

# XVII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/SC – 2013

## TRABALHO DE PERÍCIA

**Resumo:** *Muito embora a macrotextura dos pavimentos seja importante para o tráfego seguro, principalmente em pistas molhadas e com velocidades superiores a 50 km/h, em locais de acidentes de trânsito este parâmetro não é sequer avaliado. No presente estudo foram analisados 103 acidentes de trânsito ocorridos em três rodovias estaduais localizadas na região sul do Brasil, sendo que em 18 deste acidentes as alturas médias de mancha de areia, parâmetro empregado para avaliar a macrotextura (ASTM, 2001), eram inferiores ao valor mínimo recomendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Para estes acidentes foram calculadas as velocidades dos veículos, bem como as energias cinéticas envolvidas no sistema. Os resultados indicaram que uma melhor condição de macrotextura dos pavimentos reduziria entre 6,67% e 18,57% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes, minimizando tanto as avarias produzidas em cada veículo quanto, principalmente, as lesões nas vítimas.*

**Palavras-chave:** *Acidente de trânsito, Macrotextura do pavimento, Condições do pavimento.*

## 1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, mais de 1,3 milhão de pessoas morrem em decorrência de acidentes de trânsito, sendo de quase 50 milhões o número de pessoas lesionadas em todo o mundo (Sany e Navin, 2004; WHO, 2009). Apenas em rodovias, entre os anos de 1990 e 2003, ocorreram mais de 6 milhões de acidentes, resultando em 3 milhões de pessoas lesionadas e 42 mil mortes (Noyce *et al.*, 2005; National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2004, *apud* American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2008). Os pavimentos são responsáveis por aproximadamente 30% dos acidentes, sendo que estudos norte-americanos indicam que aproximadamente 14% de todos os acidentes com vítimas fatais ocorrem com pistas molhadas (Pottinger e Yager, 1986; Kuemmel *et al.*, 2000, *apud* AASHTO, 2008).

O DNIT estabelece valores mínimos de macrotextura de pavimento asfáltico, que tem influência direta na aderência pneu/pavimento em velocidades superiores a 50 km/h, especialmente com pista molhada. Os responsáveis pelos atendimentos de acidentes raramente possuem conhecimento técnico e equipamentos apropriados para uma avaliação adequada das condições do pavimento. Este trabalho interpreta os dados coletados de macrotextura em 103 acidentes de trânsito ocorridos em três rodovias estaduais localizadas na região sul do Brasil, visando verificar se houve efetiva contribuição do pavimento para a ocorrência e severidade dos acidentes.

## 2 MACROTEXTURA DO PAVIMENTO

Bernucci *et al.* (2008) entendem que a macrotextura afeta diretamente a aderência entre o pavimento asfáltico e a banda de rodagem do pneu do veículo, em especial para velocidades de tráfego superiores a 50 km/h e com pista molhada. Soares e Micaelo (2011) afirmam, ainda, que a macrotextura é a característica mais importante do pavimento para a análise da hidroplanagem. Ong e Fwa (2008) informam, também, que pavimentos com macrotextura fechada conduzem a baixas velocidades de ocorrência de hidroplanagem. A macrotextura depende basicamente da graduação do agregado que compõe a mistura asfáltica utilizada na camada de rolamento. Essa escala de textura pode ser classificada como sendo do tipo aberta (agregados graúdos) ou do tipo fechada (agregados finos).

O ensaio de “mancha de areia” (ASTM, 2001) é o mais utilizado, no Brasil, para avaliar a macrotextura de pavimentos. Este ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de  $25.000 \text{ mm}^3 \pm 150 \text{ mm}^3$  de areia natural limpa e seca, uniforme, de grãos arredondados, que passam na peneira de abertura 0,3 mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,15 mm. A superfície do pavimento deve ser limpa com o auxílio de uma escova de mão macia, sendo a areia posteriormente espalhada sobre a superfície seca por meio de um disco de espalhamento com diâmetro entre 60 e 75 mm. O ensaio deve ser interrompido quando surgirem algumas pontas de agregados (Figuras 1 e 2). Em seguida é medido o diâmetro formado pelo círculo de areia em três direções distintas, fazendo-se a média. Com o valor do diâmetro, calcula-se a altura média de mancha de areia pela Equação 1, sendo que os valores recomendados pelo DNIT estão no intervalo compreendido entre 0,60 e 1,20 mm (DNER, 2000).

$$H_m = \frac{4V}{D_m^2 \pi} \quad (1)$$

Onde:

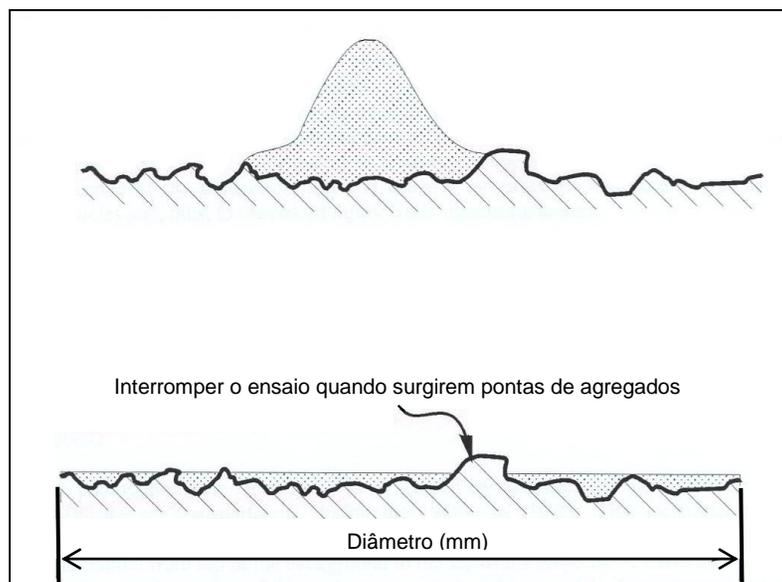
$H_m$  = altura média da mancha de areia, em mm;

$V$  = volume constante de areia de 25.000 mm<sup>3</sup>;

$D_m$  = diâmetro médio do círculo de areia, em mm.



**Figura 1:** Sequência de realização do ensaio de mancha de areia.



**Figura 2:** Diagrama esquemático do ensaio de mancha de areia (Austroads, 2008).

### 3 VELOCIDADES DESENVOLVIDAS PELOS VEÍCULOS

Os cálculos para determinar a velocidade de tráfego de veículos, nos casos mais comuns de acidentes, são divididos em três componentes:

a) Desaceleração do veículo, resultante do atrito dos pneus contra o leito da pista (gerando, em alguns casos, marcas de frenagem). Deve ser determinada a inclinação do pavimento e o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre os pneumáticos do veículo e o pavimento. Essa parcela é calculada por meio da formulação clássica da dinâmica (Beux, 1996) (Equação 2):

$$V_f (km/h) = 3,6 \times \sqrt{2 \times g \times d \times (f \pm h)} \quad (2)$$

Onde:

g = ação da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

d = distância de frenagem (em metros);

f = coeficiente de atrito entre os pneumáticos e o pavimento;

h = inclinação longitudinal do leito, no local da frenagem.

Os valores dos coeficientes de atrito (f) entre os pneumáticos e os pavimentos foram determinados por meio de um acelerômetro MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) de marca de fabricação *Analog Devices*, modelo ADXL203E, devidamente acoplado a um microcontrolador de marca de fabricação Atmel, modelo ATMEGA8-16PU.

b) Danos no veículo, ou seja, qual a parcela da velocidade desenvolvida que resultou em forças suficientes para produzir as deformações apresentadas. Quando um veículo se envolve em um acidente, uma parcela da energia cinética é convertida em trabalho mecânico para a produção das avarias. A velocidade de danos pode ser atribuída pela intensidade das avarias, em uma escala com o módulo de velocidade escalar crescente, para veículos de porte médio (gênero automóvel), sendo os danos classificados, subjetivamente, em leves, médios, graves e gravíssimos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Velocidade de danos (Vd) em função da intensidade das avarias.

<b>Intensidade das Avarias</b>	<b>Vd (km/h)</b>
Leve	0/20
Média	20/40
Grave	40/60
Gravíssima	Acima de 60

**Fonte:** Aragão, 2011.

Também é possível, pelas avarias ocorridas no veículo, projetar a velocidade dos danos, comparando-as visualmente com os resultados de testes de resistência ao impacto, levados a efeito pela indústria automobilística. Os danos advindos dos testes realizados pelas montadoras são organizados em tabelas, em função das velocidades

dos testes, por intensidade e por tipo de deformação. Quanto à tipificação das avarias, a velocidade de danos tem por base os valores descritos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Velocidade de danos (Vd) em função dos tipos de avarias.

<b>Tipo de Avarias</b>	<b>Vd (km/h)</b>
Entortar para-choque na porta	05
Entortar para-choque no centro	10
Entortar para-choque na saia	15/20
Amassar para-lama	05/10
Amassar para-lama rasgando	10
Amassar para-lama arrancando	15
Afundar a grade do radiador	30/35
Afundar a grade do radiador e a colméia	40/45
Arrancar suspensão	40/45
Arrancar roda diretriz	40/45
Partir longarina	50/60
Arrancar motor dos calços	60/70
Arrancar roda motriz	50/60

**Fonte:** Aragão, 2011.

**c)** Posição final exata do veículo. Assim, pelo princípio da conservação da quantidade de movimento linear é possível determinar qual a parcela da velocidade utilizada para conduzir o veículo até a respectiva posição de repouso.

Este princípio decorre da 2ª Lei de Newton, também conhecida como “Princípio Fundamental da Dinâmica”: *A aplicação de uma força a um corpo acarreta a variação temporal da quantidade de movimento deste corpo.* Em outras palavras, esta lei infere que a aplicação de uma força a um corpo produz uma aceleração de mesma direção e sentido da força e de módulo proporcional a ela.

Quando esta força externa que age sobre um corpo é nula, ocorre a conservação do momento linear, não havendo variação conforme o tempo. Considerando um sistema isolado formado, por exemplo, por dois veículos (**A** e **B**). Se nenhuma força externa agir sobre o sistema, ou ainda se a resultante de todas as forças externas atuantes for nula, o momento linear total será constante, independente do que possa estar ocorrendo entre os veículos (Negrini Neto, 2003). Assim, se os dois veículos seguem uma determinada trajetória em que ocorrerá uma colisão, o momento linear do sistema se manterá constante, conforme Equações 3 e 4 (Negrini Neto, 2003).

$$\sum_{i=A,B} \vec{P}_i = \text{constante} \Rightarrow \vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B \quad (3)$$

Onde:

$\vec{P}_A$  = quantidade de movimento linear do veículo **A**, antes da colisão;

$\vec{P}_B$  = quantidade de movimento linear do veículo **B**, antes da colisão;

$\vec{P}'_A$  = quantidade de movimento linear do veículo **A**, depois da colisão;

$\vec{P}'_B$  = quantidade de movimento linear do veículo **B**, depois da colisão.

Ou seja:

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{u}_A + m_B \vec{u}_B \quad (4)$$

Onde:

$m_A$  = massa do veículo **A**;

$m_B$  = massa do veículo **B**;

$\vec{v}_A$  = velocidade do veículo **A**, antes da colisão;

$\vec{v}_B$  = velocidade do veículo **B**, antes da colisão;

$\vec{u}_A$  = velocidade do veículo **A**, depois da colisão;

$\vec{u}_B$  = velocidade do veículo **B**, depois da colisão.

#### 4 ENERGIA ENVOLVIDA NO ACIDENTE

Conforme Negrini Neto e Kleinübing (2012), a estrutura física de determinado veículo envolvido em um acidente de trânsito interfere na intensidade, na forma e na profundidade variável dos danos. Todavia, independente da estrutura veicular, os autores afirmam que a intensidade das avarias e, por consequência, a gravidade das lesões dos ocupantes, têm relação direta com a velocidade desenvolvida pelo veículo.

No estudo de acidentes de trânsito, a energia cinética, dentre as diversas modalidades de energia, é a mais importante, uma vez que considera os parâmetros massa (veículo e ocupantes) e velocidade em sua determinação (Equação 5):

$$Ec = \frac{mv^2}{2} \quad (5)$$

Onde:

$m$  = somatório da massa do veículo e dos ocupantes;

$v$  = velocidade do veículo.

Analisando-se a Equação 5 observa-se que a velocidade do veículo influencia significativamente no aumento ou na redução da energia envolvida no sistema, ou seja, na intensidade das avarias veiculares e nas lesões das vítimas. Assim, mesmo pequenas reduções de velocidade podem resultar em decréscimos importantes da energia do sistema, impactando positivamente na severidade das lesões apresentadas pelas vítimas.

## 5 EXAMES PERICIAIS

A fim de verificar as condições do pavimento nas principais rodovias da região norte do Estado do Paraná, foram examinados 103 acidentes de trânsito nas Rodovias PR-090, PR-323 e PR-445, sendo avaliada a macrotextura do pavimento em cada um deles. Destes, 18 ocorreram em trechos com valores de altura de mancha de areia inferiores ao mínimo recomendado pelo DNIT (0,60 mm).

### 5.1 Momento da realização dos exames

A aderência do pavimento varia ao longo do tempo, especialmente em função do tráfego e das condições climáticas a que está sujeita. Assim, quando da ocorrência de um acidente de trânsito, a avaliação do leito asfáltico deve ser realizada no menor espaço de tempo possível depois do sinistro.

Muitas vezes, durante o atendimento do acidente de trânsito, não há condições técnicas de se mensurar a textura e o coeficiente de atrito do pavimento, quer seja pelo trânsito de veículos e de pessoas, quer seja pelas próprias condições climáticas do momento e do horário do acidente (acidentes em período noturno, durante períodos de chuva, etc.).

Assim, as avaliações devem ser realizadas em condições técnicas satisfatórias (durante o período diurno e sem chuvas) e no menor espaço de tempo possível após o acidente, motivo pelo qual todos os equipamentos necessários devem estar à disposição para a realização imediata dos ensaios (em até 24 horas).

### 5.2 Determinação da área de análise

As mensurações da macrotextura do pavimento foram realizadas considerando-se duas hipóteses sugeridas para o estudo, sendo adotada aquela que apresentar o maior valor compreendido entre duas situações distintas:

**a) Com marcas de frenagem:** em havendo marcas de frenagem, toma-se o maior comprimento destas marcas como valor de referência. A avaliação do pavimento deverá ser realizada, portanto, a partir da área provável de impacto (API) entre os veículos, ao longo do maior comprimento das marcas de frenagem e para ambos os sentidos de tráfego da via.

**b) Sem marcas de frenagem:** quando não há marcas de frenagem aparentes no leito asfáltico, e com o valor da velocidade máxima permitida para a via (em função do tipo dos veículos envolvidos no acidente), da inclinação do pavimento e do coeficiente de atrito mensurado inicialmente junto à API, estima-se, de maneira aproximada, por meio da Equação 2, o comprimento das hipotéticas marcas de frenagem que seriam necessárias para frear completamente o veículo, estando alguns exemplos mencionados na Tabela 3 (pavimento em nível).

A avaliação do pavimento deverá ser realizada, portanto, a partir da API, ao longo do comprimento estimado e para ambos os sentidos de tráfego da via.

**Tabela 3:** Extensão de avaliação do pavimento a partir da API, para ambos os sentidos.

Velocidade máxima permitida (km/h)	Extensão aproximada de avaliação (m)
40	8,00
50	13,00
60	18,00
70	25,00
80	32,00
90	40,00
100	50,00
110	60,00
120	70,00

## 5 RESULTADOS

Por meio das Equações 1 a 4, bem como pelas Tabelas 1 e 2, estimaram-se as velocidades dos veículos envolvidos nos acidentes nas situações reais de cada uma das vias, ou seja, com os coeficientes de atrito dinâmico resultantes do estado atual da macrotextura em cada local. Na sequência foram recalculadas estas velocidades, levando-se em consideração coeficientes de atrito dinâmico obtidos em condições ideais, ou seja, em trechos de cada uma das vias que apresentam valores de altura de mancha de areia superiores ao mínimo recomendado pelo DNIT.

Posteriormente, por meio da Equação 5, foram calculadas as energias cinéticas envolvidas em cada um dos acidentes, nas condições reais e ideais, sendo avaliada a variação da energia cinética em cada um dos 18 acidentes (Tabela 4).

**Tabela 4:** Velocidades e energias envolvidas nos acidentes pesquisados.

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (m/s)	Vel. Real (m/s)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	$\Delta Ec$ (%)
1	V1	21,01	21,70	207481,50	221313,60	6,67
	V2	22,95	23,70	263398,50	280958,40	6,67
2	V1	25,47	26,67	418484,89	458613,58	9,59
	V2	16,84	17,63	143211,68	156944,30	9,59
3	V1	13,05	13,95	83447,78	95368,90	14,29
	V2	22,48	24,03	338625,50	387000,58	14,29
4	V1	25,56	26,58	336473,19	363754,80	8,11
5	V1	27,81	29,29	382843,10	424798,51	10,96
6	V1	31,23	33,35	565566,12	645223,32	14,08
	V2	26,39	28,19	337807,35	385385,85	14,08
7	V1	22,43	23,93	311797,90	355103,16	13,89
8	V1	32,70	35,41	636414,33	746078,95	17,23
	V2	33,13	35,87	641970,72	752592,79	17,23
9	V1	19,85	20,77	228627,54	250254,47	9,46

**Tabela 4:** Velocidades e energias envolvidas nos acidentes pesquisados (cont.).

Acidente	Veículo	Vel. Ideal (m/s)	Vel. Real (m/s)	Ec Ideal (J)	Ec Real (J)	$\Delta Ec$ (%)
10	V1	28,73	31,07	449743,37	526090,68	16,98
	V2	34,79	37,63	623314,06	729126,29	16,98
11	V1	22,34	23,68	351895,54	395279,92	12,33
12	V1	26,04	27,87	413620,99	473940,72	14,58
13	V1	28,84	31,33	455404,97	537312,34	17,99
	V2	30,45	33,08	458984,39	541535,54	17,99
14	V1	27,89	29,65	412158,91	466065,25	13,08
15	V1	27,43	29,47	417488,09	482169,35	15,49
	V2	29,62	31,84	465129,38	537191,68	15,49
16	V1	24,19	26,15	286683,52	335137,07	16,90
17	V1	18,34	19,97	171606,33	203476,08	18,57
	V2	24,44	26,62	295727,36	350648,15	18,57
18	V1	22,36	24,05	267455,92	309484,70	15,71

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que uma melhor condição de macrotextura dos pavimentos rodoviários pesquisados reduziria entre 6,67% e 18,57% as energias cinéticas envolvidas nos acidentes, minimizando tanto as avarias produzidas em cada veículo quanto, principalmente, as lesões nas vítimas.

Recomenda-se, portanto, que novos exames sejam realizados nas principais rodovias do país, a fim de verificar, e posteriormente monitorar, as condições de macrotextura do pavimento, uma vez que a manutenção de condições satisfatórias do leito asfáltico reduz tanto a severidade dos acidentes de trânsito quanto, principalmente, o número de vítimas fatais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2008). **Guide for pavement friction**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, 79 p.

ARAGÃO, Ranvier Feitosa (2011). **Tratado de perícias criminalísticas – acidentes de trânsito: análise da prova pericial**. Campinas. Millennium Editora.

ASTM (2001). American Society for Testing and Materials – E 965-96: **Standard test method for measuring surface macro-texture depth using a volumetric technique**. West Conshohocken: ASTM Standards, vol. 04.03, 5p.

AUSTROADS (2008). **Review of surface texture measurement method for seal design input**. Sydney, A4, 45pp, AP-T112/08.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. (2008). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA.

BEUX, Armindo (1996). **Infortunística no trânsito – vade-mécum do analista dos delitos no trânsito**. Porto Alegre. Editora Sagra-Luzzatto.

DNER (2000). **Licitação na modalidade leilão para concessão da exploração do lote 13, composto pelas rodovias BR-116/PR, BR-376/PR e BR-101/SC trecho Curitiba – Joinville – Florianópolis**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Resolução 3423, de 25.02.2010, Ministério dos Transportes.

NEGRINI NETO, Osvaldo (2003). **Tratado de perícias criminalísticas – dinâmica dos acidentes de trânsito: análises e reconstruções**. Porto Alegre. Editora Sagra-Luzzatto.

NEGRINI NETO, Osvaldo; KLEINÜBING, Rodrigo (2012). **Tratado de perícias criminalísticas – dinâmica dos acidentes de trânsito: análises, reconstruções e prevenção**. Campinas. Millennium Editora.

NOYCE, D. A.; BAHIA, H. U.; YAMBÓ, J. M.; KIM, G. (2005). ***Incorporating road safety into pavement management: maximizing asphalt pavement surface friction for road safety improvements***. Madison: Midwest Regional University Transportation Center.

ONG, G. P.; FWA, T. F. (2008). ***Hydroplaning risk management for grooved pavements***. In: 7th International Conference on Managing Pavement Assets.

POTTINGER, M. G. and YAGER, T. J (1986). ***The tire pavement interface***. Baltimore: ASTM Standards. p. 9-15.

SANY, R. Z. and NAVIN, F. P. D. (2004). ***Improving traffic safety – a new systems approach***. Transportation Research Record 1830, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 1-9.

SOARES, A.; MICAELO, R. (2011). **Estudo da possibilidade de ocorrência de hidroplanagem em estradas portuguesas**. In: XVI Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: XVI CILA.

WHO – World Health Organization (2009). ***Informe sobre la Situación Mundial de la Seguridad Vial: Es Hora de Pasar a la Acción***. Geneva. <[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2009](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009)>.