

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO IRI OBTIDO POR VÁRIOS PERFILÓMETROS

Elisabete Freitas
Universidade Minho
Guimarães, Portugal
efreitas@civil.uminho.pt

Paulo Pereira
Universidade Minho
Guimarães, Portugal
ppereira@civil.uminho.pt

M. Lurdes Antunes
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal
mlantunes@lnec.pt

Pedro Domingues
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal
pdomingos@lnec.pt

RESUMO

A irregularidade longitudinal, caracterizada habitualmente pelo Índice Internacional de Irregularidade (IRI – *International Roughness Index*), é um dos parâmetros de estado dos pavimentos rodoviários cuja variabilidade pode ter consequências relevantes nas estratégias de reabilitação e, consequentemente, nos custos e na sua vida de serviço. Por esta razão, este artigo tem por principal objectivo proporcionar às entidades referidas informação útil no que respeita à variabilidade do IRI, calculado a partir de dados obtidos por vários perfilómetros. Assim, foram seleccionados cinco veículos do tipo “multifunções”, que pertencem quer a empresas de consultadoria quer a instituições de investigação, e três trechos de estrada com camadas de desgaste em betão betuminoso drenante, betão betuminosos rugoso e betão betuminoso “convencional”. Cada veículo percorreu cinco vezes cada trecho nos dois sentidos de tráfego. O espaçamento adoptado para o cálculo do IRI foi de 100 m. A média e o desvio padrão foram os parâmetros usados para estudar a variabilidade dos resultados. De uma forma geral verificou-se que o valor do desvio padrão do IRI é 20 a 30% do valor da média.

INTRODUÇÃO

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 desempenho dos pavimentos, 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” 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 rodeira [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.

Do conjunto dos indicadores de qualidade funcional destaca-se a regularidade longitudinal, associada na generalidade dos casos ao parâmetro técnico IRI (*International Roughness Index*) (Quadro 1).

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

O IRI é um índice amplamente usado e bem estabelecido que foi desenvolvido de modo a ser linear, portátil e estável no tempo. A característica “portátil” refere-se à possibilidade de ser medido por diversos equipamentos, proporcionando os mesmos resultados. A característica “estável” resulta da definição matemática do perfil longitudinal, a qual não é afectada pelo procedimento de medição nem pelas características do veículo usado na medição do perfil (COST 354, 2007).

A verificação destas características é importante, em particular para as administrações rodoviárias, uma vez que a variabilidade dos dados provenientes de diversos perfilómetros pode ter consequências relevantes na definição da qualidade inicial dos pavimentos e posteriormente das estratégias de reabilitação e, consequentemente, nos custos e na sua vida de serviço.

A análise da variabilidade dos dados pode ser feita de uma forma simples através de parâmetros estatísticos tais como a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. No caso específico dos perfilómetros é importante estudar a repetibilidade e a reprodutibilidade. Por um lado a repetibilidade é entendida como a capacidade do equipamento reproduzir o mesmo resultado em diferentes passagens no mesmo local. Geralmente é expressa pela média e pelo desvio padrão dos resultados. Por outro lado a reprodutibilidade refere-se à proximidade dos resultados obtidos por equipamentos diferentes nas mesmas condições de ensaio. Esta é caracterizada pelo desvio padrão, neste caso particular, do IRI obtido por cada perfilómetro. No projecto EVEN, nas 20 secções de ensaio dos Estados Unidos o desvio padrão do IRI variou entre 0,09 e 0,28 m/km. Nas 17 secções japonesas o desvio padrão variou entre 0,20 e 0,55 m/km (Schmidt, 2001).

Este artigo aborda a variabilidade que o parâmetro IRI pode apresentar quando são utilizados equipamentos diferentes na observação de um determinado pavimento, em condições de funcionamento normais.

A seguir descreve-se o parâmetro IRI e o equipamento utilizado para a sua determinação. Depois apresenta-se a metodologia de estudo e analisa-se os resultados obtidos.

ÍNDICE INTERNACIONAL DE IRREGULARIDADE

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” (Figura 1) para uma velocidade de 80 km/h. Os deslocamentos simulados 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).

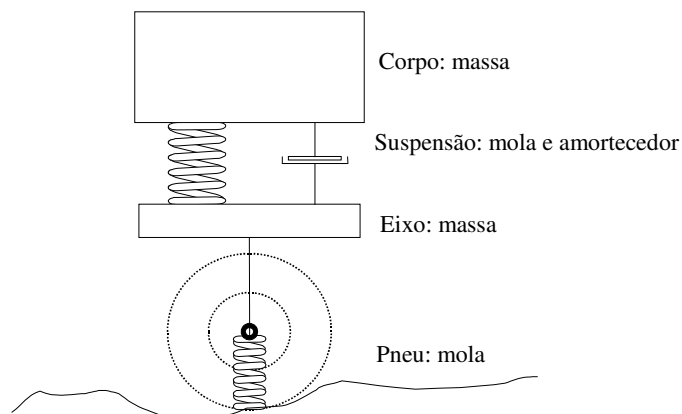


Figura 1 – Modelo de “quarto de veículo”

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

onde: B é a base de cálculo (comprimento em metros);
x é a abcissa sobre o perfil e
z é a diferença de cotas.

Actualmente o modo de definição do perfil longitudinal está a ser revisto (Sjögren, 2008) e sua integração nas normas EN 13036 está a ser considerada.

Quando o IRI das rodeiras esquerda e direita é medido, pode calcular-se a média dos seus valores o que dá origem ao “Índice de Irregularidade Médio” (MRI – *Mean Roughness Index* na terminologia anglo-saxónica).

Especificações portuguesas

Os Cadernos de Encargos adoptaram o IRI para a classificação dos pavimentos quanto à regularidade longitudinal. No Quadro 2 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 (EP, 2009). Os limites são diferenciados no caso de pavimentos novos e de pavimentos reabilitados. No Quadro 3 apresenta-se os 5 níveis de classificação e a correspondente descrição dos limites a cumprir para os dois casos (pavimento novo e reabilitado). 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.

Quadro 2 – Valores admissíveis de IRI (m/km), calculados por troços de 100 metros em pavimentos com camadas de desgaste betuminosas (adaptado de EP, 2009)

Pavimento	Percentagem da extensão da obra		
	50%	80%	100%
Novo	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3,0
Reabilitado com espessura de mistura betuminosa ≤ 0,10 cm	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 3,5

Quadro 3 – Classificação dos valores de IRI (EP, 2009)

Muito Bom	Excede largamente os parâmetros exigidos;
Bom	Cumprir os parâmetros exigidos excepção feita à percentagem da extensão do traçado com valores inferiores a 3,0 e 3,5, que deverá ser superior ou igual a 95%;
Razoável	Cumprir os parâmetros exigidos, excepção feita às percentagens de extensão do traçado com valores inferiores a 1,5 e 2,0 e 3,0 e 3,5, 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 e 2,0, 3,0 e 3,5 em percentagens do traçado superiores a 15, 60 e 85, respectivamente;
Mau	Não cumpre os parâmetros exigidos nas classificações anteriores.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Metodologia de ensaio

Para ser possível a análise da variabilidade do IRI, foram seleccionadas 3 trechos com camadas de desgaste diferentes, o que permitiu também a análise da variabilidade da textura (não apresentada neste documento). Dois destes trechos situam-se numa autoestrada do norte de Portugal e o outro situa-se numa estrada nacional. Nos 3 trechos foram efectuadas 5 passagens em cada um dos sentidos por cada um dos 5 perfilómetros seleccionados, à velocidade do tráfego, o que corresponde a um conjunto de 6 secções:

- secções 1 e 3 em betão betuminoso drenante (BBDr) com a extensão de 7 km/sentido;
- secções 2 e 4 em betão betuminoso rugoso (BBR) com a extensão de 18 km/sentido;
- secções 5 e 6 em betão betuminoso denso (BB) com a extensão de 1,5 km/sentido.

Os dados foram registados em intervalos de 100 m nas duas rodeiras.

Perfilómetros

Os perfilómetros utilizados nos ensaios pertencem a universidades, laboratórios de investigação e empresas de consultadoria (Figura 2). Para a medição do perfil longitudinal, estes perfilómetros integram um acelerómetro, usado na obtenção do movimento vertical do corpo do veículo, e um sensor tipo laser, usado na medição do deslocamento entre o corpo do veículo e a superfície do pavimento. O perfil da estrada é obtido somando o movimento do corpo do veículo com o deslocamento veículo/pavimento.



Figura 2 – Perfilómetros usados nos ensaios

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma correcta interpretação dos resultados é necessário salientar que os ensaios foram realizados em condições de funcionamento normais, isto é, como habitualmente são feitos por cada um dos operadores, e com tempo seco.

Os dados registados foram integralmente usados na análise que se apresenta a seguir, sendo que podem conter valores eventualmente aberrantes. Por consequência, estão reflectidas nos resultados todas as fontes de erro.

Análise do IRI médio

Para a análise da variabilidade do IRI foi calculado o parâmetro MRI o qual corresponde à média dos valores de IRI das rodeiras direita e esquerda. Na Figura 3 apresenta-se a média do MRI nas 6 secções de ensaio.

Para cada equipamento e para todas as superfícies observadas, a média do MRI apresenta variações entre as diversas passagens que podem ser desprezadas. Porém, um dos equipamentos (PER 4) apresenta valores de MRI superiores. Por sua vez, a diferença das médias entre os diversos perfilómetros atinge agora o máximo de 0,3 m/km nas secções com camadas de desgaste em betão betuminoso. Esta discrepância de resultados pode ser explicada

peelo facto da secção envolvida se situar numa estrada nacional, à qual estão associados valores dos parâmetros de construção e de desempenho menos exigentes do que para as autoestradas.

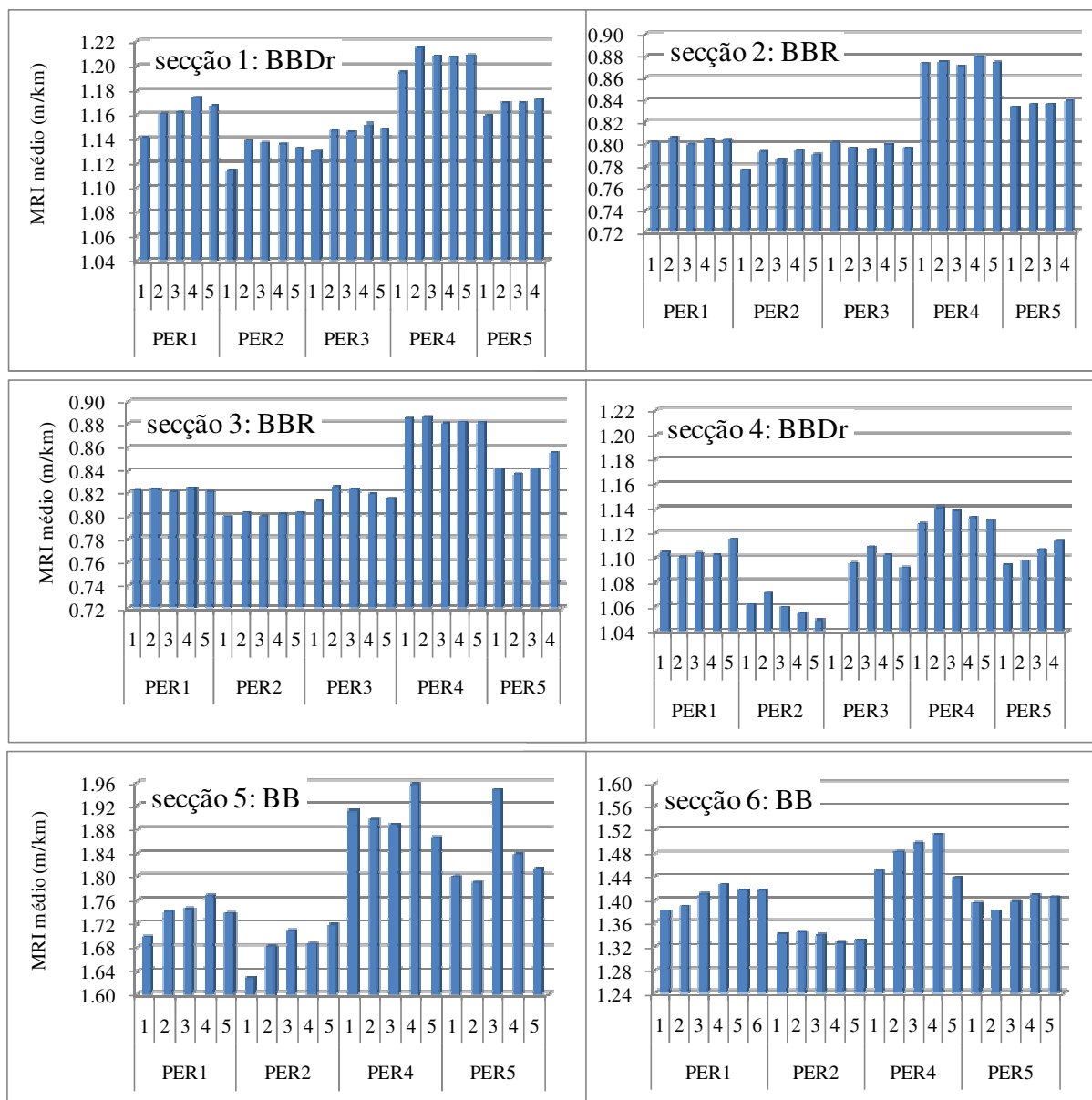


Figura 3 – MRI médio por secção e por perfilómetro

Análise do desvio padrão

O desvio padrão calculado em cada uma das 6 secções está apresentado na Figura 4. O seu valor varia entre 0,10 e 0,60 m/km. Neste parâmetro, observou-se na terceira passagem um valor elevado para o PER 5. Este resultado foi influenciado por uma sub-secção de 100 m, que neste caso particular deveria ter sido eliminada da análise uma vez que parece ser um valor aberrante. De uma forma geral, os resultados obtidos estão de acordo com os publicados no programa FILTER (Schmidt, 2001).

Os desvios padrão estão compreendidos entre 20 e 30% da média, para qualquer equipamento e em qualquer passagem. No caso particular do betão betuminoso denso a razão entre o desvio padrão e a média do MRI é ligeiramente superior à das outras camadas.



Figura 4 – Desvio padrão do MRI por secção e por perfilómetro

CONCLUSÕES

A qualidade funcional dos pavimentos é irrefutavelmente influenciada pelas irregularidades dos pavimentos, levando a que a irregularidade seja avaliada periodicamente ao nível da rede, no âmbito das actividades de garantia da qualidade das infraestruturas e de gestão da conservação. Uma vez que equipamentos diferentes dão resultados também diferentes, foi feita uma análise da variabilidade dos resultados obtidos pelos diversos equipamentos, com base na média e no desvio padrão do indicador MRI (média do IRI das rodeiras esquerda e direita) determinados em 3 pavimentos com camadas de desgaste em betão betuminoso denso, betão betuminoso rugoso e betão betuminoso drenante.

De uma forma geral verificou-se que o valor do desvio padrão do IRI é 20 a 30% o valor da média.

Pode de igual forma concluir-se que a adjudicação sucessiva da observação do parâmetro de desempenho IRI a instituições ou empresas diferentes tem um impacto reduzido nos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a participação das empresas de consultadoria CONSULPAV, CONSULSTRADA e NORVIA.

REFERÊNCIAS

- Antunes, M., Marecos, V. (2008). Indicadores de Desempenho para Pavimentos Rodoviários. *V Congresso Rodoviário Português*, Centro Rodoviário Português, Estoril.
- COST 324 (1997). Long Term Performance of Road Pavements. Final Report of the Action, Transportation Research, Luxemburg.
- Delanne, Y., Daburon, P. (1999). Unevenness and Vibrational Comfort of light Cars. *International Symposium of the Environmental Impact of Road Unevenness*, Oporto, Portugal.
- Dolcemascolo, V., Jacob, B. (1999). Influence of the Road Profile on Pavement Dynamic Loading. *International Symposium of the Environmental Impact of Road Unevenness*, Oporto, Portugal.
- EP (2009). *Caderno de Encargos Tipo Obra*, Volume V: 03 – Pavimentação - Capítulo 15.03. Estradas de Portugal, Almada.
- Lemlin M. (1998). Development of Tools for Performance Measurement. Final Report, PIARC Committee on Performance of Road Administrations (C15), World Road Association.
- Schmidt, B. (2001). EVEN Project, Experiment to Compare and Harmonize Methods for Assessment of Longitudinal and Transverse Evenness of Pavement. *Transportation Research Record 1764*, National Research Council: 221-231. Washington, D.C.
- Sayers, M., Karamihas, S. (1998). *Little Book of Profiling*. Basic information about measuring and interpreting road profiles, University of Michigan.
- Sjögren, L. (2008). Longitudinal Unevenness. State of Progress of the Standardization Work in CEN, *Evaluation of Pavement Surface Characteristics*, Proceedings of the Seminar, Guimarães.