

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS DEGRADAÇÕES NO RUÍDO PNEU-PAVIMENTO

OLIVEIRA A.¹, FREITAS E.^{1*}, MARTINS F.² TORRES H.¹

1: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, CTAC
Campus de Azurém, 4800 058 Guimarães
*efreitas@civil.uminho.pt

2: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, ISISE
Campus de Azurém, 4800 058 Guimarães

Palavras-chave: ruído pneu-pavimento, CPX, degradações, LAeq, data mining

Resumo *O ruído pneu-pavimento é a principal fonte de ruído nos veículos a velocidades superiores a 40 km/h, sendo de forma indireta um grande contribuinte para o ruído ambiental. Como as degradações existentes na superfície dos pavimentos provocam alterações nas suas características, torna-se importante o estudo da influência destas no ruído pneu-pavimento. Assim, neste estudo, recorrendo ao método da proximidade imediata (CPX) e a uma técnica de Data Mining, designada de Máquinas de Vetores de Suporte, para a modelação do ruído, avaliou-se a importância de degradações tais como o fendilhamento, a pele de crocodilo e a desagregação na geração do ruído pneu-pavimento. Confirmou-se assim que as patologias têm uma contribuição relevante para o ruído pneu-pavimento, o que justifica ter em conta o estado de degradação do pavimento quando se pretende estimar os níveis de ruído pneu-pavimento.*

1. INTRODUÇÃO

O ruído de tráfego é um dos contribuintes mais relevantes para o ruído ambiental, sendo que a componente relativa ao ruído pneu-pavimento é predominante na gama de velocidades praticadas em meios urbanos [1]. O ruído de interação pneu-pavimento tem sido objeto de vários estudos. Nesses estudos foram identificados vários fatores que o influenciam, tais como, a velocidade, a composição do tráfego e as características e condições da superfície do pavimento. Os dois primeiros fatores são ainda estudados exaustivamente, enquanto o terceiro, respeitante às características e condições da superfície dos pavimentos, ainda requer um esforço de investigação considerável. Porém, reconhece-se que a macrotextura e a porosidade são duas características fundamentais das camadas superficiais de pavimentos no controlo do ruído pneu-pavimento [2].

Ao longo do tempo, a superfície dos pavimentos altera-se e desenvolve degradações que resultam das sucessivas passagens do tráfego e ainda da ação do clima [3]. As degradações são responsáveis por alterações não só da resistência mecânica, mas também da rugosidade, da textura e da regularidade do pavimento, provocando, para além de desconforto e insegurança aos condutores, modificações no ruído pneu-pavimento. Os vários tipos de degradações ou patologias que ocorrem nos pavimentos rodoviários podem ser agrupados em quatro famílias: deformações, fendilhamento, desagregação da camada de desgaste e movimento de materiais [3].

As deformações são depressões que resultam da rotura do pavimento numa pequena área do mesmo. O fendilhamento apresenta diferentes tipos de desenvolvimento, podendo ser dividido em fendas isoladas, transversais ou longitudinais à via, fendas parabólicas e pele de crocodilo. A desagregação da camada de desgaste divide-se em desagregação superficial, cabeça de gato, pelada e ninhos. A desagregação superficial resulta do desgaste rápido do ligante betuminoso que envolve os agregados

de granulometria mais grossa, originando o desprendimento destes. A cabeça de gato resulta da perda de microtextura superficial dos agregados. As peladas decorrem de um desprendimento de pequenas placas da camada de desgaste em relação à sua camada inferior. Os ninhos ou covas apresentam-se como depressões de forma arredondada, sendo vulgarmente conhecidos por “buracos”.

Neste estudo determina-se a importância que algumas destas degradações têm na geração de ruído pneu-pavimento, após uma avaliação do efeito que estas têm em função da velocidade e da textura. Para se atingir estes objetivos, mediu-se pela primeira vez o ruído pneu-pavimento em pavimentos com diversos tipos de patologias (fendilhamento, pele de crocodilo e desagregação), pelo método da proximidade imediata (CPX), a três níveis de velocidade. Para a análise da importância dos fatores considerados (tipo de superfície de pavimento, macrotextura, velocidade de ensaio e degradação) recorreu-se a uma técnica de *Data Mining (DM)* designada de *Máquinas de Vetores de Suporte*, [4,5,6] visto que esta técnica de DM tem dado bons resultados na previsão de ruído pneu-pavimento [7, 8].

O processo de DM é um passo da chamada descoberta de conhecimento em bases de dados (DCBD). A DCBD começa com a seleção dos dados, passa pelo pré-processamento dos dados selecionados, a transformação dos dados para aplicar o processo de DM e a sua interpretação para dar origem à descoberta do conhecimento [9]. O DM pode ser aplicado a problemas de classificação e de regressão. Nestes problemas existe um conjunto de exemplos constituído por variáveis de entrada e uma variável de saída. Existem várias técnicas de DM, nomeadamente as árvores de decisão, as redes neuronais artificiais e as MVS. As MVS, usadas neste estudo, não impõem restrições à partida e apresentam capacidade de captar relações não lineares entre variáveis.

2. METODOLOGIA DE ESTUDO

2.1. Secções de estudo

Para o estudo foram selecionados 11 trechos, com diferentes tipos de superfícies e patologias, sendo 3 trechos em Microbetão Betuminoso (MBB), 4 trechos em Betão Betuminoso (BB) e 4 trechos com Mistura de Betume Modificado com borracha (MBMB). As degradações selecionadas foram a pele de crocodilo, desagregação e fendilhamento, por serem as mais frequentes, sendo que também se considerou uma secção por tipo de superfície sem qualquer patologia para referência (Figura 1).

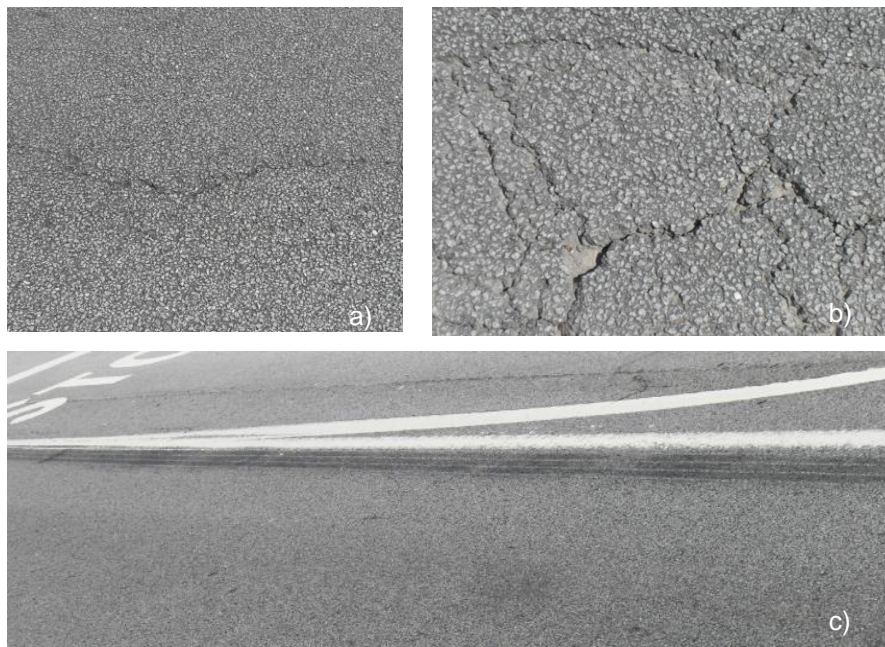


Figura 1. Ilustração das degradações dos pavimentos: a) fendilhamento ramificado; b) pele de crocodilo; c) desagregação.

2.2. Avaliação do ruído pneu-pavimento

O método utilizado para aquisição do ruído pneu-pavimento foi o método da proximidade imediata, descrito na norma ISO 11819-2: 2000 [10].

A aquisição do ruído gerado pela interação pneu-pavimento foi realizada com recurso a dois microfones Free-field ½ Type 4190 conectados à plataforma portátil Pulse Type 3560-C através de cabos AO-0419, da Brüel & Kjær. A plataforma Pulse era alimentada por uma bateria portátil, conectada a um computador portátil através de um cabo de rede.

Os ensaios foram feitos com um pneu Continental ContiEcoContact3 195/65-R15 aplicado num veículo ligeiro, de forma a representar o ruído de tráfego de ligeiros (Figura 2). Em cada secção, a medição do ruído foi feita às velocidades de 30 km/h, 50 km/h e 65 km/h.

Durante a medição do ruído pelo método CPX foi medida a temperatura do pavimento nos diferentes trechos com o auxílio de um termómetro Infravermelho Mastech de formato pistola e modelo MS-6530

Para a medição exata da velocidade diversas passagens do veículo a cada nível de velocidade utilizou-se radar tipo pistola da Bushnell.



Figura 2. Método CPX montado no pneu de ensaio.

O ruído medido foi registado e parcialmente processado no software Labshop, donde se obteve, para além dos ficheiros de som em formato *wave*, o nível de pressão sonora em dB. Estes ficheiros foram escutados e analisados. Seguiu-se a extração de excertos de 5 segundos através do programa Audicity. O indicador acústico nível de pressão sonora equivalente com ponderação A (LAeq) foi retirado com recurso à aplicação Pysound3 executada no programa Matlab 7.13.0.564. Este software para a análise de gravações de som utiliza algoritmos físicos e psicoacústicos e é de fácil utilização permitindo efetuar análises precisas.

2.3. Avaliação da textura da superfície do pavimento

A macrotextura da superfície dos pavimentos é um parâmetro utilizado na maioria dos modelos de previsão de ruído devido à elevada influência deste parâmetro no ruído [7] e também devido à sua facilidade de aquisição à velocidade de circulação do tráfego em trechos de estrada extensos. Para a caracterização da textura foi utilizado um perfilómetro a laser que funciona a alta velocidade (Figura 3). Este equipamento utiliza um sensor eletro-ótico, montado na parte dianteira de um veículo apropriado,

controlado por um computador, para medir o feixe de laser refletido do pavimento ao longo de um trajeto linear.

A caracterização da textura foi feita nos mesmos 11 trechos em que foi registado o ruído pneu-pavimento. Com os dados fornecidos pelo perfilómetro a laser é possível calcular a Profundidade Média do Perfil (MPD - *Mean Profile Depth*), isto é, o indicador mais usado nos modelos de ruído pneu-pavimento definido na norma EN ISO 13471-1:2004 [11].



Figura 3. Perfilómetro da Universidade do Minho.

2.4. Modelação do ruído pneu-pavimento e determinação das importâncias

A modelação do ruído-pavimento foi realizada no ambiente R usando a aplicação RMiner desenvolvida por Cortez [12] e que facilita o uso de várias técnicas de Data Mining entre as quais se incluem as Máquinas dos Vetores de Suporte, as Árvores de Decisão, as Redes Neurais Artificiais, os k-Vizinhos Próximos e as Regressões Múltiplas. Dado a técnica das Máquinas dos Vetores de Suporte (MVS) ter conduzido a bons resultados noutros estudos sobre a modelação de ruído pneu-pavimento [8], optou-se por usar esta técnica no presente trabalho. Esta técnica tem a capacidade de captar relações não lineares entre variáveis e tem com ideia básica a transformação dos dados de entrada num grande espaço característico m-dimensional, usando um mapeamento não-linear, onde são seleccionados vetores de suporte à previsão [4, 5, 6].

Para o desenvolvimento dos modelos de MVS foi criada uma base de dados, tendo como variáveis de entrada o tipo de pavimento (BB, MBB e MBMB), as patologias existentes (nenhuma degradação, fendilhamento, pele crocodilo e desagregação) e a textura (MPD) e como variável de saída o indicador acústico (LAeq).

Tendo em conta que a velocidade é um fator que se prevê ter uma elevada importância, foram construídas três bases de dados a partir da base de dados global, sendo cada uma delas constituída por dados relativos a um dado nível de velocidade (30, 50 ou 65 km/h). Com base nestas três bases de dados e a base de dados global foram desenvolvidos quatro modelos de previsão de LAeq.

Para comparar a capacidade de previsão dos quatro modelos, numa primeira fase foi usado um processo de validação cruzada, em que o conjunto total de dados foi dividido em dez subconjuntos iguais, sendo nove conjuntos usados para treino e um conjunto para teste. Este processo foi repetido 10 vezes sendo o desempenho dos modelos avaliado através da média das seguintes métricas obtidas com os subconjuntos de teste: Desvio Absoluto Médio (DAM), Erro Absoluto Relativo (EAR) e coeficiente de correlação de Pearson (COR). Essas métricas são calculadas através das pelas seguintes expressões:

$$DAM = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

$$EAR = \frac{DAM}{\frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \bar{y}_i|}{N}} \times 100\% \quad (2)$$

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i) \times (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2 \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}_i)^2}} \quad (3)$$

onde N designa o número de exemplos, y_i o valor desejado, \hat{y}_i o valor estimado pelo modelo em causa, \bar{y}_i a média dos valores desejados e $\bar{\hat{y}}_i$ a média dos valores estimados.

Para avaliar a importância relativa dos parâmetros de entrada do modelo é necessário efetuar uma análise de sensibilidade [13]. Essa análise permite avaliar a resposta do modelo a alterações nas variáveis de entrada. Para isso, faz-se variar separadamente cada um dos parâmetros de entrada desde o seu valor mais baixo até ao seu valor mais alto mantendo os restantes parâmetros de entrada com o seu valor médio. Um dado parâmetro de entrada será tanto mais importante quanto maior for a variância induzida por ele no parâmetro de saída do modelo.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Influência do tipo de pavimento no nível de pressão sonora

O efeito em termos gerais do tipo de pavimento no nível de pressão sonora pode ser analisado comparando para cada tipo de pavimento o nível de ruído médio entre a condição de referência (sem patologias) e o nível de ruído médio medido com as diversas patologias (Figura 4). A diferença de valores de referência resulta não só das características da própria superfície mas também do nível de desgaste a que foi submetida. Em termos médios, confirma-se um aumento do nível de ruído entre 1,8 dB(A) e 2,7 dB(A), sendo que a alteração mais importante ocorreu no pavimento em betão betuminoso que é o tipo de pavimento mais usado em Portugal.

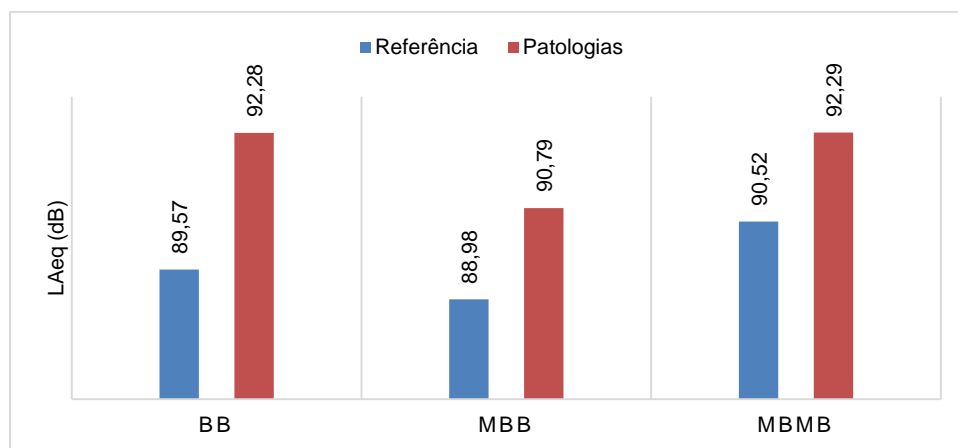


Figura 4. LAeq do pavimento em BB em função das degradações para os 3 níveis de velocidade.

3.2. Avaliação do efeito da velocidade no nível de pressão sonora por tipo de degradação

Em termos gerais, observa-se uma tendência clara de aumento do nível de ruído com a velocidade, para todos os tipos de superfície e degradação (Figura 5).

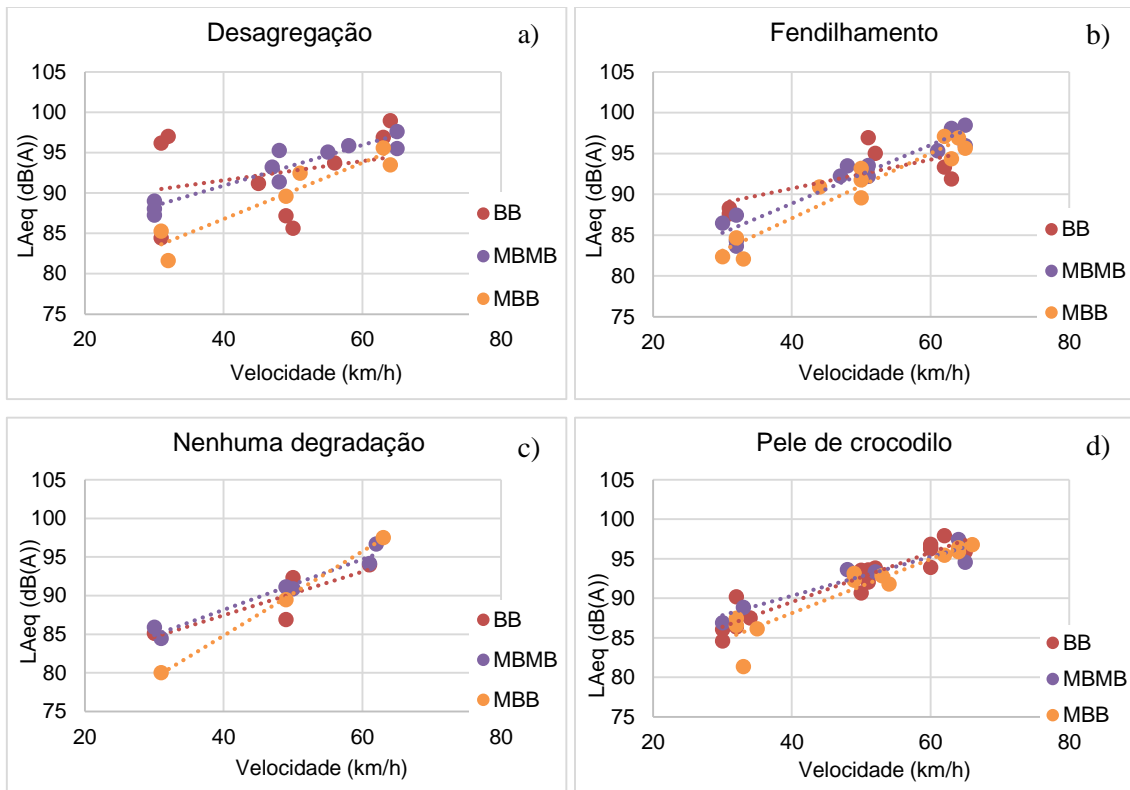


Figura 5. Nível de pressão sonora, dB(A), em função da velocidade, para: a) Desagregação; b) Fendilhamento; c) Nenhuma degradação; d) Pele de crocodilo.

Para a velocidade de 30 km/h o valor máximo de nível de pressão sonora sem qualquer tipo de degradação é 85.1 dB(A), 85.91 dB(A) e 80.01 dB(A) para os pavimentos com BB, MBMB e MBB, respectivamente. No que diz respeito à desagregação, a 30 km/h apresenta-se como valor máximo 97.02 dB(A) para o pavimento em BB, 89.01 dB(A) para o pavimento em MBMB e 85.28 dB(A) para o pavimento em MBB. Deste modo, pode-se constatar um claro aumento do nível de pressão sonora em função da patologia, desagregação. Esse aumento é mais visível em pavimentos com BB, apresentando uma variação do nível de pressão sonora de 11.92 dB(A), enquanto que nos pavimentos em MBMB e MBB essa variação é de 3.1 dB(A) e 5.27 dB(A), respectivamente.

No caso do fendilhamento a 30 km/h, foram registados como níveis de pressão sonora, 88.32 dB(A) para o pavimento com BB, 87.46 dB(A) para MBMB e 84.68 dB(A) para MBB. Assim sendo, os níveis de pressão sonora também são mais elevados com a patologia fendilhamento do que sem patologia, apresentando variações de 3.22 dB(A), 1.55 dB(A) e 4.67 dB(A) para os pavimentos em BB, MBMB e MBB, respectivamente.

Para os pavimentos com pele de crocodilo os valores máximos do nível de pressão sonora são 90.18 dB(A), 88.83 dB(A) e 87.45 dB(A) para pavimentos em BB, MBMB e MBB, respectivamente. Logo, os níveis de pressão sonora também são superiores quando o pavimento apresenta pele de crocodilo, sendo as variações de 5.08 dB(A) para o pavimento em BB, 2.92 dB(A) para MBMB e 7.44 dB(A) para MBB.

Deste modo, para velocidades de 30 km/h existe uma influência significativa do tipo de degradação que o pavimento apresenta, sendo os pavimentos com desagregação e pele de crocodilo os que mais

influenciam os níveis de pressão sonora em dB(A).

Para a velocidade de 50 km/h, os pavimentos sem degradações apresentam dois valores muito distintos dos restantes, o que não era expectável. Sendo assim considera-se o nível de pressão sonora é 86.87 dB(A), 91.11 dB(A) e 89.44 dB(A), para pavimentos em BB, MBMB e MBB, respetivamente. Neste caso, os níveis de pressão sonora mais elevados estão associados a fendilhamento e pele de crocodilo. A diferença entre o pavimento sem degradações e o pavimento em BB com fendilhamento é o que apresenta uma maior disparidade, sendo essa diferença de 10.08 dB(A).

Após a comparação dos resultados de referência com os das diversas patologias, constata-se que para a velocidade de 50 km/h, assim como a 30 km/h, os níveis de pressão sonora são superiores em pavimentos com degradações, sendo que o fendilhamento e pele de crocodilo são as degradações que mais influenciam esses níveis de pressão sonora para 50 km/h.

Para a velocidade de 65 km/h o valor máximo de nível de pressão sonora sem qualquer tipo de degradação é 93.97 dB(A), 96.68 dB(A) e 97.5 dB(A) para os pavimentos com BB, MBMB e MBB, respetivamente. Para esta velocidade as diferenças entre os níveis de referência com os medidos nas patologias não apresenta uma influência tão significativa como às velocidades de 30 e 50 km/h. Ainda assim, no pavimento em BB com desagregação e pele de crocodilo, observa-se uma diferença de 5.01 dB(A) e 3.94 dB(A), respetivamente, entre os níveis de pressão sonora obtidos sem degradação e sobre as patologias.

De forma geral, o nível de pressão sonora apresenta um aumento significativo relativamente a um pavimento sem degradações, essencialmente a 30 km/h, sendo que as degradações que têm maior influência são a desagregação e a pele de crocodilo.

3.3. Avaliação da textura em função das degradações para os diferentes pavimentos

A Figura 6 apresenta a média da profundidade média do perfil para os pavimentos em BB, MBB e MBMB, em função do tipo de degradação. Observa-se que para qualquer tipo de pavimento, existe um aumento dos valores de MPD para as patologias (fendilhamento, desagregação e pele de crocodilo), comparativamente aos valores obtidos para o pavimento sem qualquer tipo de degradação. Os valores mais altos da profundidade média do perfil estão associados ao pavimento em MBMB, nomeadamente para a desagregação. O pavimento em BB apresenta valores de MPD entre os diversos tipos de pavimentos muito próximos, não se esperando portanto que seja um fator diferenciador, enquanto que o pavimento em MBB apresenta diferenças de cerca de 0,1 mm entre as 3 degradações seleccionadas.

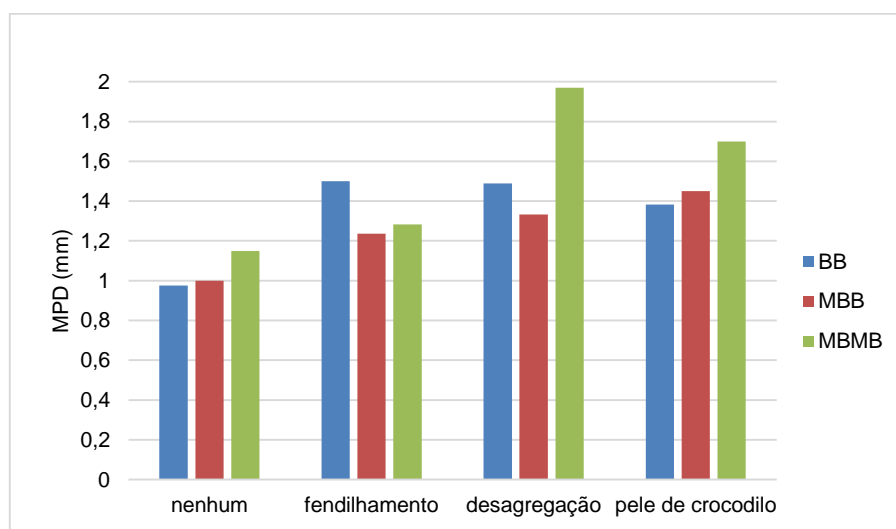


Figura 6. Profundidade média do perfil de diferentes pavimentos em função das degradações.

3.4. Avaliação do efeito das degradações no nível de ruído em função da textura

A Figura 7 representa o nível de pressão sonora equivalente com ponderação A em função da profundidade média do perfil (MPD) para as distintas patologias, com os diferentes tipos de pavimentos agrupados.

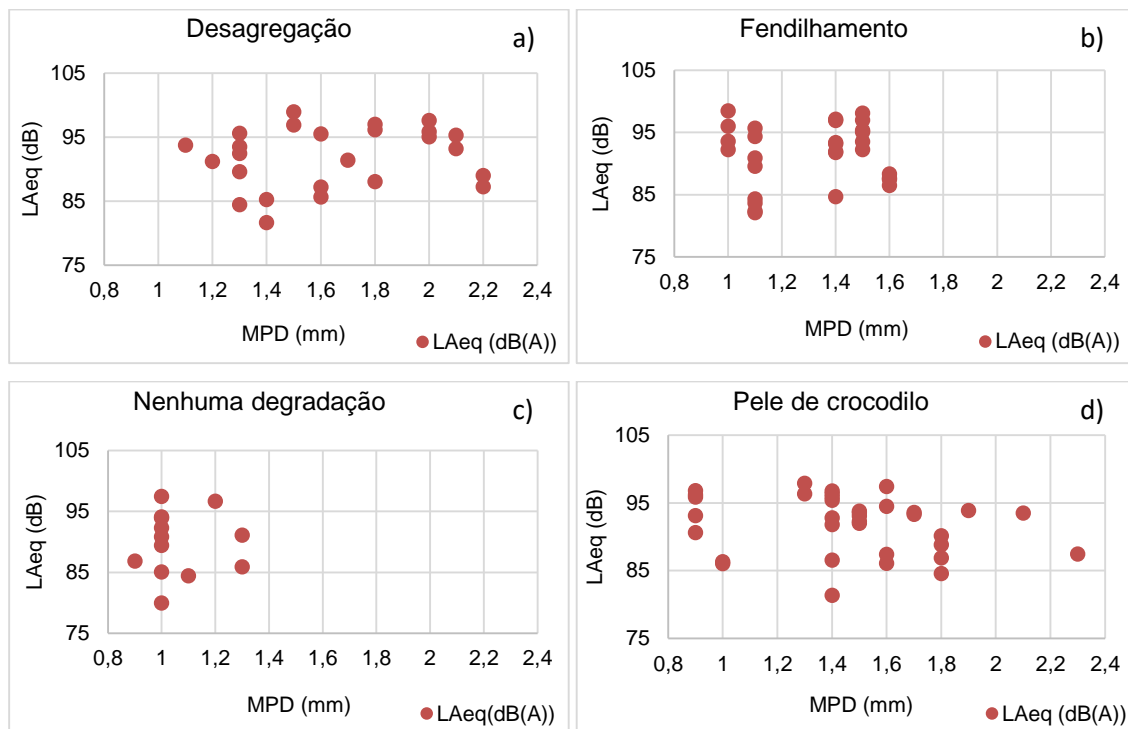


Figura 7. Indicadores acústicos em função do MPD, para: a) Desagregação; b) Fendilhamento; c) Nenhuma degradação; d) Pele de crocodilo.

Após a análise gráfica pode-se constatar que não há uma tendência definida entre o fator MPD e o nível de ruído, qualquer que seja a patologia. Observa-se claramente para a desagregação e a pele de crocodilo que um intervalo alargado de MPD [0,8; 2,4] mm corresponde a níveis de ruído muito semelhantes. Assim, espera-se que o parâmetro MPD tenha uma importância reduzida no modelo.

3.5. Modelação do ruído pneu-pavimento

Após a modelação do ruído com a técnica MVS foi possível calcular as medidas baseadas no erro e o coeficiente de correlação para o indicador LAeq, apresentadas na Tabela 1. Um modelo terá tanto mais capacidade preditiva quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de correlação e quanto menores forem os erros calculados na fase de validação cruzada. Como se pode constatar na Tabela 1, nas três medidas de desempenho analisadas, o modelo que usa todas as velocidades é aquele que apresenta melhores resultados em duas métricas (COR e EAR) enquanto o modelo que usa velocidades de 65 km/h apresenta melhor desempenho no DAM. Por isso, o modelo que usa todas as velocidades é aquele que apresenta a maior capacidade preditiva. Na Figura 8 apresenta-se a relação entre os valores medidos e os valores previstos pelo modelo que usa todas as velocidades. Como se pode constatar a mancha de pontos encontra-se muito próxima da linha a 45°. Isso demonstra a boa capacidade preditiva do modelo.

Tabela 1. Medidas baseadas no erro e coeficiente de correlação para o indicador LAeq.

	Vel. Todas	Vel. 30	Vel. 50	Vel. 65
COR	0.913	0.808	0.761	0.715
DAM	1.445	1.540	1.223	1.023
EAR	36.442	57.533	67.657	72.372

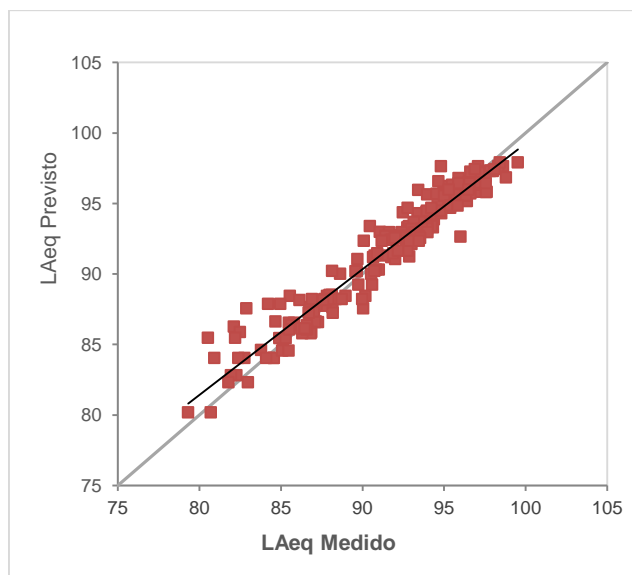


Figura 8. Relação entre os valores previstos e os valores medidos

3.6. Análise da importância das variáveis dos modelos

A importância das variáveis consideradas na modelação estão apresentadas na Figura 9. Quando é considerada a base de dados completa, ou seja, integrando todas as velocidades, a velocidade assume um importância muito elevada (70,6 %) e as patologias 26,1 %. Quando se considera as velocidades de forma separada (30, 50 e 65 km/h), as patologias assumem uma elevada importância, ultrapassando os 80%. Para a velocidade de 30 km/h, a textura assume uma importância superior a 60%. Em qualquer dos casos as patologias têm uma contribuição relevante no modelo, sempre superior a 20%, o que justifica ter em conta o estado de degradação do pavimento quando se pretende estimar os níveis de ruído pneu-pavimento.

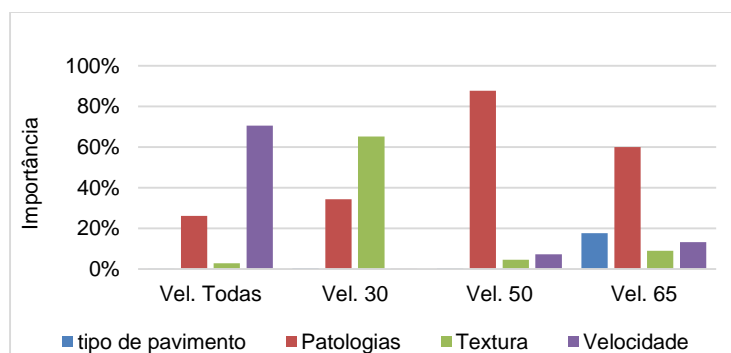


Figura 9. Importância das variáveis dos modelos.

4. CONCLUSÕES

Este estudo teve como pressuposto que as degradações ou patologias que aparecem na superfície dos pavimentos alteram o nível de ruído. Com base neste pressuposto foi definida e implementada uma metodologia que permitiu calcular a importância de três tipos de patologias na geração de ruído pneu-pavimento recorrendo à técnica das Máquinas de Vetores de Suporte para a modelação do ruído.

Na modelação do ruído pela técnica das Máquinas de Vetores de Suporte para além das patologias dos pavimentos considerou-se também como variáveis explicativas a velocidade, o tipo de pavimento e a textura.

Sendo as patologias a variável em foco neste estudo, mostrou-se, como se previa, que estas têm uma influência significativa no ruído gerado pelo contacto pneu-pavimento. Uma análise prévia desta variável mostrou que em termos médios, há um aumento do nível de ruído que, para as condições do deste estudo, atingiu os 2,7 dB(A).

A comparação do nível de pressão sonora para os diversos tipos de degradações mostrou que os pavimentos que apresentam desagregação e pele de crocodilo influenciam mais o ruído do que os pavimentos com fendilhamento.

Os resultados da modelação, usando todos os dados, indicam uma importância muito elevada da velocidade no nível de ruído. No entanto, as patologias também assumem uma razoável importância. Essa elevada importância das patologias é confirmada nos modelos que consideram os níveis de velocidade de 50 km/h e 65 km/h, onde as patologias são consideradas o fator mais influente no ruído. Para o modelo que considera níveis de velocidade de 30 km/h, embora as patologias tenham importância relevante, é a textura o parâmetro que assume a maior importância.

De um modo geral, pode-se concluir que as degradações influenciam o ruído pneu-pavimento, sendo essa influência superior em pavimentos com desagregação e pele de crocodilo.

Confirmou-se assim que as patologias têm uma contribuição relevante para o ruído pneu-pavimento, sempre superior a 20%, o que justifica ter em conta o estado de degradação do pavimento quando se pretende estimar os níveis de ruído pneu-pavimento.

Em termos práticos este trabalho justifica a integração nos modelos de previsão do ruído o estado de conservação/degradação da superfície dos pavimentos.

AGRADECIMENTOS

Este artigo foi elaborado com o apoio da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e contém informação proveniente do projeto PEst-OE/ECI/UI4047/2014, financiado no âmbito do Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade (COMPETE) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER. Também foi parcialmente financiado pelos fundos FEDER através do Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade - COMPETE e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-007633.

REFERÊNCIAS

- [1] Sandberg, U., Ejsmont, J.A., 2002. "Tyre/road noise reference book". Informex.
- [2] Santos, A., 2007. "Estudo da eficácia na redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes", Dissertação mestrado, Engenharia Rodoviária, Universidade do Minho, Guimarães.
- [3] Branco, F., Pereira, P., Picado-Santos, L., 2008, "Pavimentos rodoviários", Edições Almedina.
- [4] Cortes, C. and Vapnik, V., 1995. "Support vector networks." Machine Learning. Kluwer Academic Publishers. 20(3): 273-297.
- [5] Cristianini, N., Shawe-Taylor, J., 2000. "An Introduction to Support Vector Machine". University Press, London, Cambridge

- [6] Ben-Hur, A., Weston, J., 2010. "A user's guide to support vector machines." *Data Mining Techniques for the Life Sciences*, Carago, O. and Eisenhaber, F. (Eds.), Humana Press, New York, 223-239.
- [7] Freitas, E.; Tinoco, J.; Soares, F.; Costa, J.; Cortez, P., Pereira, P., 2015. "Modelling Tyre-Road Noise with Data Mining Techniques", *Archives of Acoustics*, Vol. 40(4), pp. 547-560.
- [8] Freitas, E., Machado, P., Freitas, C., 2012. "Avaliação e modelação do ruído de contato pneu-pavimento", *Acústica 2012: VIII Congresso Ibero-americano de Acústica, (TECNIACUSTICA2012)*, SPA, p. 1-10.
- [9] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., 1996. "From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview". In Fayyad et al. (eds) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. AAAI Press / The MIT Press, Cambridge MA, 471-493.
- [10] ISO, CD. "11819-2, 2000, "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.
- [11] EN ISO 13473-1, 2004. "Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth" (ISO 13473-1:1997), European committee for standardization, Brussels.
- [12] Cortez, P., 2010. "Data mining with neural networks and support vector machines using the R/rminer Tool." *Proceedings of 10th Industrial Conference on Data Mining, Advances in Data Mining, Applications and theoretical aspects*. (P. Pernered.). *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, Germany, 572-583.
- [13] Kewley, R., Embrechts, M. and Brenemam, C., 2000. "Data strip mining for the virtual design of pharmaceuticals with neural networks." *IEEE Transactions on Neural Networks* 11(3), 668-679.