

# Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes

Cláudia Azevedo Pereira<sup>1</sup>, Jorge Barbosa Soares<sup>2</sup>,  
Ivaldo Dário da Silva Pontes Filho<sup>3</sup> e Verônica Teixeira Franco Castelo Branco<sup>4</sup>

**Resumo:** Estudos mostram que as condições das rodovias influenciam na ocorrência de acidentes. Desta forma, é necessário tomar medidas que possam minimizar esta influência. Para tal, é importante identificar os principais defeitos dos pavimentos e tentar propor medidas corretivas. O presente trabalho analisa alguns aspectos relacionados a aderência pneu-pavimento dos principais trechos de ocorrência de acidentes em estradas de Pernambuco e da Paraíba, através dos ensaios de Mancha de Areia, Pêndulo Britânico e Drenabilidade, além da realização dos cálculos para obtenção do índice combinado IFI (*International Friction Index*) dos pontos selecionados. Em seguida, algumas misturas asfálticas aplicadas em campo foram replicadas em laboratório, para verificação do comportamento das mesmas com relação à aderência pneu-pavimento. Com isto, foram obtidos valores que podem auxiliar no desenvolvimento de uma metodologia de previsão do comportamento destes materiais em campo, visando uma maior segurança das rodovias através da verificação do parâmetro aderência pneu-pavimento. DOI:10.4237/transportes.v20i2.525.

*Palavras-chave:* pavimento, segurança, aderência, misturas asfálticas.

**Abstract:** Studies have showed that road conditions influence the accidents' occurrence. Thus, it is necessary to perform actions to minimize this influence. For this, it is important to identify the major pavement distresses and to propose corrective actions. The present study analyzes the skid resistance in road sections with higher incidence of accidents in two Brazilian states (Pernambuco and Paraíba), through the use of the tests sand patch, British pendulum, and outflow meter, and the calculations to obtain the international friction index (IFI) of the selected points. Then, some of the hot mixtures asphalt (HMAs) used in the field were reproduced in the laboratory to verify their behavior with respect to skid resistance. With these values, a methodology that can be used to predict HMA friction performance in the field was developed, aiming to improve roads security by checking its skid resistance parameter.

*Keywords:* pavement, safety, skid resistance, hot mixtures asphalt (HMA).

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores de grande preocupação atual é a falta de segurança nas estradas brasileiras. Como o país possui seu sistema de transporte apoiado principalmente no modo rodoviário, medidas que possam melhorar a qualidade da infraestrutura viária refletem diretamente nesta segurança e, conseqüentemente, na economia do país. Contudo, a situação das rodovias existentes é precária, com pouco mais de 10% das rodovias do país pavimentadas. Aliado a este baixo índice de pavimentação, encontra-se a questão do estado de conservação onde, segundo a CNT (2011), 47,9% das rodovias necessitam de algum tipo de intervenção, sendo este avaliado como péssimo, ruim ou regular em 57,4% das rodovias. A insegurança destas estradas é outro fator preocupante, o número de mortes por km de rodovia pavimentada e policiada no Brasil chega a ser 70 vezes superior aquele encontrado em países como Canadá (CNT, 2006).

De acordo com Ferreira (2002), estudos realizados na

França mostraram que a deficiência da aderência pneu-pavimento foi a responsável direta por 7% dos acidentes rodoviários ocorridos no país. Segundo esta mesma autora, cerca de 2% destes acidentes poderiam ter sido evitados caso as rodovias em questão possuíssem valores mínimos de coeficientes de atrito longitudinal (0,4 à velocidade de 50 km/h com rodas bloqueadas e pneus lisos). Desta forma, medidas que possam minimizar estas ocorrências são de grande relevância. Verifica-se, portanto, a necessidade de tornar as rodovias mais seguras para os usuários e um dos aspectos importantes relacionados à segurança viária é a aderência pneu-pavimento.

Este trabalho analisa o desempenho de pavimentos com relação à aderência pneu-pavimento nos principais trechos de ocorrência de acidentes nos estados de Pernambuco (BR 101 e BR 232) e da Paraíba (BR 230). Primeiramente, foram selecionados os pontos a serem estudados através de dados de ocorrência de acidentes da Polícia Rodoviária Federal (PRF) dos dois Estados mencionados. Posteriormente, foram realizados ensaios de mancha de areia, pêndulo britânico e drenabilidade (Pereira *et al.*, 2009). Em seguida foi feita uma avaliação utilizando a classificação IFI – *International Friction Index* – de acordo com a ASTM E 1960 – 98 na versão de 1998. Também foram realizados ensaios em laboratório com as mesmas misturas utilizadas em campo para verificar o desempenho em estágio inicial e auxiliar no desenvolvimento de uma metodologia de previsão do comportamento destes materiais com relação à aderência. Em função da variedade das misturas existentes em campo, elegeram-se duas misturas diferentes do tipo Concreto Asfáltico (CA), devido a sua grande utilização no país, com Tamanhos Máximos

<sup>1</sup> Cláudia Azevedo Pereira, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Anápolis, GO, Brasil. (e-mail: claudia.azevedo@gmail.com).

<sup>2</sup> Jorge Barbosa Soares, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (e-mail: jsoares@det.ufc.br).

<sup>3</sup> Ivaldo Dário da Silva Pontes Filho, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. (e-mail: ivaldo@ufpe.br).

<sup>4</sup> Verônica Teixeira Franco Castelo Branco, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (e-mail: veronica@det.ufc.br).

Nominais (TMN) de agregados distintos. Desta forma, espera-se contribuir no desenvolvimento de uma ferramenta que possa auxiliar no sistema de gerência de pavimentos rodoviários e proporcionar uma melhoria na qualidade das mesmas com relação a este aspecto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aderência pneu-pavimento

A aderência pneu-pavimento é geralmente verificada através da obtenção do coeficiente de atrito existente nesta interface. De acordo com Santos (2004), existem dois mecanismos responsáveis pelo atrito entre o pneu e o pavimento: (i) atrito em função da adesão e (ii) atrito devido à perda por histerese. A microtextura da superfície, a temperatura e a velocidade de deslocamento influenciam na adesão, enquanto a histerese está relacionada à macrotextura do pavimento (Silva, 2005). Um nível de microtextura adequado favorece o rompimento da película de água existente entre o pneu e a superfície do pavimento. Já a macrotextura é importante por favorecer a drenagem da lâmina d'água encontrada na interface pneu-pavimento (Brosseau, 2006).

A textura do revestimento de um pavimento é um parâmetro importante no comportamento da superfície quanto à aderência. De maneira resumida, pode-se dizer que, a microtextura corresponde a aspereza ou a rugosidade da superfície individual dos agregados que compõem a mistura asfáltica ou o Concreto de Cimento Portland (CCP) e não pode ser observada a olho nu. A macrotextura está relacionada ao tamanho dos agregados, à faixa granulométrica, aos vazios existentes na mistura, e à configuração geométrica individual dos agregados. Rodrigues Filho (2006) afirma que há evidências de que quanto mais aberta for a macrotextura de um pavimento maior será a profundidade média da lâmina d'água necessária para provocar o fenômeno chamado de hidroplanagem. Desta forma, a macrotextura deve ser analisada já na concepção da mistura asfáltica, pois esta representa uma condição importante para que se tenha uma aderência elevada devido à eliminação da água que se encontra na área de contato pneu-pavimento (Ferreira, 2002).

Existem ainda outros fatores que influenciam na aderência pneu-pavimento, e consequentemente na ocorrência de acidentes, tais como as características geométricas da via. A via projetada, construída e mantida adequadamente deve proporcionar, ao motorista, condições seguras para conduzir o veículo. O traçado da estrada pode se tornar potencialmente perigoso se não forem observadas exigências tais como os raios mínimos de curvatura horizontal e a taxa de superelevação.

### 2.2. Medidas de textura e de atrito

Existem diversos métodos para a avaliação da textura e do atrito em rodovias, contudo, um dos parâmetros importantes para a avaliação da aderência pneu-pavimento é o IFI (*International Friction Index*), por ser um índice que combina medidas de atrito e de textura. Ele pode ser obtido através da realização de dois tipos de medidas sobre a superfície do pavimento, uma de atrito (FR) e outra de textura (Tx). Estas técnicas devem ser homologadas ou homologáveis a partir de critérios estabelecidos em experimento internacional (ASTM E 1960 – 98). Contudo,

em 2007 este procedimento de ensaio sofreu algumas alterações sendo então denominado de ASTM E 1960 – 07. Os princípios do método e as equações são os mesmos encontrados da versão anterior. A alteração realizada tem relação com os valores das constantes dos equipamentos utilizadas nas equações. A partir da versão de 2007, estas constantes passaram a ser obtidas por meio da calibração do equipamento escolhido para medir textura e atrito com os respectivos métodos: CT-Meter (*Circular Texture Meter*) e DF-Tester (*Dynamic Friction Tester*). Entretanto, no Brasil não existe nenhum equipamento do tipo DF-Tester, sendo, portanto, sugerido aos órgãos federais, estaduais e municipais a utilização do procedimento de 1998. O IFI estabelece faixas de classificação para a aderência em função do par  $Sp$  e  $F60$  que correspondem, respectivamente, a constante de referência da velocidade e do atrito a 60km/h de um determinado pavimento. Este par de valores encontrados através da metodologia descrita na ASTM E 1960 – 98 expressa o valor de IFI (Aps, 2006).

### 2.3. Materiais utilizados em pavimentos asfálticos e a influência destes na aderência pneu-pavimento

Dentre os materiais empregados para a construção de revestimentos, o CA tem sido bastante utilizado no Brasil. O comportamento deste material é influenciado por fatores tais como: (i) tipo de ligante asfáltico, (ii) graduação e forma dos agregados e (iii) grau de compactação da mistura (Masad *et al.*, 1999).

O conhecimento das propriedades dos agregados, bem como a sua origem, são essenciais para maximizar o potencial de utilização dos mesmos. Diversos estudos têm sido desenvolvidos a fim de verificar quais propriedades dos agregados mais influenciam o desempenho das misturas asfálticas, tendo em vista que estes representam cerca de 90 a 95% em peso e 70 a 85% em volume destes materiais (Bessa *et al.*, 2011).

Sobre a textura, pode-se afirmar que agregados que apresentam textura lisa podem ser mais facilmente recobertos pelo filme de ligante asfáltico se comparados aqueles com textura rugosa. Por outro lado, o cimento asfáltico forma usualmente ligações mecânicas mais fortes com os agregados de textura rugosa (Roberts *et al.*, 1996 *apud* Marques, 2001). Este fator também é importante para a determinação da aderência pneu-pavimento, pois a microtextura, que corresponde à aspereza ou à rugosidade da superfície do agregado, é responsável pelo atrito. Sendo assim, as superfícies resultantes dependem das combinações das características de micro e macrotextura conjuntamente.

Alguns pontos importantes na avaliação dos agregados devem ser verificados ainda na fase da concepção da mistura asfáltica, tais como: (i) potencial abrasivo, (ii) afinidade ao ligante, (iii) resistência ao polimento e (iv) características relacionadas ao atrito, tais como o polimento do agregado. Sabe-se que, o atrito é influenciado pelo polimento dos agregados, desta forma, é importante que se façam estudos que possibilitem a previsão desta característica, assim como a alteração da mesma a partir das solicitações do tráfego. Muitos pesquisadores, no entanto, acreditam que os ensaios e os testes físicos como o de abrasão *Los Angeles* (LA) não podem produzir boas previsões de polimento e de atrito em campo (West *et al.*, 2001 *apud* Masad *et al.*, 2009). Desta forma, as características de polimento começam a ser mais estudadas com a utilização de propriedades

microscópicas das misturas asfálticas.

Crouch *et al.* (2001) afirmam que os agregados tendem a atingir uma condição de “textura terminal” (aspereza de sua superfície e angularidade mínima) quando submetidos ao polimento e ao desgaste devido ao tráfego. Desta forma, uma caracterização adequada da “textura terminal” dos agregados é essencial para determinar a contribuição desta na resistência ao deslizamento da superfície betuminosa. Mahmoud (2005) salienta que métodos de avaliação da resistência ao polimento dos agregados estão sendo desenvolvidos, sendo um deles a utilização do equipamento AIMS (*Aggregate Imaging Measurement System*). Bessa *et al.* (2011) afirmam que o AIMS é capaz fornecer as propriedades de forma 2D, angularidade, textura, esfericidade e lamelaridade para agregados.

A susceptibilidade ao polimento de diversos agregados é atribuída às diferenças na quantidade de minerais resistentes ao desgaste, principalmente a sílica (Rezaei *et al.*, 2009). Estes autores salientam ainda que, agregados formados a partir de rochas ígneas e metamórficas podem proporcionar uma melhoria nas propriedades de atrito na superfície do pavimento. Entretanto, agregados dentro de uma mesma categoria, ou seja, formados a partir de rochas sedimentares, diferem, consideravelmente, na sua resistência ao polimento dependendo da composição mineralógica dos mesmos. Liang e Chyi (2000) *apud* Rezaei *et al.* (2009) relataram que um aumento no percentual de calcita e de dolomita proporcionou um aumento na susceptibilidade ao polimento do agregado investigado.

Outro fator, que deve ser analisado, é a adesividade que, em relação ao agregado, pode variar de acordo com: (i) composição mineral, (ii) aspereza da superfície, (iii) forma do agregado e de suas arestas, (iv) presença de umidade na superfície, (v) impurezas na superfície e (vi) porosidade. A afinidade entre ligante e agregados é relevante para a aderência pneu-pavimento, pois recoberto com a película de filme de ligante, o agregado fica mais protegido do desgaste sofrido pelo tráfego. Ao mesmo tempo, esta película cobre a microtextura do agregado ocasionando uma perda nas características de atrito em relação ao seu estágio inicial de desgaste. Sendo assim, o conhecimento da mineralogia e das características de polimento dos agregados são importantes para a previsão do comportamento do revestimento no que diz respeito ao atrito.

Sabe-se ainda que, existem vários métodos e materiais para melhoramento da textura e da drenagem superficial do pavimento. Esses tratamentos recuperam a macrotextura, devolvendo a rugosidade ao revestimento, porém não é possível recuperar a textura dos agregados que já passaram pela ação do polimento (Ferreira, 2002). Como exemplo, pode-se citar o *grooving*, a Camada Porosa de Atrito (CPA), a lama asfáltica, o *Stone Matrix Asphalt* (SMA) e o *Béton Bitumineux Très Mince* (BBTM). Contudo, no Brasil, estas soluções ainda são pouco utilizadas. O material mais difundido no país para pavimentação continua sendo o CA com granulometria enquadrada na faixa C do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sem qualquer investigação prévia referente às propriedades relacionadas à textura.

### 3. MÉTODO

Para alcançar o objetivo geral da presente pesquisa, foi es-

tabelecida uma programação de ensaios de campo e de laboratório. Os locais escolhidos para a realização da pesquisa foram rodovias localizadas nos estados de Pernambuco e da Paraíba. A programação envolveu:

- Seleção dos pontos das rodovias a serem estudados;
- Ensaios em campo (mancha de areia, pêndulo britânico e drenabilidade), com o objetivo de quantificar propriedades relacionadas à aderência e ao atrito da superfície do pavimento nos pontos levantados na primeira etapa; e
- Ensaios em laboratório para avaliação de algumas misturas analisadas em campo e reprodução de duas destas misturas em laboratório para análise das correlações existentes entre os ensaios conduzidos em campo e em laboratório.

#### 3.1. Locais de estudo

Alguns trechos de incidência de acidentes e incidentes nos estados de Pernambuco e da Paraíba foram analisados. Em Pernambuco, os dados foram obtidos através de estatísticas da 11ª Superintendência da Polícia Rodoviária Federal (PRF), sediada em Recife. Tomaram-se como fonte de amostragem as duas principais BRs do estado de Pernambuco. São elas, a BR 101 que atravessa todo o Estado no sentido Norte-Sul e a BR 232 que começa na região metropolitana de Recife e segue no sentido Leste-Oeste até a cidade de Salgueiro. Os dados foram levantados a partir das ocorrências registradas pela PRF nos anos de 2006 e de 2007. Tal escolha se deveu à proximidade com o local de estudo e também as recentes obras de reparos em algumas importantes rodovias do Estado. Escolheram-se trechos com dados de condições climáticas semelhantes para se tenha uma comparação mais homogênea e, posteriormente, foram selecionados três tipos de geometria da via (trecho reto, trecho curvo e cruzamento), além das condições da via (boa, regular ou ruim) (Pereira, 2010).

Na Paraíba, a escolha foi devida a relatos de técnicos do Departamento de Estrada de Rodagem (DER) da Paraíba e da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), além das observações da PRF. Foram elencados pontos de grandes incidências de acidentes, principalmente em períodos chuvosos. Neste caso, verificou-se que todos os pontos sugeridos eram trechos em curva. Os ensaios foram feitos Antes da Curva (AC), na Curva (C) e logo Depois da Curva (DC).

#### 3.2. Ensaios e procedimentos utilizados em campo

Os ensaios e os procedimentos realizados em campo estão listados a seguir:

- Pêndulo Britânico: trata-se de um equipamento portátil cuja especificação é baseada no método ASTM E 303 – 98. Este consiste em um método de ensaio realizado com um pêndulo padronizado com uma base de borracha que é lançado em direção ao pavimento molhado, com o objetivo de medir a perda de energia por atrito da sapata de borracha do pêndulo quando esta desliza sobre a superfície do pavimento. O valor é expresso em BPN (*British Pendulum Number*) ou SRT (*Skid Resistance Test*). Para cada tipo de superfície em campo, foram feitos ensaios em três pontos. A classificação de atrito a partir dos resultados do ensaio com a utilização do pêndulo britânico está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação dos resultados para o ensaio com o pêndulo britânico (Aps, 2006)

Classificação	Legenda	Limites BPN
Perigosa	P	BPN < 25
Muito Lisa	ML	25 ≤ BPN < 31
Lisa	L	32 < BPN < 39
Insuficientemente Rugosa	IR	40 < BPN < 46
Medianamente Rugosa	MR	47 < BPN < 54
Rugosa	R	55 < BPN < 75
Muito Rugosa	MuR	BPN > 75

- Mancha de areia: é um ensaio usado para a determinação da média da profundidade da altura da mancha de areia em superfícies de pavimentos com o objetivo de obtenção das características de macrotextura (ASTM E 965 – 96). Para cada tipo de superfície em campo, foram feitos ensaios em três pontos. O Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos do DNIT (1998) apresenta faixas de valores para a macrotextura, entretanto, para um melhor ajuste foram incorporadas mais duas faixas provenientes dos resultados deste ensaio para tornar este compatível o número de faixas utilizadas na classificação a partir da utilização do pêndulo britânico (Aps, 2006). Os novos limites definidos estão expressos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Classificação dos resultados para o ensaio de mancha de areia (Aps, 2006)

Classificação	Legenda	Limites HS
Muito Fina	MF	HS < 0,20
Fina	F	0,20 < HS <
Medianamente Fina	MeF	0,40 < HS <
Média	M	0,60 < HS <
Medianamente Grossa	MeG	0,80 < HS <
Grossa	G	1,00 < HS <
Muito Grossa	MG	HS > 1,20

- Drenabilidade: é um ensaio que permite, através da avaliação da capacidade de escoamento da água superficial por entre os canais da rugosidade, caracterizar a textura do revestimento. O equipamento utilizado é o drenômetro que segue os padrões do *Insti-*

*tute for Highway, Railroads and Rock Engineering* (Aps, 2006).

Realizados os ensaios em campo, foi feito o cálculo do IFI de acordo com a ASTM E 1960 – 98 na versão de 1998, tendo em vista que o DNIT já recomenda o uso da mesma no seu Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (2006). As faixas de classificação de IFI propostas por Aps (2006), e consideradas nesta pesquisa, são apresentadas na Tabela 3. Esta citada autora sugere, ainda, a exigência dos valores mínimos do IFI de 0,15 e 0,22 para pavimentos em uso e novos, respectivamente. Ou seja, os pavimentos que estão em uso e os novos devem estar acima das classificações regular e boa, respectivamente.

**Tabela 3.** Faixas propostas para IFI (Aps, 2006)

Classificação	Limites IFI
Péssimo	IFI < 0,05
Muito Ruim	0,06 ≤ IFI < 0,08
Ruim	0,09 ≤ IFI < 0,11
Regular	0,12 ≤ IFI < 0,14
Bom	0,15 ≤ IFI < 0,21
Muito Bom	0,22 ≤ IFI < 0,35
Ótimo	IFI > 0,35

Após as verificações em campo, a composição de cada mistura existente na pista foi analisada a fim de verificar a influência de cada material na aderência pneu-pavimento. As misturas receberam a nomenclatura apresentada na Tabela 4. Chamou-se de CCP o Concreto de Cimento Portland e de TSD o Tratamento Superficial Duplo. As misturas asfálticas para as quais não se obteve informação sobre o traço foram denominadas S/I (Sem Informação).

### 3.3. Ensaios e procedimentos utilizados em laboratório

Depois de realizados os ensaios em campo, tentou-se simular os mesmos materiais/condições em laboratório. Para isto, foi adquirido um tipo de agregado da região onde foram executadas as obras para que fosse possível a reprodução em laboratório mais próxima possível da realidade encontrada em campo. O ligante utilizado foi o CAP 50/70, portanto com a mesma classificação e considerado o mais próximo possível daquele utilizado nas

**Tabela 4.** Especificação dos tipos de superfícies ensaiadas

Rodovia	Trecho (km)	Tipo de superfície	Nomenclatura adotada para a mistura	Ano de intervenção	Vv (%)	TMN (mm)	Teor de ligante (%)
BR-101 (PE)	33	CCP com capa de CA	S/I(A)	1973	–	–	–
	49	CA	S/I(B)	2001	–	–	–
	67 e 73	CCP com capa de CA	S/I(C)	2001	–	–	–
	83, 94 e 98	CA	Mistura A	2007	3,8	9,5	6,3
	114, 132 e 145	CA	Mistura B	2001	4,0	9,5	6,2
	157 e 161	CA	Mistura C	2001	3,7	4,75	5,2
BR-232 (PE)	6	CCP	S/I (D)	2002	–	–	–
	7 e 8	CCP com capa de CA	S/I (E)	2002	–	–	–
	9 e 15	CA	Mistura D	2002	3,9	4,75	5,8
BR-230 (PB)	75, 90, 91 e 110	CCP	S/I (F)	2002	–	–	–
	147, 160 e 175	TSD	S/I (G)	2007	–	–	–
BR-230 (PB)	138 (AC, C e DC)*	CA	Mistura E	2000	5,2	12,5	4,7
	115 (AC, C e DC)*	CA	Mistura F	2000	3,6	9,5	5,6
	67 (AC, C e DC)*	CA	Mistura G	2000	3,9	12,5	5,9
	49 (AC, C e DC)*	CA	Mistura G	2000	3,9	12,5	5,9

\* AC – antes da curva; C – curva; DC – depois da curva



Figura 1. Compactação das placas em laboratório

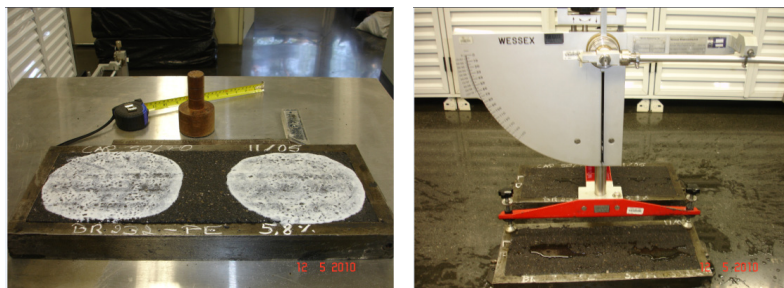


Figura 2. Ensaio de mancha de areia e pêndulo britânico realizados em laboratório

obras.

Elegeram-se dois tipos de misturas asfálticas utilizadas em campo para que fossem reproduzidas em laboratório: uma com o TMN de 9,5mm e outra com TMN de 12,5mm. A ideia foi investigar se o tamanho dos agregados apresenta influência no desempenho da aderência pneu-pavimento. As misturas confeccionadas foram denominadas de Mistura D e Mistura F, respectivamente. Em seguida, as misturas foram compactadas na mesa compactadora utilizando as recomendações da norma francesa NF P 98-253-1, com algumas adaptações sugeridas pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação (LTP) da USP. A sua execução está ilustrada na Figura 1.

Após a compactação, as misturas foram ensaiadas no simulador de tráfego tipo LCPC e avaliadas com relação à deformação nos ciclos correspondentes a 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000 passagens. Aliado a este ensaio, foram realizados os ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico como pode ser observado na Figura 2. O ensaio de mancha de areia foi realizado antes do início da simulação e após os ciclos 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000. A cada intervalo de ciclos eram feitos quatro ensaios de mancha de areia, dois no lado direito e dois no lado esquerdo de cada placa, para se conseguir uma maior confiabilidade. O ensaio foi feito com metade do volume padrão de areia (ASTM E965 – 01), para que fosse possível verificar este parâmetro na área da placa, tendo em vista que a superfície tinha restrições com relação às suas dimensões. Nos ciclos iniciais, o ensaio foi feito da maneira usual, formando um círculo e medindo-se o diâmetro do mesmo. Contudo, a medida que a trilha de roda começou a ser formada na placa, o ensaio foi realizado utilizando-se a área de um retângulo e fazendo-se as conversões necessárias.

O ensaio de pêndulo britânico foi realizado antes da simulação do tráfego e após o ciclo de número 10.000, pois seria inviável realizar o ensaio a cada intervalo de ciclo como foi realizado para a avaliação com a mancha de areia, tendo em vista que seria necessário retirar a placa do simulador, ocasionando assim perda de temperatura e demandando um tempo excessivo para a realização do

ensaio. Também não foi possível realizar o ensaio de pêndulo britânico após os 30.000 ciclos, pois, com a trilha de roda formada, não foi possível realizar a passagem da sapata do pêndulo de forma adequada para a realização do ensaio. Como o intuito das análises de laboratório era avaliar o desenvolvimento da aderência, acredita-se que, uma medida inicial e outra após vários ciclos sejam suficientes para a indicação deste parâmetro.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos em campo, que podem ser visualizados na Tabela 5. Pode-se retirar informações importantes a cerca das condições das rodovias com relação à aderência pneu-pavimento.

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006), os segmentos com baixo valor de aderência e/ou altos índices de acidentes devem ser identificados. Assim, são adotados valores admissíveis para HS, FRS e IFI. Para o DNIT, os valores admissíveis são de HS entre 0,6mm e 1,2mm e de resistência à derrapagem, medida através da utilização do pêndulo britânico, igual ou superior a 55. Já para os valores de IFI, Aps (2006) aponta que o F60 deve ser no mínimo igual a 0,15 para pavimentos em uso e 0,22 para pavimentos novos.

A partir dos dados expostos na Tabela 5, observa-se que, dos 36 pontos analisados 27 estavam abaixo dos limites mínimos exigidos pelo DNIT para HS, ou seja, 75% dos pontos ensaiados estão abaixo do limite mínimo de medida de textura e dois pontos apresentaram valores acima do limite mínimo sugerido (0,6mm). A rodovia que apresentou o pior desempenho com relação ao critério HS foi a BR 230, na Paraíba (aproximadamente 92% dos pontos analisados estavam abaixo do valor mínimo), e o melhor desempenho foi encontrado na BR 101, no estado de Pernambuco (aproximadamente 42% dos pontos analisados estavam acima do mínimo).

Os valores encontrados no ensaio de pêndulo britânico mostraram que houve 28 pontos, dos 36 analisados, que estavam abaixo do limite mínimo de segurança sugerido pelo DNIT, ou seja, aproximadamente 78% dos pontos apresen-

**Tabela 5.** Resultados dos ensaios e classificação IFI

Rodovia	Trecho (km)	Mancha de areia		Pêndulo Britânico		IFI	Drenabilidade (l/s)	Nome da mistura
		HS (mm)	Classificação	BPN	Classificação	Classificação		
	33	0,324	F	52,6	MR	Ruim	0,060	* S/I(A)
	49	0,369	F	46,5	IR	Regular	0,083	S/I(B)
	67	0,757	M	50,5	MR	Muito Bom	0,232	S/I(C)
	73	0,531	MeF	40,2	IR	Bom	0,101	S/I(C)
	83	0,388	F	45,4	IR	Regular	0,078	Mistura A
	94	0,385	F	53,2	MR	Bom	0,115	Mistura A
	98	0,380	F	48,8	MR	Regular	0,064	Mistura A
	114	0,841	MeG	35,6	L	Bom	0,354	Mistura B
	132	1,118	G	49,2	MR	Muito Bom	0,488	Mistura B
	145	0,558	MeF	40,8	IR	Bom	0,174	Mistura B
BR-101	157	0,820	MeG	49,8	MR	Muito Bom	0,189	Mistura C
(PE)	161	0,776	M	52,6	MR	Muito Bom	0,398	Mistura C
	6	0,318	F	42,8	IR	Ruim	0,088	S/I (D)
	7	0,266	F	48,8	MR	Muito Ruim	0,025	S/I (E)
	8	0,445	MeF	44,4	IR	Bom	0,043	S/I (E)
	9	0,646	M	45,4	IR	Muito Bom	0,107	Mistura D
	15	0,401	MeF	54,4	MR	Bom	0,030	Mistura D
	75	0,198	MF	58,2	R	Muito Ruim	0,026	S/I (F)
	90	0,189	MF	55,2	MR	Muito Ruim	0,019	S/I (F)
	91	0,199	MF	53,0	MR	Muito Ruim	0,017	S/I (F)
	110	0,273	F	53,6	MR	Ruim	0,018	S/I (F)
	147	0,304	F	48,4	MR	Ruim	0,037	S/I (G)
BR-232	160	1,205	MG	50,4	MR	Muito Bom	0,350	S/I (G)
(PE)	175	1,405	MG	60,2	R	Ótimo	0,412	S/I (G)
	138 AC*	0,385	F	50,0	MR	Regular	0,062	Mistura E
	138C* CC*	0,299	F	50,2	MR	Ruim	0,029	Mistura E
	138 DC*	0,311	F	56,2	R	Ruim	0,022	Mistura E
	115 AC*	0,345	F	58,2	R	Regular	0,041	Mistura F
	115 C*	0,207	F	60,4	R	Muito Ruim	0,043	Mistura F
	115DC*	0,622	M	61,4	R	Muito Bom	0,058	Mistura F
	67 AC*	0,388	F	48,2	MR	Regular	0,084	Mistura G
	67 C*	0,509	MeF	58,8	R	Muito Bom	0,095	Mistura G
	67 DC*	0,382	F	53,8	MR	Bom	0,051	Mistura G
	49 AC*	0,249	F	49,0	MR	Muito Ruim	0,033	Mistura G
BR-230	49 C*	0,589	MeF	51,2	MR	Muito Bom	0,099	Mistura G
(PB)	49 DC*	0,530	MeF	48,2	MR	Bom	0,080	Mistura G

\* AC – antes da curva; C – curva; DC – depois da curva

tavam-se com resultados abaixo do mínimo exigido para a medida de atrito do pavimento (55 BPN). Neste caso, a rodovia que apresentou o pior desempenho foi a BR 101 em Pernambuco, tendo todos os valores de atrito ficado abaixo de 55 BPN. O melhor desempenho foi o da BR 230 no estado da Paraíba. Mesmo assim, mais da metade dos pontos medidos estava com valores abaixo de 55 BPN. Unindo-se os dados de todas as rodovias estudadas, observa-se que, aproximadamente, 97% dos pontos analisados precisam de algum tipo de intervenção para atingir os níveis mínimos sugeridos pelo DNIT, tanto para a textura como para o atrito. Deste total, aproximadamente, 20% precisam melhorar somente a questão do atrito, 20% precisam melhorar somente a textura e 58% precisam melhorar o atrito e a textura.

Com relação ao IFI, 18 pontos avaliados ficaram com classificação entre muito bom, bom e ótimo, o que equivale a metade dos pontos analisados. A outra metade restante foi classificada como regular ou muito ruim. Este fato se deve a combinação da medida de textura e de atrito, pois, em alguns casos, mesmo uma destas medidas apresentando valores desfavoráveis, o outro fator elevava o nível alterando

assim a classificação do IFI, principalmente quando os valores das medidas de textura eram bons, pois este tem um peso maior no cálculo do IFI. É importante analisar os dados em conjunto, pois, em alguns casos, pode-se observar medidas abaixo do nível exigido para um dos parâmetros e mesmo assim o IFI apresentou valores positivos. Nestes casos, é importante que se faça uma avaliação em campo para verificar se as medidas de IFI são condizentes com a realidade. No presente estudo, o IFI mostrou-se representativo como parâmetro para a avaliação da qualidade da aderência pneu-pavimento de acordo com análise das situações observadas no local. No trabalho de Aps (2006) também foram relatados dados semelhantes, onde o IFI aparece com um valor baixo e a medida do resultado do ensaio com o pêndulo Britânico com um valor alto (acima de 55). Mesmo com as medidas de atrito estando acima do sugerido, as medidas de textura são baixas. Assim, na combinação dos dados de textura e de atrito, que são as parcelas responsáveis pela aderência pneu-pavimento, os valores apresentam-se baixos. Também ocorreu no trabalho de Aps (2006) a situação onde a superfície era rugosa e o atrito baixo, mas na combinação



dos dados para elaboração do IFI este apresentou valores satisfatórios.

Analisando-se as medidas de aderência em função das misturas conhecidas em campo, pode-se observar na Figura 3 que apenas as misturas S/I(C), B, C e o TSD ficaram acima do limite mínimo sugerido ( $HS = 0,6\text{mm}$ ). Os valores referentes à Figura 3 foram obtidos através de uma média aritmética dos resultados de todos os resultados dos ensaios de mancha de areia executados para cada tipo de superfície. Dentre elas, o melhor resultado foi apresentado pelo TSD, o que já era esperado, pois este é um revestimento mais aberto. Contudo, com relação às outras misturas, esperava-se que fosse encontrado um resultado superior para aquelas com maior porcentagem de vazios, mas para os materiais analisados nesta pesquisa não foi obtido um padrão de comportamento. Isto pode ser explicado devido à idade dos pavimentos. Provavelmente, os vazios já foram, pelo menos em parte, preenchidos ao longo do tempo. Dentre os pavimentos analisados, o mais recente foi executado em 2007, relativamente novo na época dos ensaios, entretanto, o traço desta mistura, representada pela Mistura A, é bastante fechado. Cerca de 51% da mistura é composta por agregados miúdos, ou seja, material retido na peneira nº200 e passante na peneira nº10. Nesta mistura, também, observou-se um alto consumo de ligante, 6,3%, pois como o material fino era abundante, a superfície específica é maior resultando em um alto consumo do material betuminoso. De maneira geral, os revestimentos em CCP também apresentaram resultados insatisfatórios. Isto também era esperado, pois este tipo de revestimento é bastante fechado. Para os demais revestimentos não houve grande variação, mesmo porque as misturas avaliadas podem ser consideradas semelhantes com relação à granulometria.

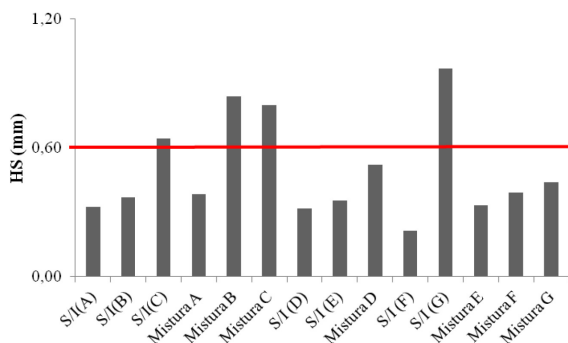


Figura 3. Valores de macrotextura (HS) para as diversas superfícies analisadas

Avaliando-se a medida de atrito, observa-se na Figura 4, que, a maior parte das misturas apresenta resultados com classificação acima de medianamente rugosa ( $BPN = 47$ ). As misturas que apresentaram os melhores resultados foram aquelas com maior porcentagem de agregados graúdos na sua composição (retidos na peneira nº10). Como exemplo, pode-se citar as misturas G e F que apresentaram mais de 50% do seu traço representado por agregados graúdos. Isto evidencia a importância deste tipo de material na parcela de atrito.

Observando a Figura 5, que representa o valor de IFI (F60) para as diversas superfícies analisadas, ou seja, a combinação das medidas de textura e de atrito, verifica-se que a superfície com melhor desempenho é o TSD, seguida

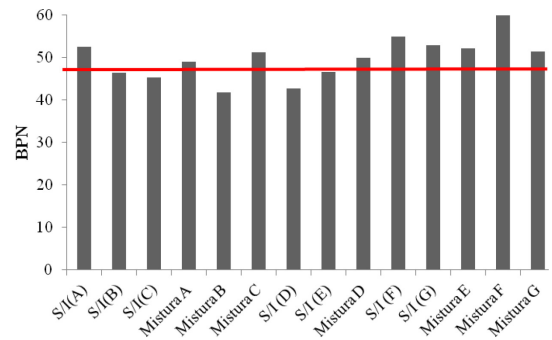


Figura 4. Valores de atrito (BPN) para as diversas superfícies analisadas

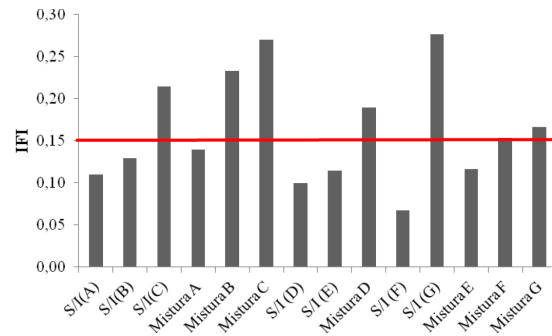


Figura 5. Valores da combinação textura e atrito (F60) para as diversas superfícies analisadas

das misturas C e B. Considerando-se o limite de IFI (F60) igual a 0,15 para pavimentos em uso, como aconselha Aps (2006), verifica-se que 50% das misturas encontra-se em bom estado.

Observou-se um agrupamento das medidas dos ensaios para os mesmos tipos de misturas, verificando-se, desta forma, que as variáveis das misturas exercem influência na aderência pneu-pavimento. As melhores superfícies perante a combinação dos valores de atrito e de textura foram as confeccionadas com TSD, com a mistura B, com a mistura C e com a S/I (C). Os piores valores foram aqueles encontrados para as superfícies com CCP, com a S/I (A), com a S/I (B), com a S/I (E) e com a mistura A. A mistura A é muito fechada com alto percentual de agregados miúdos e ligante. Como o maior peso no cálculo do IFI é representado pela medida de macrotextura, a mesma ficou comprometida com relação a este parâmetro. Mas de maneira geral, como já foi mencionado, o IFI representou adequadamente as condições de aderência pneu-pavimento, ou seja, os limites adotados por Aps (2006) são adequados para a avaliação das superfícies nas regiões analisadas.

Avaliando-se as misturas em laboratório, percebe-se que as duas misturas analisadas apresentaram valores de macrotextura iniciais (HS) de 0,5mm e 0,4mm, respectivamente, para as misturas D e F, ou seja, abaixo do recomendado pelo DNIT. Isto evidencia a falha existente na escolha das misturas utilizadas em campo, pois, em laboratório, onde as medidas, de uma forma geral, tendem a ser superiores se comparadas aquelas encontradas em campo estas já se mostraram deficientes em estágio inicial. Sendo assim, acredita-se que a faixa C do DNIT deve ser revista para que se consiga atender com mais eficiência os parâmetros de macrotextura para misturas asfálticas do tipo CA. Aliado a isto, deve-se repensar a questão da caracterização dos agregados

que deve contemplar uma análise sobre o polimento dos mesmos. Também foi observada falta de padrão nas medidas realizadas no decorrer dos ciclos, isto pode ser explicado pela falta de vibração na compactação realizada em laboratório. Com o passar da roda durante o ensaio de simulação, as partículas dos agregados tendem a ficar mais salientes na superfície apresentando um falso ganho na medida de textura, além do descolamento do ligante da superfície.

Com relação às medidas de atrito, verificou-se que os valores foram satisfatórios para as medidas iniciais e apenas a mistura F apresentou valores abaixo do recomendado pelo DNIT, após 10.000 ciclos. Pode-se inferir que os agregados adotados na região estudada apresentam elevada resistência ao polimento, contribuindo desta forma para o atrito entre o pneu e o pavimento.

Adotando-se o valor médio de atrito encontrado em laboratório como sendo uma medida do pavimento em seu estágio inicial e verificando-se a evolução destas medidas com relação a idade dos pavimentos (informações de campo), tem-se a situação apresentada na Figura 6. Consideraram-se, nesta evolução, todas as misturas de CA, tendo em vista que estas misturas não apresentam grandes variações e os materiais empregados, são semelhantes.

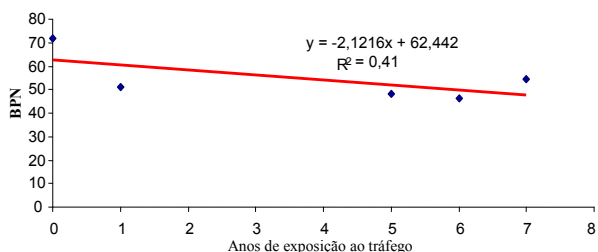


Figura 6. Medidas de atrito (BPN) versus anos de exposição ao tráfego

Verifica-se que houve uma tendência de decréscimo no valor de BPN com o passar do tempo de uso e com a exposição ao tráfego. Somente um dos pontos ficou fora desta tendência. Este ponto é referente ao pavimento executado no ano de 2000, portanto, com sete anos de construção decorridos da data de medição do atrito. Um dos fatores que pode explicar este fato é que um dos pontos na composição da média deste ano se destacou dos demais com valor aproximadamente 20% maior se comparado aos demais pontos, elevando esta média. Ressalta-se ainda que, esta análise contemplou somente os pavimentos executados com revestimentos compostos por misturas asfálticas.

Analisando-se os valores de F60, que é um dos parâmetros do IFI encontrados em laboratório verificou-se, através da Figura 7, que também houve um comportamento esperado, ou seja, perda de qualidade do pavimento no que diz respeito ao aspecto aderência pneu-pavimento ao longo da simulação de tráfego. A mistura D, aos 10.000 ciclos de passagem, apresentou um valor de F60 igual a 0,14, abaixo do recomendado para pavimentos em uso (0,15). No estágio inicial esta mesma mistura apresentou F60 igual a 0,19. De acordo com Aps (2010), o valor recomendado de IFI para pavimentos novos é de 0,22. Este fato é relevante, pois em laboratório as medidas geralmente apresentam-se superiores às medidas realizadas em campo. Se os valores encontrados estão abaixo do recomendado, o revestimento pode ter sido concebido de forma deficiente no que diz respeito à aderência pneu-pavimento. Estas médias foram obtidas a

partir de quatro medidas, ressaltando-se ainda que as medidas isoladas apresentaram-se homogêneas.

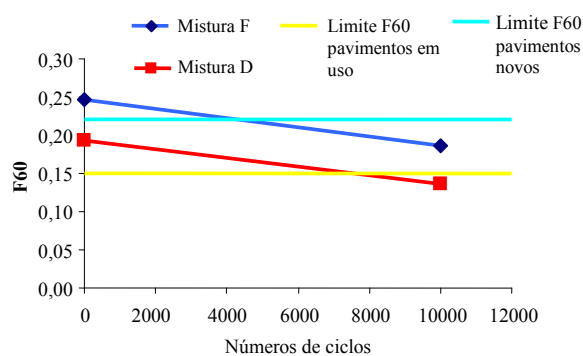


Figura 7. Evolução do F60 para as misturas analisadas em laboratório

É necessário analisar o tipo de mistura a ser utilizado em campo para que se possa garantir a macrotextura adequada para o pavimento. Assim, observa-se que, é de grande importância, para a decisão na concepção da mistura, o levantamento das condições mínimas de aderência pneu-pavimento, pois as variações no revestimento são determinantes nas características anti-derrapagem. Se na localidade não houver a possibilidade de fornecimento de agregados que possibilitem um atrito adequado e elevada resistência ao polimento, é necessário que haja uma preocupação maior com a dosagem das misturas, para que estas não sejam muito fechadas e possam proporcionar as condições mínimas de aderência pneu-pavimento. Em geral, misturas com muitos finos proporcionam um consumo maior de ligante e tendem a ser mais fechadas, e menos permeáveis. No Brasil, utiliza-se a faixa C do DNIT em grande parte das misturas empregadas em campo. Esta faixa apresenta uma curva contínua e bastante densa que geralmente requer um maior consumo de ligante, o que dificulta o escoamento das águas superficiais e aumenta a impermeabilização da superfície. É importante que haja esta impermeabilização, mas se isto ocorre em excesso é preocupante, pois esta dificulta a formação de vazios interligados que possibilitam o escoamento da água.

Com relação aos agregados, é importante garantir que estes são capazes de preservar uma rugosidade mínima durante a vida útil do pavimento para que o desempenho adequado em relação ao atrito seja atingido. Assim, sugere-se acrescentar nos procedimentos de caracterização dos materiais ensaios que possam avaliar a resistência ao polimento dos agregados, tendo em vista a importância exercida pelo atrito na segurança do pavimento (Pereira, 2010). Um método que tem se mostrado eficiente para analisar a perda da rugosidade do agregado é a partir do uso do Processamento Digital de Imagens (PDI) combinado com ensaios de abrasão e polimento. De acordo com Mahmoud e Masad (2007) *apud* Rezaei *et al.* (2009), o referido método apresentou boa correlação entre campo e laboratório na avaliação da resistência ao polimento. Também é importante conhecer a procedência do agregado, pois suas propriedades mineralógicas influenciam na resistência ao polimento. Segundo Marques (2001), o quartzo e o feldspato são minerais mais duros e resistentes ao polimento. Estes minerais são geralmente encontrados em rochas ígneas como o granito, que foi o material utilizado neste estudo. Em contrapartida, deve-se observar que o granito apresenta uma tendência a for-



necer baixa adesividade devido à elevada presença de silício em sua composição (Pereira, 2010).

## 5. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram analisadas características de pavimentos de algumas principais rodovias dos estados de Pernambuco e da Paraíba com relação a aderência pneu-pavimento. Com os resultados expostos observa-se que, para grande parte dos pontos analisados, os resultados estão abaixo dos valores mínimos sugeridos pelo DNIT, tanto para a textura quanto para o atrito. Unindo-se os resultados dos ensaios de atrito e de textura, nota-se que, quase todos os pontos necessitariam de algum tipo de intervenção. Contudo, os valores de atrito apresentaram-se menos preocupantes se comparados aos valores de textura, demonstrando que o agregado da região apresenta bom desempenho.

Estes resultados evidenciam a importância da fase de concepção da mistura asfáltica não só no aspecto da caracterização volumétrica e mecânica da mesma, como já é de conhecimento do meio técnico, mas também com relação a previsão do seu desempenho perante a aderência pneu-pavimento, o que vem sendo ainda pouco explorado no Brasil. Neste sentido também é importante atentar para a granulometria enquadrada na faixa C do DNIT pois esta apresentou-se deficiente ainda na fase de laboratório. Ou seja, as misturas estudadas em seu estado inicial já apresentam medidas inadequadas de HS, portanto, já foram concebidas de maneira falha com relação a este aspecto.

De maneira geral, o IFI pôde ser considerado satisfatório para caracterizar a aderência pneu-pavimento. Deve-se, porém, verificar a disponibilidade de material, pois se não houver agregados com microtextura adequada é necessário atentar para a confecção da mistura, garantindo um nível de textura mínimo e, conseqüentemente, um valor de IFI e a aderência pneu-pavimento adequados. Notou-se ainda que, as medidas de textura apresentam um peso maior no valor de IFI. Para as misturas simuladas em laboratório foi verificada deficiência em uma delas no valor de IFI, demonstrando a falha na sua concepção perante o aspecto de aderência pneu-pavimento. Esta falha foi notada principalmente nas características relacionadas a textura da mistura adotada.

Com estas informações, os órgãos rodoviários podem realizar uma análise mais profunda, caso a caso, e com isso avaliar as necessidades e programar medidas construtivas e corretivas para proporcionar maior segurança com relação à aderência pneu-pavimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade Federal do Ceará (LMP/UFC) e ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo (LTP/USP) pelo apoio. Ao Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH26/ANP) pela bolsa de doutorado da primeira autora. Ao DNIT- PE e DNIT-PB pela disponibilização das informações. À Polícia Rodoviária Federal (PRF) de PE e da PB pela mobilização na realização dos ensaios de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aps, M. (2006) *Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- Aps, M. (2010) *Análise da Aderência Pneu-Pavimento*. Palestra proferida na Escola Politécnica – USP, São Paulo, SP, em 14 de maio de 2010.
- ASTM (1998) *E 303-98 – Standard Test Method for Measuring Surface Friction Properties Using the British Pendulum Tester*. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/E0303-93R08.
- ASTM (1998) *E 1960-98 – Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/E1960-98.
- ASTM (2001) *E 965-96 – Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/E0965-96R01.
- Bessa, I. S.; V. T. F. Castelo Branco e J. B. Soares (2011) *Avaliação da Resistência ao Polimento e à Degradação de Agregados Utilizando a Abrasão Los Angeles e o Processamento Digital de Imagens*. 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, Foz do Iguaçu.
- Brosseaud, Y. (2006) *Propriedade das Superfícies dos Pavimentos em Relação à Segurança e ao Conforto dos Usuários*. 18º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, Rio de Janeiro, RJ.
- CNT (2006) *Pesquisa Rodoviária 2006: Relatório Gerencial*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF.
- CNT (2011) *Pesquisa Rodoviária 2011: Relatório Gerencial*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF.
- Crouch, L. K.; H. J. Sauter; G. M. Duncan e W. A. Goodwin (2001) *Polish Resistance of Tennessee Bituminous Surface Aggregates. Aggregate Contribution to Hot Mix Asphalt (HMA) Performance*. USA.
- DNER (1998) *Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, IPR, Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2006) *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, IPR, Rio de Janeiro, RJ.
- Ferreira, P. N. (2002) *Avaliação da Macrotextura de Trechos Pavimentados de Rodovias Estaduais Situadas na Região Insular do Município de Florianópolis*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Lay, J. B. C. (1998) Friction and Surface Texture Characterization of 14 Pavement Test Sections in Greenville, North Carolina. *Transportation Research Record*, North Carolina, USA. n. 1639, p. 155–161. DOI: 10.3141/1639-17.
- Mahmoud, E. M. (2005) *Development of Experimental Methods for the Evaluation of Aggregate Resistance to Polishing, Abrasion and Breakage*. Dissertação (Mestrado). Texas A&M University, College Station, TX, EUA.
- Marques, G. L. O. (2001) *Procedimentos de Avaliação e Caracterização de Agregados Minerais Usados na Pavimentação Asfáltica*. Seminário de Qualificação Acadêmica ao Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Masad, E.; B. Muhunthan; N. Shashidhar e T. Harman (1999) Internal Structure Characterization of Asphalt Concrete Using Image Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 13, n. 2, p. 88–95. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(1999)13:2(88).
- Masad, E.; A. Rezaei; A. Chowdhury e P. Harris (2009) *Predicting Asphalt Mixture Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics*. Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System. College Station, TX, USA.
- Pereira, C. A. (2010) *Análise da Aderência Pneu-Pavimento em Rodovias do Estado de Pernambuco e da Paraíba com Elevado Índice de Acidentes*. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Pereira, C. A.; J. B. Soares; I. D. S. Pontes Filho e J. A. Macêdo (2009) *Análise da Aderência Pneu-Pavimento nas Principais Rodovias do Estado de Pernambuco e da Paraíba*. 16º RPU – Reunião de Pavimentação Urbana, Belo Horizonte, MG.
- Rezaei, A.; E. Masad; A. Chowdhury e P. Harris (2009) Predicting Asphalt Mixtures Skid Resistance by Aggregate Characteristics and Gradation. *Journal of the Transportation Research Board*. Transportation Research Board of the National Academies. Washington DC, USA, n. 2104. p. 24–33. DOI: 10.3141/2104-03.
- Rodrigues Filho, O. S. (2006) *Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo / Congonhas*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- Santos, E. L. (2004) *Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ*. Trabalho de Graduação. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.
- Silva, J. P. S. (2005) *Aderência Pneu-Pavimento e as Condições de Segurança de Pistas Aeroportuárias*. Brasília, DF.
- Yue, Z. Q.; W. Bekking e I. Morin (1995) Application of Digital Image Processing to Quantitative Study of Asphalt Concrete Microstructure. *Transportation Research Record*, TRB, National Research Council, Washington, DC, n. 1492, p. 53–60.