

ESTUDO DO EFEITO DO TIPO DE PNEU NA GERAÇÃO DE RUÍDO RODOVIÁRIO

ELISABETE FREITAS

PROFESSORA AUXILAR, UNIVERSIDADE DO MINHO

ADRIANA SANTOS

ENGENHEIRA CIVIL, AENOR

LUÍS DE PICADO-SANTOS

PROFESSOR ASSOCIADO COM AGREGAÇÃO, UNIVERSIDADE DE COIMBRA

RESUMO

Este artigo tem por objectivo o estudo da geração do ruído resultante da interacção da superfície de dois tipos de pneus com dois tipos de pavimentos rodoviários, sendo composto por duas partes. Na primeira parte apresenta-se o estado da arte relativamente à influência das características dos pneus no ruído e na segunda um caso de estudo. O estudo decorreu em duas secções de pavimento consecutivas, com camadas de desgaste em betão betuminoso drenante e em betão betuminoso denso. Os ensaios foram realizados pelo Método de ensaio dos níveis das emissões sonoras de pneu em estrada – Ensaio com motor desligado, tendo sido efectuadas 64 passagens a velocidades compreendidas entre 70 km/h e 90 km/h com dois veículos equipados com pneus diferentes. Para as condições do estudo, pode concluir-se que a variação do nível de ruído resultante do tipo de pneu reduz à medida que a velocidade aumenta e que a escultura do pneu influenciou os mecanismos geradores de ruído, provocando uma diferença de 1 dB (A) no nível de ruído.

1. INTRODUÇÃO

Desde cerca de meados do século XIX, período em que os pneus usados nos automóveis passaram a ter uma constituição próxima dos usados actualmente, que se começou a constatar que os pneus influenciam o ruído.

Até há pouco tempo, o ruído produzido pelos pneus era estudado na perspectiva da sua percepção no interior do veículo. Contudo, este determina o ruído ambiente produzido pelo tráfego, sendo a fonte de ruído que predomina a velocidades superiores a cerca de 40 km/h [1]. Actualmente, os construtores de pneus tentam otimizar as características dos pneus de forma a minimizar o ruído resultante do seu contacto com a superfície dos pavimentos, enquanto que, paralelamente, desenvolvem novos conceitos de pneu com este mesmo objectivo [2].

Dada a importância dos pneus na geração de ruído, este artigo tem por objectivo principal apresentar a influência das suas características no ruído rodoviário e quantificar os efeitos de dois pneus com diferentes características em camadas de desgaste usadas habitualmente em estradas com limites de velocidade elevados.

2. INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO PNEU NO RUÍDO RODOVIÁRIO

2.1. Constituição do pneu pneumático

Os pneus pneumáticos actuais são constituídos por 7 partes, dispostas de acordo com a Figura 1(a). O piso é a parte que fica em contacto com a superfície do pavimento. O desenho da escultura do piso do pneu é, por sua vez, constituído por 5 partes, as quais se encontram definidas no Decreto Lei 72-C de 2003 [3] (Figura 1(b)). O desenho da escultura do pneu, para além de proporcionar o atrito necessário em condições de superfície seca e molhada, se adequadamente estudado, permite também reduzir as vibrações e o bombeamento de ar e, conseqüentemente, o ruído (Figura 1(b)).

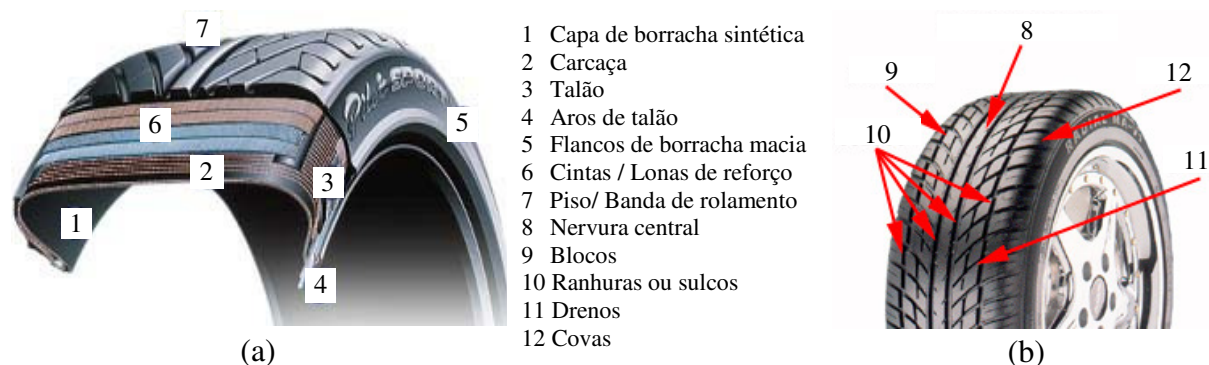


Figura 1 – Constituição de um pneu (a) e do respectivo piso (b)
[adaptado de www.michelintransport.com e de www.braziltires.com.br]

A carga e a pressão de ar, a geometria do pneu, definida por: diâmetro exterior e diâmetro da jante, largura e altura, desenho da escultura do piso ou da banda de rolamento, são as características que determinam o ruído de contacto pneu-pavimento.

2.2. Influência da carga

O efeito da carga do pneu no ruído é reduzido e varia com o tipo de superfície do pavimento. Os estudos realizados com vários tipos de pneus em diferentes superfícies demonstram que o efeito da carga no nível de ruído é nulo em camadas do tipo *Stone Mastic Asphalt* (SMA), pode reduzir até 1 db(A) em superfícies delgadas e pode sofrer aumentos inferiores a 2 dB(A) noutras superfícies, inclusivamente a drenante e a superfície de referência ISO [4].

2.3. Influência da pressão de ar

A influência da pressão de ar dos pneus no nível de ruído é muito reduzida [4], podendo mesmo ser desprezada quando este se encontra sem carga. No entanto, pressões reduzidas associadas a um aumento de carga conduzem a aumentos de ruído de cerca de 1 dB(A).

2.4. Influência do diâmetro

O efeito do diâmetro do pneu no ruído é de difícil análise, uma vez que o aumento do diâmetro do pneu implica a alteração de outras características. Contudo, as correlações obtidas entre o nível de ruído e o diâmetro são positivas [4]. Embora as alterações sejam em média reduzidas (1 dB(A)), a dispersão dos resultados, por exemplo na superfície de referência ISO, é muito elevada.

2.5. Influência da largura

O aumento da largura do pneu aumenta o nível de ruído. Uma compilação de resultados de vários estudos feita por Sandberg e Ejsmont (2002) [2] mostra que, para os veículos ligeiros, um aumento de 10 mm na largura do pneu corresponde a um aumento do nível de ruído de 0.2 a 0.8 dB(A).

2.6. Influência do desenho da escultura

O desenho da escultura do piso do pneu, também designado por padrão do piso do pneu, é um dos parâmetros que mais influencia o ruído de contacto pneu-pavimento, uma vez que intervém em todos os mecanismos de geração de ruído. O desenho da escultura do pneu é formado por segmentos distribuídos em torno da circunferência do pneu, cuja área se designa por *pitch*. A incomodidade causada pelo impacto periódico da escultura do pneu pode ser reduzida dispondo segmentos, de comprimento variável, de forma aleatória e desfasada.

A introdução de ranhuras oblíquas, relativamente à direcção do movimento, ranhuras circunferenciais, lamelas, a ventilação de bolsas de ar e a eliminação de ranhuras que coincidem com a marca do pneu, reduzem o nível de ruído gerado no contacto pneu-pavimento, actuando em diferentes partes do espectro de ruído e principalmente nas frequências altas (acima dos 1000 Hz). Deste modo, reduz-se o efeito de sucção e expulsão de ar nas ranhuras da escultura do pneu e as vibrações tangenciais dos blocos da escultura do pneu. Por exemplo, a introdução de ranhuras transversais num pneu liso pode aumentar o ruído em 15 dB(A), no entanto, a posterior introdução de ranhuras circunferenciais diminui o ruído de cerca de 6 dB(A) [2].

O efeito do desenho da escultura do pneu no nível de ruído também depende do tipo de superfície, uma vez que os comprimentos de onda na região da largura das ranhuras do pneu, que se situam entre 2-5 mm, pertencem à gama de irregularidades da superfície do pavimento da macrotextura, tornando o ruído numa função da amplitude das irregularidades da superfície.

2.7. Influência das propriedades dos materiais

A optimização das propriedades dos materiais que constituem os pneus, como por exemplo o aumento da espessura da borracha de base e da cinta e o reforço das paredes laterais, pode resultar numa redução de ruído até 2 dB(A), dependendo do tipo de superfície [4].

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Localização e caracterização das secções de estudo

Para a realização do estudo foram consideradas duas secções na auto-estrada A41-IC24. A estrutura das secções é semelhante, diferindo apenas o tipo de camada de desgaste: uma em betão betuminoso drenante (Dr) e outra em betão betuminoso denso (D). Na Figura 2 mostra-se a localização e a envolvente das secções. No Quadro 1 apresentam-se as principais características físicas e da superfície das misturas betuminosas seleccionadas. A profundidade da textura e a resistência ao deslizamento foram medidas em 3 pontos pertencentes a secções transversais afastadas entre si de 12.5 m.



Figura 2 – Localização e envolvente das secções de estudo

Quadro 1 – Características das camadas superficiais

Característica	Betão betuminoso drenante	Betão betuminoso
Dimensão máxima dos inertes	15 mm	16 mm
Teor em betume	4.5 %	5.1 %
Profundidade da textura	1.2 – 1.6 mm	0.7 – 1.0 mm
Atrito (Pêndulo Britânico)	0.65 – 0.80 BPN	0.65 – 0.70 BPN

3.2. Características dos veículos e dos pneus de ensaio

Os veículos seleccionados para a realização dos ensaios foram duas viaturas ligeiras, equipadas com quatro pneus assimétricos da classe C1 (Figuras 3 e 4), de acordo com o n.º 32 do artigo 10.º do Decreto-Lei n.º 72-C/2003 de 14 de Abril [3]:

- Volvo S40 2.0D, equipado com 4 Pneus Michelin Primacy 205/55 R16 91V;
- Citroën Xsara Picasso, equipado com 4 Pneus Michelin Energy 185/65 R15 88H.



Figura 3 – Veículo Volvo S40 e pneu Michelin Primacy 205/55 R16 91V



Figura 4 – Veículo Citroën Xsara Picasso e piso do pneu Michelin Energy 185/65 R15 88H

O pneu Michelin Primacy caracteriza-se por apresentar uma largura superior (+ 20 mm) à do pneu Michelin Energy e uma escultura assimétrica em que os segmentos do lado esquerdo são bastante diferentes em relação aos segmentos do lado direito. Além disso, apresenta três ranhuras circunferenciais que permitem uma maior ventilação das bolsas de ar e, conseqüentemente, conduz a uma diminuição dos níveis de ruído pneu-pavimento.

O pneu Michelin Energy apresenta igualmente um perfil assimétrico onde as ranhuras circunferenciais e transversais permitem uma maior aderência mas, em contrapartida, proporcionando níveis de ruído superiores.

3.3. Metodologia de ensaio

Para a medição do nível de ruído gerado pelo contacto pneu-pavimento foi adoptado o “Método de ensaio dos níveis das emissões sonoras de pneu em estrada – ensaio com o motor

desligado” constante no Decreto-Lei n.º 72-C/2003. Neste método regista-se o nível máximo de pressão sonora com o veículo a circular com o motor desligado, tendo em conta a configuração de ensaio apresentada na Figura 5.

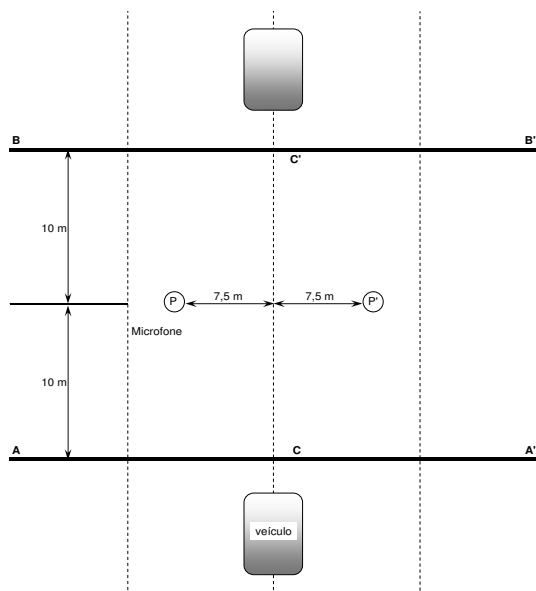


Figura 5 – Posição dos microfones e dos veículos para a realização dos ensaios de acordo com o Decreto-Lei n.º 72-C/2003

O veículo deve ser conduzido em linha recta sobre o trecho de estudo de AA' para BB', de modo que o plano longitudinal médio do veículo esteja tão próximo quanto possível da linha CC' (Figura 5). Quando a extremidade dianteira do veículo de ensaio alcançar a linha AA', o condutor do veículo já deve ter colocado a alavanca de velocidades na posição neutra e desligado o motor. Com um ou dois microfones colocados a uma distância de $7,5 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ da linha de referência CC' e a $1,2 \text{ m} \pm 0,02 \text{ m}$ acima do solo, mede-se o nível sonoro máximo expresso em decibéis ponderados A entre AA' e BB'. Como os pneus seleccionadas são da classe C1, as velocidades do veículo de ensaio devem estar incluídas no intervalo de 70 a 90 km/h e a correspondente velocidade de referência (V_{ref}) para a determinação do resultado final será de 80 km/h.

Esse documento recomenda a realização de pelo menos quatro medições em cada lado do veículo de ensaio a velocidades inferiores à de referência e pelo menos quatro medições a velocidades superiores à velocidade de referência. Assim, foram realizadas 16 medições para cada veículo e camada em estudo, a velocidades inferiores e a velocidades superiores à velocidade de referência de 80 km/h, tendo sido utilizados dois sonómetros, de modo a permitir que as medições fossem efectuadas em simultâneo a cada passagem dos veículos.

O nível de ruído pneu-pavimento, L_R , (não corrigido quanto à temperatura), expresso em dB(A), foi determinado através de uma análise de regressão de acordo com as Equações 1 a 4 [3].

$$L_R = \bar{L} - a.\bar{v} \quad (1)$$

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (2)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(L_i - \bar{L})}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (4)$$

Em que:

L_R é o nível de ruído pneu/pavimento expresso em dB(A);

\bar{L} é o valor médio dos níveis sonoros L_i , medidos em dB(A);

\bar{v} é o valor médio dos logaritmos das velocidades v_i (Km/h);

a é o declive da linha de regressão em dB(A);

n é o número de medições ($n \geq 16$);

L_i é o valor dos níveis sonoros, medidos em dB(A).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os níveis de ruído medidos em cada superfície em função da velocidade, simultaneamente nos lados esquerdo e direito de cada veículo, juntamente com as respectivas rectas de regressão, encontram-se apresentados na Figura 6. No Quadro 2 encontram-se os parâmetros de regressão e os níveis de ruído corrigidos (para a velocidade de referência de 80 km/h), calculados de acordo com as Equações 1 a 4.

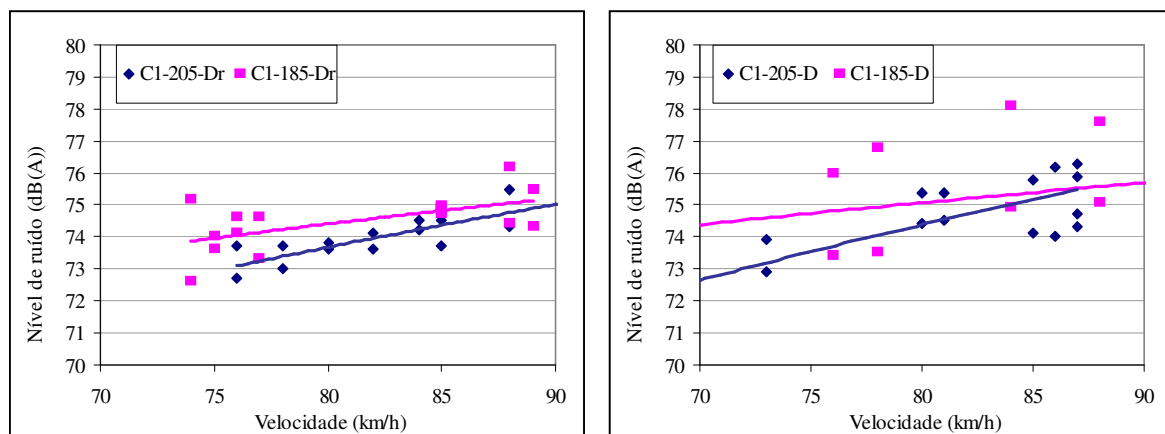


Figura 6 – Nível de ruído na camada drenante (Dr) e na camada densa (D)

Quadro 2 – Parâmetros da regressão para a combinação pneu-tipo de camada

Parâmetro da regressão	Pneu-tipo de camada			
	C1-205-Dr	C1-185-Dr	C1-205-D	C1-185-D
n.º de passagens	16	16	16	16
Declive da recta (a)	26.2	15.9	30.0	11.9
Ordenada na origem (b)	23.8	44.2	17.3	52.3
Coef. de correlação (r)	0.9	0.6	0.9	0.3
Média de L _{max} (dB(A))	74.1	74.5	74.4	74.9
Velocidade média (km/h)	83	81	80	79
V _{ref.} (km/h)	80	80	80	80
L _R (dB(A))	73	74	74	75
L _{R-1} (dB(A))	72	73	73	74

Com base nos resultados apresentados verifica-se que o pneu C1-205 conduz a níveis de ruído inferiores em ambas as superfícies e que, à medida que a velocidade aumenta, os níveis de ruído gerados pelos dois pneus aumentam. As diferenças entre os níveis de ruído tornam-se desprezáveis para velocidades próximas dos 90 km/h.

A comparação do declive da recta de regressão indica que o nível de ruído aumenta mais com o aumento da velocidade no caso do pneu C1-205 nos dois tipos de pavimento, embora com menor importância no caso do pavimento drenante.

Para a velocidade de referência, observa-se uma diferença de 1 dB(A) entre os dois tipos de pavimento considerando o mesmo pneu e uma diferença de um 1 dB(A) entre os dois tipos de pneu considerando a mesma superfície (Quadro 2).

Apesar desta tendência geral, observa-se que a dispersão dos resultados é considerável nos ensaios realizados com o pneu C1-185 e na superfície densa, como se verifica pelo reduzido coeficiente de correlação (Quadro 2). Nesta superfície podem observar-se diferenças superiores a 2 dB(A) em ensaios realizados à mesma velocidade.

No que respeita à influência do tipo de pavimento, verifica-se que para o pneu C1-205 a variabilidade é semelhante nas duas superfícies ($r = 0,9$), enquanto que para o pneu C1-185 o coeficiente de correlação é superior para a superfície em betão betuminoso drenante (0.6). Assim, verifica-se que o ruído gerado pelo pneu C1-185 depende mais do tipo de superfície, sendo consideravelmente influenciado pelas superfícies em betão betuminoso denso. A causa desta influência pode ser determinada analisando os espectros de ruído apresentados na Figura 7, para as passagens individuais a diferentes velocidades, e na Figura 8, para a média dos espectros.

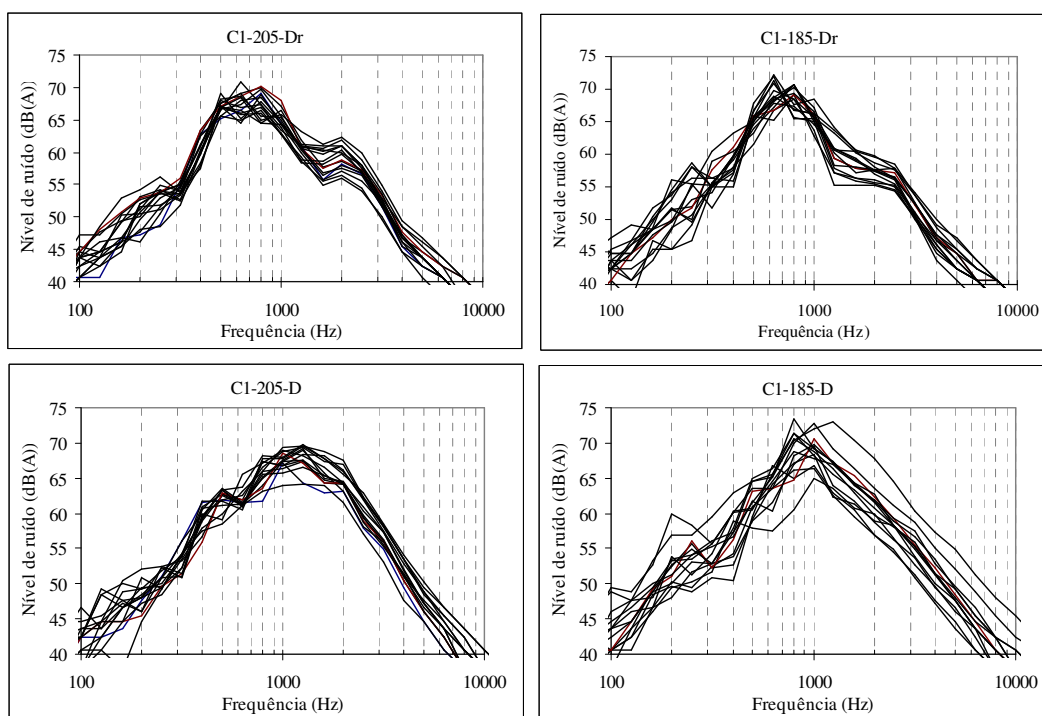


Figura 7 – Espectros de ruído para a combinação pneu-tipo de camada por passagem

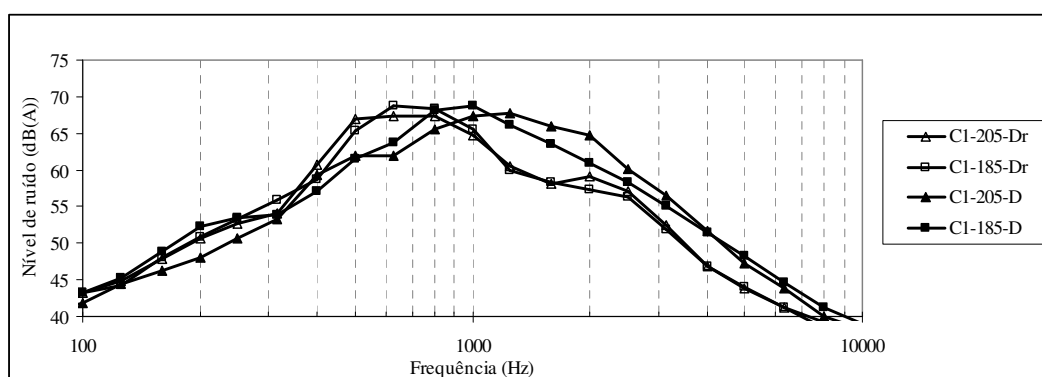


Figura 8 – Espectros de ruído médios para a combinação pneu-tipo de camada

Estas figuras mostram que o nível de ruído máximo ocorre no intervalo de 600 a 800 Hz na superfície Dr e no intervalo de 800 a 1100 na superfície D.

Nas frequências baixas (inferiores a 1000 Hz) observa-se uma variabilidade e irregularidade consideráveis no andamento do espectro no caso do pneu C1-185, em ambas as superfícies. Esta parte do espectro é determinada pelas vibrações dos blocos do pneu causadas pela irregularidade da superfície nos comprimentos de onda correspondentes ao raio de contacto pneu-pavimento (megatextura) [5].

Nas frequências altas (>1000 Hz), observa-se uma quebra no andamento da curva entre os 1000 Hz e os 2000 Hz resultante da absorção de ruído proporcionada pela elevada porosidade

do betão betuminoso drenante. Nesta parte do espectro, a escultura do pneu, que determina os fenómenos de sucção e de expulsão de ar [5], não influenciou o andamento da curva no caso da superfície Dr (Figura 8). No caso da superfície D, a escultura do pneu C1-205 contribuiu para um ligeiro aumento dos níveis de ruído, como se pode observar nos espectros sobrepostos da Figura 8. Este comportamento pode ser explicado pelo efeito da largura do pneu e pela perda da capacidade de escoamento do ar devido à presença de ranhuras circunferenciais, com o aumento da velocidade.

CONCLUSÕES

Este trabalho abordou as características dos pneus que determinam o ruído e apresentou um estudo em que o ruído gerado por dois tipos de pneus em dois tipos de pavimentos foi comparado, donde se pode concluir o seguinte:

- a característica dos pneus que mais influencia o ruído é o desenho da escultura do pneu; a qual, para as condições deste estudo, influenciou os mecanismos geradores de ruído, provocando a diferença de 1 dB (A) no nível de ruído;
- para a superfície em betão betuminoso denso e para as velocidades compreendidas entre 70 e 90 km/h, a escultura do pneu revela-se como um factor preponderante na redução do ruído, devido à redução das vibrações resultantes da influência da textura do pavimento.
- para a superfície em betão betuminoso drenante e para esta mesma gama de velocidades, a diminuição de ruído deveu-se essencialmente à contribuição do pavimento e em menor grau à escultura do pneu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Bendtsen H., “Review of Existing Low Noise Surfaces”, Jornadas Técnicas, Madrid, 2006.
- [2] - Sandberg U., Ejsmont J., “Tyre / Road Noise Reference Book”, Informex SE – 59040. Kisa, Sweden (www.informex.info), 2002.
- [3] - Decreto-Lei n.º 72-C/2003 de 14 de Abril, “Método de ensaio dos níveis das emissões sonoras de pneu em estrada – ensaio com o motor desligado”, Diário da República, I Série – A, pp 2452 (87), 2003.
- [4] - Pucher E., Litzka J., Haberl J., Girard J., Ejsmont J., Lelong J. Hamet J-F., Sandberg U., Bendtsen H., Watts G., Parry A., Blockland G., Kuijpers A., “Recommendations on Specifications for Tyre and Vehicle Requirements”, Silvia Project Report, TUW-039-02-WP5-120304, 2006.
- [5] - 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.