superiores a 20 km/h e inferiores as 120 km/h. Todavia, não devem ser realizadas medições com a superfície do pavimento molhada devido à interferência da água nas medições realizadas pelos laser.



Figura 3 – Equipamento usado para a medição do IRI e da MPD

Resultados de caracterização do IRI

O IRI foi determinado para uma base de cálculo de 100 m, nas duas faixas de rodagem e nas duas vias de tráfego.

Para ilustrar a variação deste parâmetro ao longo da totalidade da extensão numa via de ensaio apresenta-se a Figura 4, relativa à via da direita no sentido Sul-Norte. O equipamento usado permitiu a medição do IRI ao longo de 3 perfis em cada via, os quais correspondem às rodeiras esquerda, centro e direita (variação transversal).

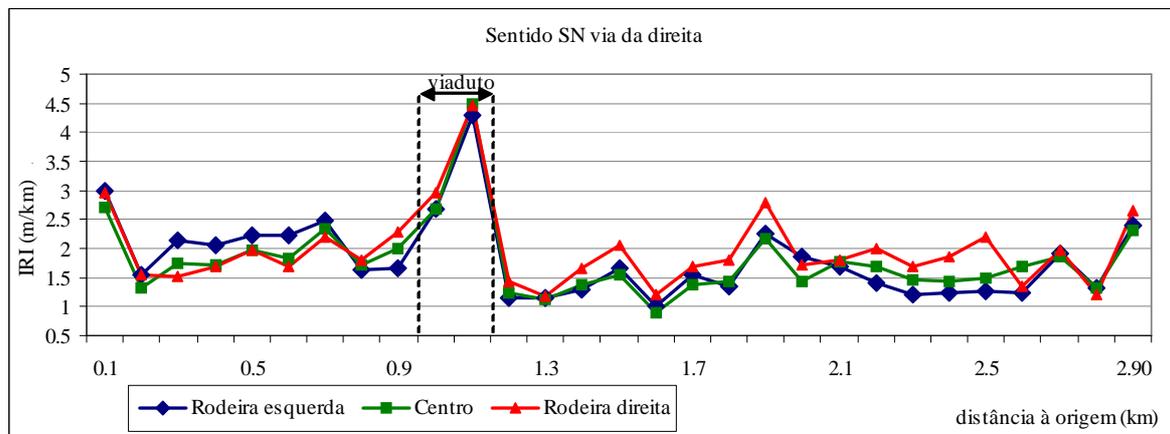


Figura 4 – IRI por troços de 100 m no sentido Sul/Norte e na via direita

A variação do IRI parece ser influenciada pelo traçado da estrada. De uma forma geral, verifica-se que nas zonas em recta os valores de IRI são baixos e regulares, enquanto que em curva se observa uma variabilidade importante. Além disso, em torno do viaduto, os valores de IRI excedem largamente o limite máximo preconizado no Caderno de Encargos.

No sentido transversal, observa-se uma variabilidade que atinge frequentemente valores superiores a 0.5 m/km, como se verifica comparando em cada ponto os resultados obtidos nas rodeiras esquerda, centro e direita (Figura 4).

Para a classificação de cada via quanto à regularidade, foram considerados os limites de IRI e as correspondentes percentagens mínimas de extensão admissíveis. Para a determinação das percentagens de extensão dentro de cada limite, contou-se o número de pontos cujo IRI se encontra dentro desse limite e dividiu-se pelo número total de pontos.

Nos Quadros 5 e 6 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos para as duas vias (esquerda e direita) nos rodados esquerdo, direito e para a média destes rodados, nos sentidos Norte/Sul e Sul/Norte, respectivamente. Além disso, apresenta-se a classificação obtida em cada via com base na média das rodeiras esquerda e direita. Como se pode comprovar, comparando as percentagens de extensão calculadas com as admissíveis em ambos os sentidos, a via esquerda obtém uma classificação de Bom, enquanto que a via direita é classificada como Razoável.

Quadro 5 – Classificação da regularidade com base no IRI no sentido NS

IRI (m/km)	Percentagem da extensão no sentido NS (%)						Caderno de Encargos
	Via direita			Via esquerda			
	Rod. esq.	Rod. dir.	Média esq. dir.	Rod. esq.	Rod. dir.	Média esq. dir.	Média esq. dir.
<1.5	31	38	31	55	55	59	> 50%
<2.5	90	90	86	90	90	90	> 80%
<3.0	93	93	97	97	93	97	100%
>3.0	7	7	3	3	7	3	-
Classificação	Razoável			Bom			

Quadro 6 – Classificação da regularidade com base no IRI no sentido SN

IRI (m/km)	Percentagem da extensão no sentido SN (%)						Caderno de Encargos
	Via direita			Via esquerda			
	Rod. esq.	Rod. dir.	Média esq. dir.	Rod. esq.	Rod. dir.	Média esq. dir.	Média esq. dir.
<1.5	38	17	24	69	41	55	> 50%
<2.5	90	83	83	97	97	97	> 80%
<3.0	97	97	97	97	97	97	100%
>3.0	3	3	3	3	3	3	-
Classificação	Razoável			Bom			

CARACTERIZAÇÃO DA MACROTEXTURA

Profundidade média do perfil/profundidade média da textura

A textura da superfície de um pavimento é determinante para parâmetros tais como o ruído resultante da interação pneu/pavimento (SILVIA, 2006), o atrito entre os pneus e a superfície da estrada (Larson et al., 2004), a resistência ao rolamento e o desgaste dos pneus (Domenichini et al., 2004).

O método da “mancha volumétrica”, também designado por “mancha de areia”, tem sido utilizado durante décadas para calcular um único valor representativo da textura da superfície. Este método baseia-se no espalhamento sobre uma superfície de um determinado volume de areia ou de esferas de vidro, de modo a formar uma mancha circular, medindo-se o respectivo diâmetro. Através da divisão do volume do material espalhado pela área da superfície resultante obtém-se um valor que representa a profundidade média da camada de areia ou de esferas de vidro, isto é a “profundidade média da textura” (Figura 5).

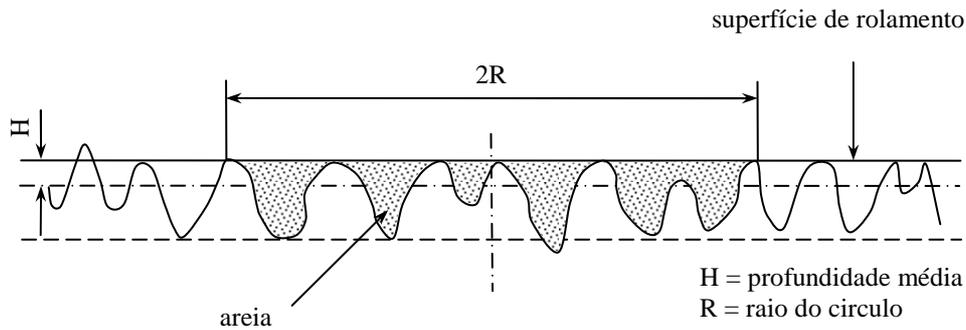


Figura 5 – Ilustração do princípio do método da mancha de areia

A partir dos desenvolvimentos das técnicas de medição sem contacto do perfil de uma superfície, passou a ser possível substituir as medições de mancha volumétrica pelas medições resultantes do registo de perfis. Um perfil de uma superfície é uma representação bidimensional, gerada por um sensor, como a ponta de uma agulha ou laser, que toca ou atinge continuamente a superfície do pavimento, à medida que é movido ao longo do mesmo.

Este método é adequado para determinar a Profundidade Média do Perfil (*Mean Profile Depth*, MPD) da superfície do pavimento. A profundidade média de um perfil com um determinado comprimento de cálculo corresponde à média dos valores obtidos em perfis individuais nele contidos cuja linha de base deve ter $100\text{mm} \pm 10\text{mm}$ de comprimento (Figura 6).

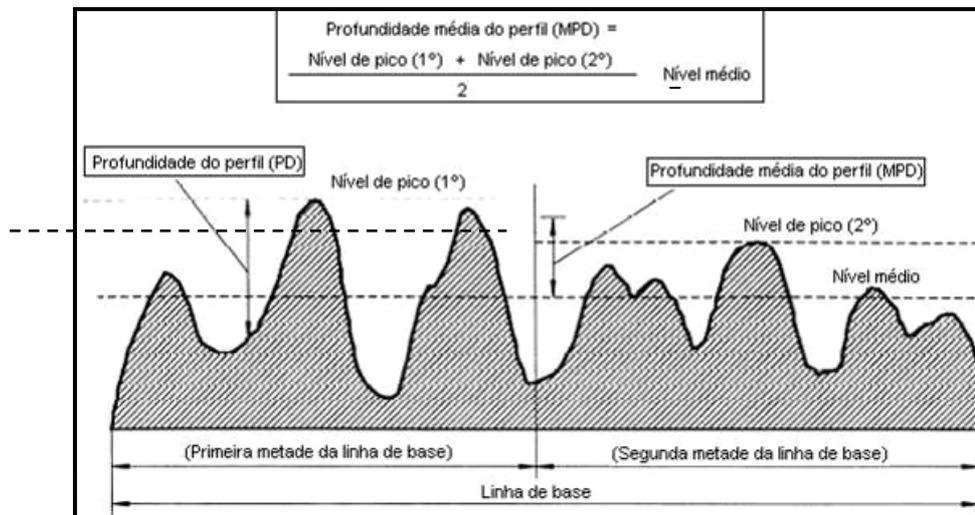


Figura 6 – Ilustração dos termos comprimento de base, profundidade do perfil (PD), profundidade média do perfil (MPD)

Em cada perfil individual, o nível de pico mais elevado sobre cada metade da linha de base deverá ser identificado. De seguida faz-se a média aritmética dos níveis dos dois picos à qual se subtrai o nível médio (do perfil).

A Profundidade Média do Perfil (MPD) pode ser convertida numa quantidade que estima a profundidade da macrotextura de acordo com o método volumétrico da mancha. O termo utilizado quando a Profundidade Média do Perfil é usada para calcular a Profundidade Média da Textura (MTD) é a Profundidade Estimada da Textura (*Estimated Texture Depth*, ETD). O valor de MPD pode ser transformado em ETD aplicando a seguinte equação de transformação:

$$ETD = 0.2 \text{ mm} + 0.8 \text{ MPD} \quad (2)$$

sendo ETD e MPD expressos em milímetros.

Os cadernos de encargos preconizam limites mínimos para a profundidade média da textura (MTD), também designada por altura de areia (Quadro 7). Nos casos particulares das misturas MA1 e MA2 o valor mínimo de MTD preconizado no caderno de encargos é de 0,7 mm.

Quadro 7 – Limites mínimos de MTD para diferentes tipos de misturas betuminosas

Tipo de mistura betuminosa	Altura de areia (mm)
Betão betuminoso	Aa > 0,6
Betão betuminoso drenante	Aa > 1,2
Microbetão rugoso	Aa > 1,0
Argamassa betuminosa	Aa > 0,4
Mistura betuminosa de alto módulo	Aa > 0,4

Resultados de caracterização da macrotextura

Para a medição da textura foi utilizado o equipamento do tipo multifunções descrito anteriormente. A profundidade média do perfil foi calculada em perfis com 20 m de comprimento ao longo da rodeira direita das vias esquerda e direita e nos dois sentidos de circulação do tráfego. A profundidade média do perfil foi depois convertida para a profundidade estimada da textura de acordo com a Equação (2).

Nas Figuras 7 e 8 apresenta-se a ETD, respectivamente, nas vias direita e esquerda dos sentidos Norte/Sul e Sul/Norte.

De uma forma geral, verifica-se uma grande variabilidade dos resultados, quer entre os vários tipos de misturas quer para a mesma mistura. Verifica-se ainda que os limites superiores e inferiores observados se afastam muito dos valores “normais” para este tipo de misturas, particularmente no trecho correspondente à MA2 (0,7 mm), no sentido Norte/Sul, e no trecho correspondente ao BB 0/12 (0,6 mm), no sentido Sul/Norte.

Especialmente no sentido Norte/Sul (Figura 7) observa-se ainda que a ETD apresenta valores superiores na via direita, os quais se afastam consideravelmente dos valores observados na via esquerda. Embora com diferenças inferiores, esta tendência também se observa no sentido inverso (Figura 8).

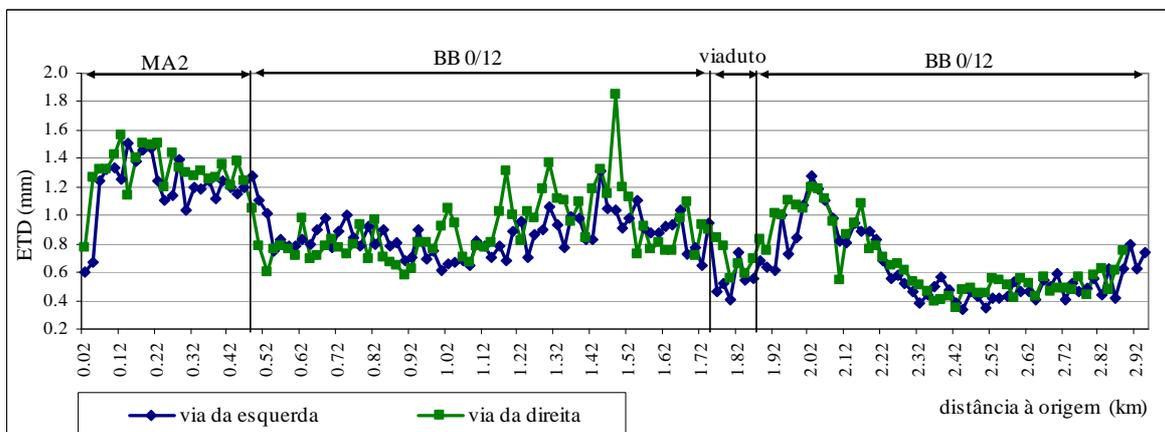


Figura 7 – Profundidade estimada da textura no sentido Norte/Sul



Figura 8 – Profundidade estimada da textura no sentido Sul/Norte

O facto da ETD se afastar consideravelmente dos valores “normais” terá como consequência a redução da durabilidade da camada, devido à maior aptidão para a desagregação das misturas. Imediatamente após a abertura ao tráfego, este fenómeno começou a verificar-se na mistura BB 0/12 com maior incidência no sentido Norte/Sul.

Como consequência, as actividades de conservação do estado da camada de desgaste terão que ser definidas e postas em prática mais cedo que seria desejável.

CARACTERIZAÇÃO DO ATRITO

O atrito entre pneumáticos e a superfície do pavimento é um parâmetro que interessa essencialmente à segurança de circulação dos veículos. Trata-se de um parâmetro evolutivo no tempo que pode ser avaliado através do coeficiente de atrito longitudinal (*side force coefficient*, SFC) e do coeficiente de atrito transversal (*longitudinal force coefficient*, LFC). O primeiro interessa sobretudo à distância de paragem, enquanto que o segundo avalia a segurança de circulação em curva (Branco et al., 2005), sendo por isso objecto de mais estudos e aplicações práticas. O coeficiente de atrito longitudinal ou transversal é obtido pela razão entre a força horizontal entre a superfície do pavimento e a carga vertical exercida sobre uma roda de ensaio. Estes coeficientes dependem das condições de ensaio no que respeita ao estado da superfície (seca, molhada) e à roda (tipo de pneu e grau de bloqueio).

Descrição do equipamento

Os ensaios para a determinação do coeficiente de atrito foram realizados em contínuo a uma velocidade média de 50 km/h com o equipamento Grip-Tester. Este equipamento mede o coeficiente de atrito longitudinal entre a superfície do pavimento e uma roda normalizada, quando o equipamento se desloca a uma velocidade constante em intervalos de 10 metros. A roda de medição é parcialmente bloqueada, sendo projectada sob esta uma película de água com 0,5 cm de espessura. Os resultados obtidos com o Grip-Tester podem ser convertidos de forma a serem comparáveis com os do equipamento SRIM, bastando multiplicá-los por 0,89. O SCRIM mede o SFC e por isso foi adoptado pelos Cadernos de Encargos CE). Para este parâmetro, o CE tipo da Estradas de Portugal preconiza o valor mínimo de 0,40.

Resultados de caracterização do atrito

O coeficiente de atrito transversal apresenta valores superiores ao preconizado no CE, sendo em média 0,6. A título de exemplo, nas figuras 9 e 10 apresentam-se os resultados obtidos a cada 10 m para o SFC, nas vias da direita de cada sentido de circulação. Embora o tipo de superfície varie ao longo da estrada, observa-se que não há alteração no coeficiente de atrito que daí advenha. Contudo, em particular no sentido Norte/Sul, observa-se pontualmente uma redução considerável do SFC. Assim, a curto prazo deverá ser feita uma nova observação deste parâmetro de modo a que as condições de segurança possam ser garantidas.

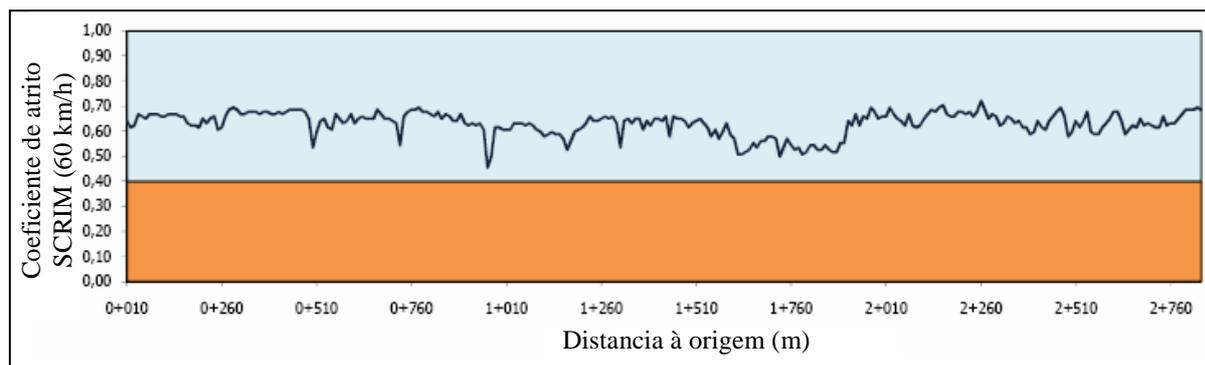


Figura 9 – Coeficiente de atrito no sentido Norte/Sul

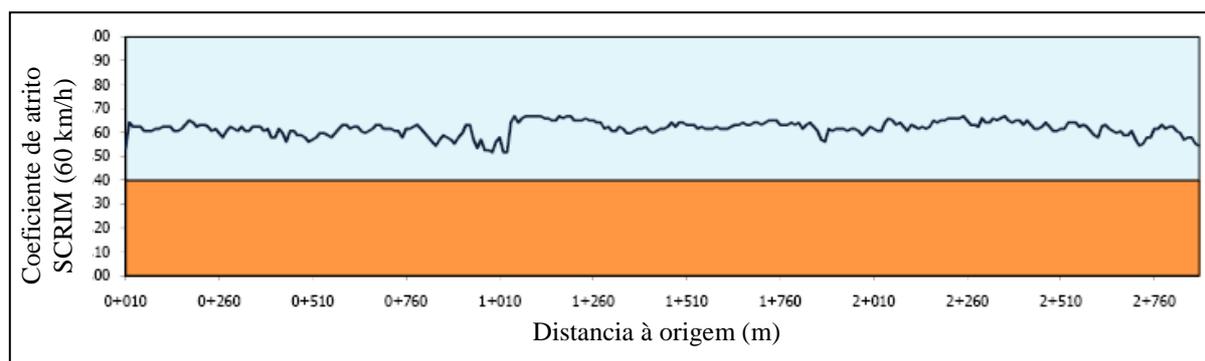


Figura 10 – Coeficiente de atrito no sentido Sul/Norte

CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO

Métodos de avaliação do ruído e respectivos indicadores

A avaliação do ruído de tráfego pode ser feita sobre duas vertentes, a ambiental e a do pneu/pavimento. Na vertente ambiental, actualmente o Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, estabelece e articula o novo Regulamento Geral do Ruído com outras normas e/ou regimes jurídicos.

Os parâmetros de ruído usados para a avaliação do ruído ambiental são o L_{den} , que agrega o ruído medido nos períodos diurno-entardecer-nocturno, e o L_n , que é o nível sonoro médio de longa duração determinado durante uma série de períodos nocturnos (das 23 às 7 horas), cujos limites máximos foram estabelecidos em função da classificação da zona onde se está a efectuar a medição.

Na outra vertente, vários são os métodos que têm vindo a ser utilizados para a comparação do desempenho acústico de superfícies de estradas. De entre os métodos mais utilizados destacam-se os seguintes:

- Método da estrada proximidade (CPX);
- Método Estatístico de passagem (SPB);
- Método da passagem controlada (CPB).

Para a medição do ruído pelo método CPX é utilizado um atrelado normalizado (puxado por um veículo comum) onde são colocados pneus de ensaio e pelo menos dois microfones junto do pneu ou, alternativamente, os microfones são colocados no próprio veículo ligeiro. O esquema de montagem dos microfones deve estar de acordo com o definido na Norma ISO/DIS 11819-2: 2000: “Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: Close –Proximity method”.

O método SPB baseia-se na medição dos níveis máximos de pressão sonora, ponderada A, de um número estatístico significativo de veículos individuais em passagem, num trecho específico da estrada para as velocidades de circulação dos veículos (ISO 11819-1:1997).

A configuração do ensaio encontra-se apresentada na Figura 11. O microfone deverá estar localizado $1.2 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ acima do plano da faixa de rodagem. Assim, a cada passagem individual de um veículo, o nível sonoro (máximo) e a velocidade do veículo são registados.

Os níveis de ruído dos veículos ligeiros, veículos pesados de eixo duplo e veículos pesados de eixo múltiplo são adicionados, assumindo determinadas proporções destas categorias de veículos, para fornecer um único "índice" que constitua o resultado final. Este índice é designado por Índice Estatístico de Passagem (SPBI) e pode ser usado na comparação de superfícies de estrada, de modo que a sua influência no nível de ruído de um fluxo de tráfego misto possa ser determinada.

O método da passagem controlada é semelhante ao método SPB (Sandberg et al., 2002). Neste método, os veículos de ensaio são seleccionados e as restantes condições, como a velocidade, o tipo de pneu, a mudança engrenada no veículo e o número de passagens, são controladas.

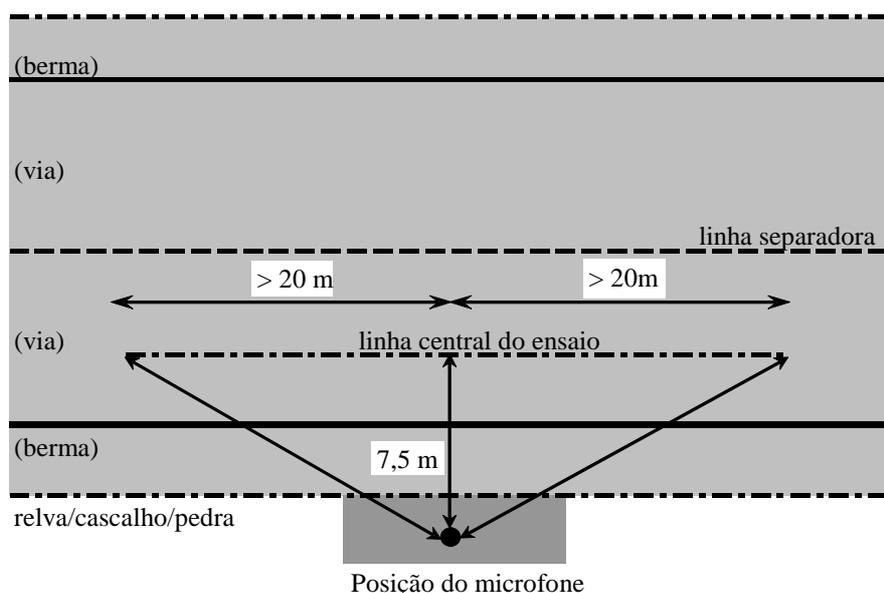


Figura 11 – Configuração do ensaio pelo método estatístico de passagem (ISO 11918-1, 1007)

O ensaio do tipo “passagem” (SPB) é considerado o melhor na quantificação do ruído total na berma da estrada ou imediações, sendo que tem em conta todos os tipos de fonte de ruído rodoviário, em vez de apenas os componentes pneu/pavimento.

Para além do SPBI, não foram desenvolvidos outros índices especificamente para a avaliação do ruído de contacto pneu-pavimento. No entanto, o nível sonoro máximo (Lmax) tem sido usado como parâmetro associado ao ruído de contacto pneu/pavimento.

Resultados de caracterização do ruído

Para a avaliação do desempenho acústico dos três tipos de superfície da estrada em estudo adoptou-se o método da passagem controlada. Os veículos usados no ensaio foram dois ligeiros (1 Volkswagen Polo e 1 Mazda) e um pesado de três eixos. As velocidades de ensaio de cada veículo foram as recomendadas na norma ISO 11819-2:1997(E). O ensaio consistiu na passagem dos veículos a velocidade constante em cada faixa de rodagem junto à qual se colocaram dois sonómetros para a medição do ruído simultaneamente em cada tipo de mistura e um radar para a medição da velocidade de passagem. Assim, em cada faixa de rodagem foram efectuadas medições nas seguintes condições:

- Veículos ligeiros – duas passagens a 50 km/h, 80 km/h e 110 km/h;
- Veículo pesado – duas passagens a 60 km/h, 80 km/h e 90 km/h.

Deste modo, a camada em betão betuminoso 0/12 foi avaliada duas vezes, sendo designada por BB1 e BB2 nos sentidos Sul-Norte e Norte-Sul, respectivamente.

Os níveis de ruído máximo medidos em cada passagem a velocidade diferente estão apresentados na Figura 12 a) para o veículo pesado e na Figura 12 b) para os veículos ligeiros.

No Quadro 8 apresentam-se os níveis de ruído calculados a partir da regressão do nível de ruído com o logaritmo da velocidade para cada velocidade de referência, de forma a facilitar a análise dos resultados.

Quadro 8 – Nível de ruído para as velocidades de referência

Tipo de veículo	velocidade (km/h)	Nível de ruído máximo (dB(A))				
		MA1	BB1	BB2	MA2	Max-Min
Pesado	60	81.6	83.1	82.2	82.8	1.6
	80	85.9	88.9	88.6	87.1	2.9
	90	87.7	91.2	91.2	88.8	3.5
Ligeiro	50	65.5	67.0	67.7	63.8	3.9
	80	69.5	73.4	74.1	68.5	5.6
	110	72.2	77.8	78.5	71.7	6.8

Para o veículo pesado e a todos os níveis de velocidade, a camada MA1 apresentou os mais baixos níveis de ruído, tendo por isso o melhor desempenho. A seguir encontra-se a camada MA2 e finalmente as camadas BB1 e BB2. As diferenças encontradas a 60 km/h são pouco significativas (1.6 dB(A)).

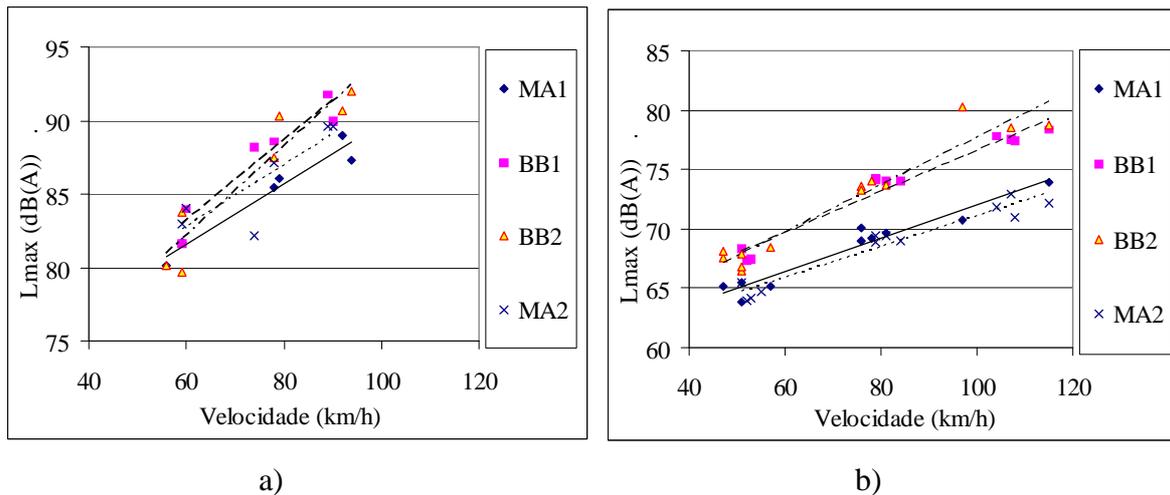


Figura 12 – Nível de ruído máximo: a) para o veículo pesado; b) para os veículos ligeiros

Para os veículos ligeiros e a todos os níveis de velocidade, a camada MA2 obteve o melhor desempenho, apresentando os mais baixos níveis de ruído. As camadas BB1 e BB2 também apresentaram um desempenho inferior ao da camada MA1. Neste caso, as diferenças de ruído entre a camada com melhor e pior desempenho são significativas a todos os níveis de velocidade. Se a camada em BB 0/12 for tomada como referência, é possível obter-se reduções de ruído até cerca de 7 dB(A) a 110 km/h. As vantagens da utilização deste tipo de camadas delgadas ficam deste modo comprovadas.

Apesar da obtenção destes resultados encorajadores, é necessário acompanhar a evolução do desempenho acústico destas camadas ao longo do tempo com o objectivo de se conhecer a sua eficácia a longo prazo.

CONCLUSÕES

A nível europeu, através da acção COST 354 foram definidos vários indicadores de desempenho para a caracterização da qualidade estrutural, funcional e ambiental de diversos tipos de infraestruturas rodoviárias.

Desse conjunto de indicadores, foram abordados neste artigo os que dizem respeito à qualidade funcional e ao impacto ambiental de uma estrada urbana, nomeadamente:

- regularidade longitudinal, caracterizada pelo índice de irregularidade longitudinal, IRI;
- macrotextura, caracterizada pela profundidade média do perfil, MPD, e convertida posteriormente para a profundidade média da textura, ETD;
- resistência à derrapagem, caracterizada pelo coeficiente de atrito longitudinal, LFC, convertido posteriormente para o coeficiente de atrito transversal, SFC;
- ruído (de contacto pneu/pavimento), caracterizado pelo nível sonoro máximo, Lmax.

Para a observação dos parâmetros técnicos de qualidade funcional (irregularidade, textura e resistência à derrapagem) foi utilizado um veículo do tipo multifunções e para a medição do ruído foram efectuadas medições junto à berma com a passagem de veículos a diversas velocidades.

Os parâmetros de caracterização do estado funcional, em particular a regularidade longitudinal e a macrotextura, apresentaram uma variabilidade ao longo da estrada que foi determinada pela qualidade de construção da mesma. Os elevados valores de IRI e de ETD poderão determinar a resistência da estrutura, devido às cargas dinâmicas, e a durabilidade das camadas de desgaste, devido à maior aptidão para o arrancamento de materiais.

O nível de ruído de contacto pneu/pavimento produzido nas duas camadas de desgaste com textura otimizada é inferior ao nível de ruído das misturas betuminosas convencionais. O impacto da utilização destas misturas no ruído ambiental é reduzido consideravelmente, sobretudo a velocidades elevadas.

Os resultados obtidos serão considerados na definição de um plano de observação do estado funcional e estrutural do pavimento, o qual apoiará as estratégias de conservação a curto, médio e longo prazo. Este plano será acompanhado de um plano de observação do ruído, com o objectivo de verificar o desempenho acústico e apoiar a construção de camadas de baixo ruído em meio urbano.

REFERENCIAS

Antunes, M. e Marecos, V., Indicadores de Desempenho para Pavimentos Rodoviários, V Congresso Rodoviário Português, Centro Rodoviário Português, Estoril, 2008.

Branco, F., Pereira, P. e Picado-Santos, Luís, Pavimentos Rodoviários, Edições Almedina, 2005.

COST 324, Long Term Performance of Road Pavements, Final Report of the Action, Transportation Research, Luxemburg, 1997.

Delanne, Y., Daburon, P., Unevenness and Vibrational Comfort of light Cars, International Symposium of the Environmental Impact of Road Unevenness, Oporto, Portugal, 1999.

Dolcemascolo, V., Jacob, B., Influence of the Road Profile on Pavement Dynamic Loading, International Symposium of the Environmental Impact of Road Unevenness, Oporto, Portugal, 1999.

Domenichini, L., Martinelli, F., Influence of the Road Characteristics on Tyre Wear, 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics-Roads and Airports, World Road Association, Toronto, Canada, 2004.

ISO CD 11819-2, Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: The Close Proximity Method, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve, Switzerland, 2000.

ISO 11819-1, Acoustics – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 1: Statistical Pass-By Method, International Organisation for Standardisation (ISO), Geneve, Switzerland, 1997.

Larson, R., Scofield, L., Sorenson, J, Pavement Functional Surface Characteristics, 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics-Roads and Airports, World Road Association, Toronto, Canada, 2004.

Lemlin M., Development of Tools for Performance Measurement, Final Report, PIARC Committee on Performance of Road Administrations (C15), World Road Association, 1998.

Sandberg, U., Ejsmont, J. Tyre / Road Noise Reference Book, Informex SE – 59040, Kisa, Sweden (www.informex.info), 2002.

Sayers, M., Karamihas, S., Little Book of Profiling, Basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan, 1998.

SILVIA, “Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces”, FEHRL Report 2006/02, Forum of European National Highway Research Laboratories, Brussels, Belgium, 2006.