

Jaqueline Carvalho Ferreira

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA  
MACROTEXTURA E MICROTEXTURA NA ADERÊNCIA  
PNEU-PAVIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr.  
Glicério Trichês.

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ferreira, Jaqueline Carvalho

Estudo e avaliação da influência da macrotextura e  
microtextura : na aderência pneu-pavimento / Jaqueline  
Carvalho Ferreira ; orientador, Glicério Trichês -  
Florianópolis, SC, 2016.  
210 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Aderência pneu-pavimento. 3.  
Textura. 4. Índice internacional de atrito.. I. Trichês,  
Glicério. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Jaqueline Carvalho Ferreira

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA  
MACROTEXTURA E MICROTEXTURA NA ADERÊNCIA  
PNEU-PAVIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Florianópolis, 21 de Março de 2016.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Luciana Rohde, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Paulo António Alves Pereira, Dr.  
Universidade do Minho



Este trabalho é dedicado à  
minha Família, ao Fábio e a Flor.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram para realização deste trabalho, tornando essa árdua tarefa possível de se concretizar.

A orientação do Professor Glicério Trichês pela sua dedicação e ensinamentos que agregaram não apenas a esse trabalho como também minha carreira profissional.

Ao incentivo do Professor Luiz Roberto Prudêncio para que eu entrasse no meio acadêmico.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade do ingresso, em especial aos meus colegas Lídia, Vanessa, Sárvia, Emanuelle, Yan, Matheus, Jonathan e Carlos Quintero por toda ajuda e companheirismo no laboratório de pavimentação.

Aos meus amigos queridos que apenas pelo fato de estarem no momento certo, na hora certa, proporcionando palavras amigas, acabaram me ajudando nesta conquista.

As minhas famílias (Carvalho Ferreira e a Binder Neis) por todo apoio e compreensão que tiveram durante este período de quase três anos. Sem vocês eu nada seria. É este amor infinito que nos dá forças para voar alto e fazer o sonho virar realidade.

A minha companheira Flor que com o seu olhar meigo e rabinho abanando me motivou todos os dias.

Não podia deixar de fazer um agradecimento em especial ao amor da minha vida, aquele que eu posso contar e dividir todos os momentos. Pois você esteve esse tempo todo me dando apoio e incentivando. Fábio, eu te amo e quero para sempre dividir todas as minhas conquistas contigo.



## RESUMO

O nível de segurança de uma rodovia é influenciado por diversos fatores como limite de velocidade, condições dos pneus dos veículos, características geométricas da via e a aderência pneu-pavimento da superfície de rolamento. Este trabalho visa analisar a influência da macrotextura e microtextura na aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas aplicadas em rodovias do estado de Santa Catarina. Para tal análise, foram selecionadas misturas asfálticas em função da origem mineral do agregado, granulometria e teor de ligante. O objetivo do trabalho consiste em avaliar os fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento em misturas asfálticas compactadas em laboratório e em campo, bem como determinar o Índice Internacional de Atrito (*IFI*) e analisar a classificação qualitativa desse parâmetro. Além disso, analisar o efeito da atuação do tráfego na influência desse fator durante um período de aproximadamente um ano. Para isso, foram realizados levantamentos da textura e do coeficiente de atrito, tanto em campo quanto em laboratório, por meio dos ensaios de Mancha de Areia, Pêndulo Britânico e Grip Tester, além da comparação dos valores de *IFI* obtidos por diferentes equipamentos que medem o coeficiente de atrito para um mesmo segmento. A partir do estudo realizado neste trabalho foi possível verificar que a granulometria foi a variável que mais influenciou na caracterização da aderência pneu-pavimento. Em relação aos métodos de compactação utilizados em laboratório e em campo, foi observada uma diferença dos índices obtidos de macrotextura, sendo que os resultados de laboratório se apresentaram superiores aos de campo. No que diz respeito à influência da atuação do tráfego, foi possível verificar a diminuição dos índices de microtextura e macrotextura durante o período da parte experimental. Neste contexto, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho sirvam de fontes balizadoras para elaboração de normas e especificações técnicas que estabeleçam parâmetros a serem alcançados pelas misturas asfálticas desde a fase de concepção até a aplicação e monitoramento delas em campo, visto o grau de importância que a aderência pneu-pavimento possui em relação à segurança viária.

**Palavras chaves:** Aderência pneu-pavimento. Textura. Índice internacional de atrito.



## **ABSTRACT**

The security level of a highway is influenced by several factors such as speed limit, condition of vehicle tires, geometric characteristics of the road and the skid resistance of pavement surface. This research aims to analyze the influence of macrotexture and microtexture in the skid resistance of asphalt mixtures applied on highways of Santa Catarina. For this analysis, asphalt mixtures were selected based on the function of mineral aggregate origin, granulometry and asphalt content. The purpose was to evaluate the factors influencing skid resistance on compacted asphalt mixtures, as well as to determine the International Index of Attrition (IFI) and analyze the qualitative classification of this parameter. Besides, the influence of traffic performance in this factor was evaluated during an one-year period. To conduct the present study, texture and friction coefficient of the asphalt mixtures were evaluated both in field and in laboratory, by using Sand Patch Test, British Pendulum Tester and Grip Tester. Moreover, the comparison of IFI values was obtained by different devices used to measure the coefficient of friction for the same segment. The present study found that granulometry was the variable that exerted most influence in the characterization of skid resistance. Regarding the compaction methods used in laboratory and in field, it was observed a difference in macrotexture indexes, which was more prominent in the laboratory results. In addition, the experimental analysis of traffic influence showed a decrease in the microtexture and macrotexture indexes. In this context, it is expected that the results of this study can guide the development of standards and technical specifications to establish parameters to be reached by asphalt mixtures. Considering the importance of skid resistance to road safety, these parameters should be adopted since the design phase until its implementation and monitoring stages.

**Keywords:** Skid resistance. Texture. International Index of friction.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do número total de acidentes registrados em SC em rodovias estaduais .....	31
Figura 2 – Parâmetros de tamanho, forma e densidade de rugosidades e asperezas. ....	38
Figura 3 – Classificação da textura superficial segundo PIARC.....	38
Figura 4 – Tipo de textura da superfície do pavimento e características de utilização .....	39
Figura 5 – Esquema das interações que ocorrem na interface pneu-pavimento .....	42
Figura 6 – Influência de três mecanismos na execução da frenagem em pavimento rígido (I e II) e flexível (III) .....	43
Figura 7 – Desempenho da macrotextura e microtextura do pavimento	44
Figura 8 – Mecanismo da viscoplanagem .....	47
Figura 9 – Curva de coeficiente de atrito versus polimento do agregado .....	72
Figura 10 – Variação dos parâmetros de superfície para agregados "A" e "B" em relação à rugosidade e macrotextura da superfície .....	74
Figura 11 – Comparação das curvas granulométricas do DNIT (ES 031/2006) e DEINFRA (ES-P-05/92) .....	76
Figura 12 – Gradações granulométricas utilizadas para as diferentes misturas de concreto asfáltico .....	77
Figura 13 – Cisalhamento do deslizamento na área de contato na condição de frenagem.....	80
Figura 14 – Elementos que influenciam a segurança do sistema viário	82
Figura 15 – Relação entre macrotextura e taxas de acidentes para rodovias rurais de alta velocidade .....	87
Figura 16 – Análise do número de acidentes em relação à macrotextura das rodovias na Carolina do Norte – EUA .....	88
Figura 17 – Tendências de evolução microtextura para trechos retos...	93

Figura 18 – Tendências de evolução macrotextura para trechos retos ..	94
Figura 19 – Correlação $F(S)$ medido e $F(S)$ estimado pelo modelo .....	97
Figura 20 – Correlação entre o SN medido e calculado .....	99
Figura 21 – Correlação entre os valores de IFI ( $F_{60}$ , $S_p$ ) de laboratório e campo – a) medição no sentido longitudinal e b) medição no sentido transversal. ....	101
Figura 22 – Curva granulométrica das misturas enquadradas na Faixa B – DNIT .....	104
Figura 23 – Curva granulométrica das misturas enquadradas na Faixa C – DNIT .....	104
Figura 24 – Ensaio de Mancha de Areia para avaliação da macrotextura .....	105
Figura 25 – Emprego do Pêndulo Britânico para avaliação da microtextura .....	106
Figura 26 – Emprego do Grip Tester para avaliação da microtextura.	107
Figura 27 – Etapa 1: Caracterização de Misturas Asfálticas em Laboratório .....	109
Figura 28 – Mesa compactadora para moldagem das placas em laboratório .....	110
Figura 29 – Etapa 2: Caracterização das Rodovias e Misturas Asfálticas Aplicadas em Campo .....	111
Figura 30 – Etapa 3: Avaliação da Aderência das Misturas Asfálticas compactadas em Laboratório e em Campo .....	114
Figura 31 – Etapa 4: Avaliação da Aderência após a Passagem do Tráfego das Misturas Asfálticas Aplicadas na Rodovia.....	115
Figura 32 – Etapa 5: Apresentação e Discussão dos Resultados.....	116
Figura 33 – Comparação entre os valores de $H_s$ x BPN x $F_{60}$ das misturas asfálticas compactadas em laboratório.....	121
Figura 34 – Comparação entre os valores de $H_s$ x BPN x $S_p$ x $F_{60}$ das misturas asfálticas agrupadas em faixas granulométricas .....	124
Figura 35 – Curvas granulométricas – Misturas asfálticas com variação no teor de finos – Faixa B DNIT .....	125

Figura 36 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x F60 das misturas asfálticas da Faixa B com variação do teor de finos .....	127
Figura 37 – Curva granulométrica da mistura asfáltica da Rodovia BR-101 –Laguna.....	129
Figura 38 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x F60 das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos .....	130
Figura 39 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x Abrasão Los Angeles em função da origem mineral dos agregados .....	133
Figura 40 – Curva granulométrica da mistura asfáltica da Rodovia BR-101 – Trecho de Araranguá.....	136
Figura 41 – Comparação dos valores de F60 obtidos com o Pêndulo Britânico e Grip Tester – BR-101 – Trecho de Araranguá (ano zero)	138
Figura 42 – Avaliação da macrotextura em função da granulometria aplicada .....	142
Figura 43 – Avaliação da resistência à derrapagem em função da granulometria aplicada .....	143
Figura 44 – Avaliação IFI (F60) em função da granulometria aplicada .....	143
Figura 45 – Comparação da aderência entre as misturas asfálticas aplicadas em campo .....	145
Figura 46 – Comparação dos valores de IFI do campo x laboratório..	147
Figura 47 – Comparação dos valores de Mancha de Areia .....	150
Figura 48 – Comparação dos valores de Pêndulo Britânico.....	151
Figura 49 – Avaliação da macrotextura e microtextura após um ano da abertura do tráfego .....	155
Figura 50 – Ensaio de Mancha de Areia das leituras finais da avaliação de macrotextura da rodovia SC-439 – Urubici.....	159
Figura 51 – Desempenho do Segmento 1 da rodovia SC-439 – Urubici .....	160
Figura 52 – Desempenho do Segmento 2 da rodovia SC-439 – Urubici .....	160

Figura 53 – Desempenho do Segmento 3 da rodovia SC-439 – Urubici .....	161
Figura 54 – Fase 1 – ensaios realizados em laboratório da mistura asfáltica da SC-415 – Itapoá.....	163
Figura 55 – Avaliação do IFI em função das fases de medições.....	165
Figura 56 – Comparação do desempenho quanto à aderência pneu-pavimento.....	167

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio para obtenção da macrotextura do pavimento .....	49
Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento.....	51
Tabela 3 – Aparelhos utilizados na medição de textura e atrito do experimento da PIARC .....	58
Tabela 4 – Coeficiente de correlação das regressões lineares dos equipamentos de medição de atrito .....	60
Tabela 5 – Coeficiente de correlação das regressões lineares dos equipamentos de medição de macrotextura.....	61
Tabela 6 – Repetibilidade das medidas realizadas no experimento internacional com os equipamentos de medição de atrito .....	61
Tabela 7 – Valores de a e b para o cálculo de $S_p$ .....	62
Tabela 8 – Valores de A, B e C para o cálculo de $F_{60}$ .....	63
Tabela 9 – Faixas limites dos valores do IFI ( $F_{60}$ ).....	64
Tabela 10 – Resultados das medições de textura utilizando o método da Mancha de Areia .....	70
Tabela 11 – Valores de BPN obtidos para as diferentes misturas .....	78
Tabela 12 – Taxa de acidentes para diferentes condições da rodovia (acidentes com ferimentos por milhão de veículos por quilômetro) .....	85
Tabela 13 – Taxa de acidentes para diferentes intervalos de atrito (acidentes com ferimentos por milhão de veículos por quilômetro) .....	85
Tabela 14 – Taxa de acidentes com o pavimento molhado e seco antes e depois da execução do tratamento superficial.....	86
Tabela 15 – Valores máximos admissíveis do coeficiente de atrito (f). 90	
Tabela 16 – Avaliação da macrotextura pelo método da Mancha de Areia.....	91
Tabela 17 – Classificação de resistência à derrapagem pelo método do Pêndulo Britânico.....	91
Tabela 18 – Valores de BPN antes e depois do desgaste da superfície. 95	
Tabela 19 – Caracterização das misturas asfálticas selecionadas.....	102

Tabela 20 – Correlação entre as misturas asfálticas e os tipos de equipamentos utilizados na Etapa 2 .....	113
Tabela 21 – Correlação entre as misturas asfálticas e os tipos de equipamentos utilizados na Etapa 4 .....	115
Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos das misturas asfálticas moldadas em laboratório .....	118
Tabela 23 – Resumo dos resultados obtidos das misturas asfálticas moldadas em laboratório .....	123
Tabela 24 – Composição granulométrica das misturas enquadradas na Faixa B do DNIT.....	126
Tabela 25 – Resumo dos resultados em laboratório das misturas asfálticas da Faixa B com variação do teor de finos .....	126
Tabela 26 – Granulometria das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos .....	128
Tabela 27 – Resumo dos resultados em laboratório das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos .....	130
Tabela 28 – Resumo dos resultados médios em função da origem mineral dos agregados.....	132
Tabela 29 – Resumo dos resultados médios em função do tipo e teor de ligante.....	134
Tabela 30 – Caracterização da superfície da mistura de Araranguá – Mancha de Areia e Pêndulo Britânico (ano zero) .....	137
Tabela 31 – Caracterização da superfície da mistura de Araranguá – Mancha de Areia e Grip Tester (ano zero).....	137
Tabela 32 – Característica das misturas asfálticas aplicadas no trecho BR-101 - Laguna.....	139
Tabela 33 – Resultados da Mistura Original (M0) de Laguna .....	140
Tabela 34 – Resultados da Mistura Modificada (M1) de Laguna .....	140
Tabela 35 – Resultados da Mistura Modificada (M2) de Laguna .....	141
Tabela 36 – Comparação entre os resultados obtidos em campo e em laboratório – BR-101 – Trecho: Araranguá.....	147

Tabela 37 – Comparação entre os resultados obtidos em campo e em laboratório – BR-101 – Trecho: Laguna .....	149
Tabela 38 – Parâmetros de coeficiente de atrito utilizando o Grip Tester .....	154
Tabela 39 – Comparação dos resultados obtidos após um ano de serviço - Araranguá (sentido Sul- Norte) – Mancha de Areia e Pêndulo Britânico .....	155
Tabela 40 – Resultados obtidos em laboratório - SC-439 - Trecho de Urubici.....	157
Tabela 41 – Resultados obtidos com o Grip Tester - SC-439 - Trecho de Urubici – Leituras Iniciais – Ano 2014 (N8,2t = 7,4x105) .....	157
Tabela 42 – Resultados obtidos com o Pêndulo Britânico - SC-439 - Trecho de Urubici - Leituras Finais – Ano 2015 (N8,2t = 1,0x106)...	159
Tabela 43 – Resultados Fase 1 – Medidas em Laboratório – Trecho de Itapoá.....	162
Tabela 44 – Resultados Fase 2 – Medidas em Campo – Grip Tester – Trecho de Itapoá (2014).....	163
Tabela 45 – Resultados Fase 3 – Medidas de Campo – Pêndulo Britânico – Trecho de Itapoá (2015) .....	164
Tabela 46 – Análise do volume de tráfego dos trechos de monitoramento .....	166
Tabela 47 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Itapoá - Garuva) – Grip Tester .....	208
Tabela A- 1– Resultados obtidos em laboratório – Mistura EME.....	184
Tabela A- 2 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura com teor de 7% de Lama Vermelha.....	184
Tabela A- 3 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura com teor de 5% de Lama Vermelha.....	184
Tabela A- 4 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-163 - Barracão .....	185
Tabela A- 5 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Araranguá.....	185

Tabela A- 6 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Araranguá – Placas extraídas em campo .....	186
Tabela A- 7 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Norte-Sul) – Pêndulo Britânico .....	187
Tabela A- 8 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Sul-Norte) – Pêndulo Britânico .....	188
Tabela A- 9 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Norte-Sul) – Grip Tester .....	189
Tabela A- 10 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Sul-Norte) – Grip Tester .....	190
Tabela A- 11 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura BR-101 – Araranguá – Pêndulo Britânico.....	191
Tabela A- 12 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Laguna.....	192
Tabela A- 13 – Resultados obtidos em campo – Mistura Original (M0) BR-101 –Laguna .....	193
Tabela A- 14 – Resultados obtidos em campo – Mistura Modificada (M1) BR-101 – Laguna.....	194
Tabela A- 15 – Resultados obtidos em campo – Mistura Modificada (M2) BR-101 – Laguna.....	195
Tabela A- 16 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 1 e Segmento 2) .....	196
Tabela A- 17 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3).....	196
Tabela A- 18 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici - Morro da Igreja – Segmento 1 – 450-460) – Grip Tester .....	197
Tabela A- 19 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja - Urubici – Segmento 1 – 450-460) – Grip Tester .....	198
Tabela A- 20 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici - Morro da Igreja – Segmento 2 – 125-140) – Grip Tester .....	199

Tabela A- 21 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 2 – 125-140) – Grip Tester .....	200
Tabela A- 22 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3 – 65-80) – Grip Tester .....	201
Tabela A- 23 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 3 – 65-80) – Grip Tester .....	202
Tabela A- 24 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 1 – 450-460) – Pêndulo Britânico.....	203
Tabela A- 25 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 1 – 450-460) – Pêndulo Britânico.....	203
Tabela A- 26 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 2 – 125-140) – Pêndulo Britânico.....	204
Tabela A- 27 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 2 – 125-140) – Pêndulo Britânico.....	204
Tabela A- 28 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3 – 65-80) – Pêndulo Britânico.....	205
Tabela A- 29 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 3 – 65-80) – Pêndulo Britânico.....	205
Tabela A- 30 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá).....	206
Tabela A- 31 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá) – Grip Tester .....	207
Tabela A- 32 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá) – Pêndulo Britânico.....	209
Tabela A- 33 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Itapoá - Garuva) – Pêndulo Britânico.....	209

Tabela A- 34 – Resultados obtidos em laboratório – Projeto 1 – Variação do teor de finos 24,3% – Faixa B do DNIT .....	209
Tabela A- 35– Resultados obtidos em laboratório – Projeto 2 – Variação do teor de finos 32,5% – Faixa B do DNIT .....	210
Tabela A- 36– Resultados obtidos em laboratório – Projeto 3 – Variação do teor de finos 28,4% – Faixa B do DNIT .....	210
Tabela A- 37 – Resultados obtidos em laboratório – Projeto 4 – Variação do teor de finos 38,8% – Faixa B do DNIT .....	210

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIPCR	<i>Association International Permanent des Congrès de la Route</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials International</i>
BBTM	Concreto Betuminoso Muito Delgado
BPMRv	Batalhão de Polícia Militar Rodoviária - SC
BPN	<i>British Pendulum Tester Number</i>
BPT	Pêndulo Britânico
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CGPERT	Coordenação Geral de Operações Rodoviárias
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina
DFT	Teste de atrito dinâmico
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
FWHA	<i>Federal Highway Administration</i>
IA	Instituto do Asfalto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	Organização Internacional da Aviação Civil
IFI	Índice Internacional de Atrito
MPD	Profundidade média do perfil ( <i>Mean Profile Depth</i> )
MTD	Profundidade média de textura
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research Program</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congress</i>
RMS	Raiz média quadrática do perfil
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
SPTD	Unidade de profundidade da Mancha de Areia
TBR	<i>Transportation Research Board</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
SIG	Sistema de Informação Geográfica



## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Constante para calibração
$b$	Constante para calibração
$D_m$	Diâmetro médio da Mancha de Areia (mm);
$f$	Coefficiente de atrito;
$F_0$	Valor do atrito a uma velocidade de deslizamento zero
$f_c$	Força de atrito cinético
$F_c$	Força centrífuga (N);
$Fh$	Força Horizontal
$F_N$	Força normal.
$FR(S)$	Atrito medido com um determinado equipamento em uma velocidade de deslizamento S;
$FR_{60}$	Valor ajustado de atrito obtido entre uma velocidade de deslizamento de S a 60 km/h;
$F_t$	Força centrífuga tangencial à pista (N);
$F_v$	Força Vertical
$g$	Aceleração normal da gravidade (9,8m/s <sup>2</sup> );
$GN$	<i>Grip Number</i> (Coeficiente de Atrito);
$Hm$	Altura média da Mancha de Areia (mm);
$m$	Massa do veículo (kg);
$P$	Peso do veículo (N);
$R$	Raio da curva circular (m).
$S$	Velocidade de deslizamento do equipamento;
$S0$	Velocidade do veículo em função do tipo de pneu;
$T_x$	Medida de textura
$V$	Velocidade tangencial do veículo (m/s);
$x$	Macrotextura em unidades de SPTD.
$\alpha$	Ângulo da superelevação da pista.
$\mu$	Coefficiente de atrito;
$\mu_a$	Coefficiente e atrito por adesão;
$\mu_c$	Coefficiente de atrito cinético
$\mu_h$	Coefficiente de atrito por histerese



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	33
1.2 OBJETIVO .....	34
1.2.1 Objetivo Geral .....	34
1.2.2 Objetivos Específicos .....	34
1.3 MÉTODO DO TRABALHO.....	35
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	36
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>
2.1 CONCEITO E DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO .....	37
2.1.1 Textura Superficial .....	37
2.1.2 Força de Atrito .....	40
2.1.3 Aderência Pneu-pavimento .....	43
2.1.4 Presença de água no contato pneu-pavimento .....	45
2.2 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE TEXTURA .....	48
2.2.1 Medição de macrotextura .....	48
2.2.2 Medição de microtextura .....	50
2.3 METODOLOGIAS PARA OBTENÇÃO DO IFI .....	56
2.3.1 Índice Internacional de Atrito (IFI) .....	56
2.3.2 Metodologia da PIARC .....	56
2.3.3 Modelo Pensilvânia .....	64
2.3.4 Modelo ASTM .....	65
2.4 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO .....	68
2.4.1 Tipo de agregado .....	68
2.4.2 Curva granulométrica .....	75
2.4.3 Influência da temperatura na macrotextura do pavimento ....	78
2.4.4 Influência do pneu no fenômeno da aderência .....	79
2.4.5 Teor de ligante .....	81
2.5 INFLUÊNCIA DA TEXTURA DO PAVIMENTO NA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES .....	82

2.5.1	Fatores contribuintes para ocorrência de acidentes rodoviários	82
2.5.2	Acidentes Rodoviários .....	83
2.6	COEFICIENTE DE ATRITO EM PROJETOS VIÁRIOS .....	89
2.6.1	Parâmetros Aderência Pneu-Pavimento - DNIT .....	90
2.7	VARIAÇÃO DA ADERÊNCIA AO LONGO DO TEMPO ..	91
2.8	MODELO DE DESEMPENHO DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO .....	95
2.8.1	Previsão do IFI a partir de medidas de microtextura e macrotextura .....	96
2.8.2	Previsão do IFI em função do coeficiente de atrito dos agregados e da curva granulométrica .....	97
2.8.3	Previsão do IFI em função do nível de tráfego, textura e tamanho do agregado .....	98
2.8.4	Previsão da microtextura e macrotextura a partir de medidas de BPN e HS .....	99
2.8.5	Previsão de macrotextura e microtextura em campo a partir de ensaios em laboratório .....	100
2.8.6	Previsão do IFI a partir de ensaios laboratoriais utilizando o método de compactação de placas .....	100
<b>3</b>	<b>MÉTODO DA PESQUISA .....</b>	<b>102</b>
3.1	ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO .....	108
3.2	ETAPA 2 - CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS EM CAMPO .....	110
3.3	ETAPA 3 - AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS .....	114
3.4	ETAPA 4 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DO TRÁFEGO NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO .....	114
3.5	ETAPA 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	116
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ....</b>	<b>117</b>
4.1	ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO .....	117
4.1.1	Influência da granulometria na aderência pneu-pavimento ..	122

4.1.2	Influência da variação de finos na aderência pneu-pavimento .	124
4.1.3	Influência da origem mineral dos agregados na aderência pneu-pavimento .....	131
4.1.4	Influência do tipo e teor de ligante na aderência pneu-pavimento .....	133
4.2	<b>ETAPA 2 – CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS EM CAMPO</b> .....	135
4.2.1	BR-101 – Trecho: Araranguá – Resultados de campo .....	135
4.2.2	BR-101 – Trecho: Laguna – Resultados de Campo .....	139
4.2.3	Análise comparativa entre as misturas aplicadas em campo	144
4.3	<b>ETAPA 3 - AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EM LABORATÓRIO E APLICADAS EM CAMPO</b> .....	146
4.3.1	BR-101 – Trecho: Araranguá – Comparação: campo x laboratório .....	146
4.3.2	BR-101 – Trecho: Laguna – Comparação: campo x laboratório .....	149
4.3.3	Análise comparativa entre a diferença dos resultados obtidos em laboratório e em campo das misturas asfálticas da Etapa 3 .....	152
4.4	<b>AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DO TRÁFEGO NA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS NA RODOVIA</b> .....	153
4.4.1	BR-101 – Trecho: Araranguá – Atuação do tráfego .....	154
4.4.2	SC-439 – Trecho: Urubici – Atuação do tráfego .....	156
4.4.3	SC-415 – Trecho: Itapoá – Atuação do tráfego .....	161
4.4.4	Análise comparativa entre os resultados obtidos do desempenho das misturas asfálticas da Etapa 4 .....	166
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>169</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS BRUTOS COLETADOS</b> .....	<b>183</b>



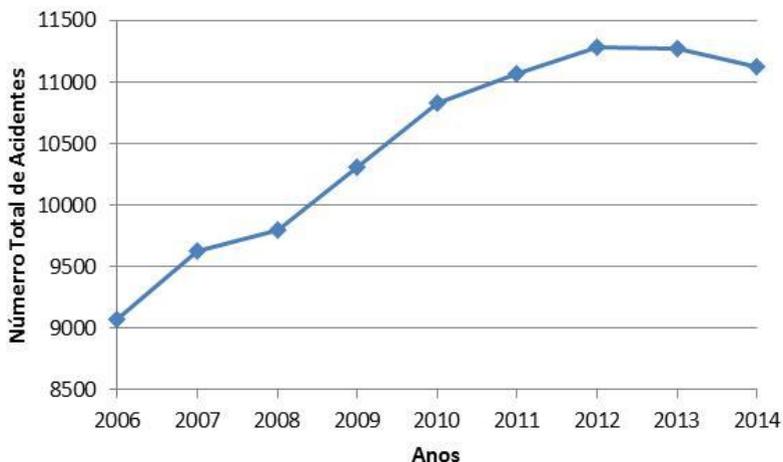
## 1 - INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e consequente desenvolvimento dos sistemas de transporte, com destaque para o modal rodoviário, tem provocado um acréscimo descontrolado dos acidentes de trânsito, ganhando contornos de uma pandemia (NEA, 2011).

Ainda que se verifique uma redução nos índices que avaliam a acidentes de trânsito em rodovias federais, no ano de 2014 foram registrados 168.593 acidentes, que deixaram 100.396 pessoas feridas e levaram a 8.227 óbitos (PRF, 2015).

Em Santa Catarina (SC) nota-se um aumento significativo no número total de acidentes registrados no estado entre o período de 2006 até 2012 (Figura 1) (BPMRV, 2014). Registros apontam que entre os anos de 2008 e 2010, os custos desses acidentes resultaram em expressivos valores monetários que chegam a aproximadamente R\$1 bilhão de reais por ano (ABPAT, 2013).

Figura 1 – Evolução do número total de acidentes registrados em SC em rodovias estaduais



Fonte: Adaptado de BPMRV (2014)

No Brasil, o número de mortos e feridos graves ultrapassa 150 mil pessoas por ano, e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) estima que os custos totais dos acidentes sejam de R\$ 28 bilhões ao ano. A taxa de mortalidade mantém-se estável (em torno de 20

mortes por 100 mil habitantes), porém muito superior às taxas de outros países como Japão, Suécia e Canadá (5 a 8 mortes/100 mil habitantes) (GIANCARLO; BARROS, 2011).

Levando em consideração que cerca de 20% dos casos estão associados com problemas relacionados à engenharia da rodovia, existe um significativo espaço de atuação dos engenheiros rodoviários no sentido de minimizar estes acidentes (GIANCARLO; BARROS, 2011).

Com o objetivo de desenvolver ações para combater este problema mundial, a Assembleia Geral das Nações Unidas, através de Resolução A/64/L44 publicada no dia 02 de março de 2010, proclamou o período de 2011 a 2020 como a “Década de Ações para a Segurança Viária”. A resolução recomenda aos países membros a elaboração de um plano diretor para guiar as ações nessa área, tendo como meta estabilizar e reduzir os acidentes de trânsito em todo o mundo. Esta resolução foi elaborada com base em estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) que estimou, em 2015, cerca de 1,2 milhões de mortes por acidente de trânsito em 178 países. De acordo com os estudos da OMS (WHO, 2015), o Brasil aparece em 5º lugar entre os países recordistas em acidentes de trânsito, precedido apenas pela Índia, China, Estados Unidos e Rússia.

No que diz respeito à segurança viária, tem se observado que a aderência pneu-pavimento é uma das características mais importantes do pavimento (LOPES e FORTES, 2008), e um dos parâmetros que pode ser utilizado para quantificar a aderência pneu-pavimento é o Índice Internacional de Atrito (*IFI*) (APS, 2006).

O nível de segurança de uma rodovia é influenciado por diversos fatores como: limite de velocidade, condições dos pneus dos veículos, características geométricas da via e textura da superfície de rolamento, sendo que esse último fator é o que exerce maior influência na aderência pneu-pavimento principalmente em zonas de frenagens, curvas horizontais e quando o pavimento encontra-se molhado (APS, 2006).

Diante deste cenário e atendendo à recomendação da Organização das Nações Unidas (ONU), o Ministério das Cidades juntamente com o Ministério da Saúde lançaram em maio de 2011 o programa “Pacto Nacional pela Redução de Acidentes no Trânsito - Um Pacto pela Vida”. Este programa tem como objetivo buscar o engajamento dos poderes executivo, legislativo e judiciário e da sociedade civil na redução dos acidentes e violência no trânsito.

Um dos principais objetivos do Pacto Nacional é a construção do Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária, que deve ser estabelecido no período de 2011 a 2020. Esse plano é composto por

um conjunto de medidas que visam contribuir para a redução das taxas de mortalidade e lesões por acidentes de trânsito no país. As ações a serem estabelecidas visam à segurança do motorista, do pedestre, do motociclista, ciclista, do transporte de pessoas e de cargas, e estão fundamentadas em cinco pilares (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010):

- Fiscalização;
- Educação;
- Saúde;
- Infraestrutura; e
- Segurança veicular.

Dentre as estabelecidas neste Plano Nacional está prevista a Ação 7, que visa criar Programa de Manutenção Permanente e Adequação de Vias. O objetivo desta ação é minimizar as causas de acidentes advindas da via e dentre as estratégias, a principal é a manutenção do pavimento.

Um fator importante destas ações a serem implementadas no Plano é deixar claro que a aderência pneu/pavimento é uma propriedade da mistura asfáltica que vai se deteriorando com a atuação do tráfego e que, portanto, deve ser periodicamente avaliada, recuperada e melhorada (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

## 1.1 - JUSTIFICATIVA

Atualmente, a malha rodoviária brasileira apresenta problemas associados à conservação das vias pavimentadas existentes (APS, 2006; RODRIGUES, 2013). Levando em consideração a importância do transporte rodoviário na movimentação de bens e pessoas no Brasil, são necessários investimentos contínuos visando à manutenção, recuperação e ampliação da malha rodoviária pavimentada brasileira, principalmente nos trechos mais críticos (CNT, 2014).

Nos últimos 50 anos, a aderência pneu-pavimento tem sido um dos indicadores utilizado na gerência das malhas rodoviárias pelos departamentos de estradas (CAIRNEY, 2006).

Nesse contexto, esta pesquisa reforça a necessidade de analisar diferentes tipos de misturas asfálticas em relação à sua macrotextura e microtextura. Tais análises permitem indicar o comportamento funcional da mistura asfáltica, buscando otimizar a interação entre o pneu e o pavimento, obtida através de uma boa textura e drenagem da

superfície. Deste modo, o presente trabalho espera contribuir para o aumento da segurança viária, possibilitando dessa maneira a redução dos acidentes de trânsito causados por problemas de engenharia na rodovia.

## 1.2 - OBJETIVO

### 1.2.1 - Objetivo Geral

Avaliar os fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento em misturas asfálticas compactadas em laboratório e em campo, bem como a análise do efeito da atuação do tráfego na influência desse fator durante o período de avaliação.

### 1.2.2 - Objetivos Específicos

- Avaliar e classificar a aderência pneu-pavimento em termos de microtextura, macrotextura e pelo *IFI* das misturas asfálticas compactadas em laboratório, respectivamente pelo ensaio de Mancha de Areia e pelo Pêndulo Britânico;
- Avaliar e classificar a aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas aplicadas nas rodovias selecionadas em termos de microtextura, macrotextura e pelo *IFI*;
- Avaliar e comparar a determinação do *IFI* utilizando o ensaio de Mancha de Areia para as leituras de macrotextura e variando os equipamentos de medição de microtextura entre o *Grip Tester* e Pêndulo Britânico;
- Verificar a relação das variáveis que influenciam aderência pneu-pavimento em função da granulometria, origem mineral dos agregados e do tipo e teor de ligante;
- Verificar e comparar os parâmetros relacionados à caracterização da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas pelos diferentes métodos de compactação utilizados em laboratório e em campo;
- Verificar a relação das variáveis que influenciam aderência pneu-pavimento em função do efeito do tráfego de veículos;
- Verificar o efeito da atuação do tráfego durante um período de tempo em relação às características de aderência pneu-pavimentos das diferentes misturas asfálticas dos trechos de monitoramento.

### 1.3 - MÉTODO DO TRABALHO

Primeiramente para buscar o conhecimento sobre a aderência pneu-pavimento, foi realizada uma revisão bibliográfica com base em dados da literatura internacional e brasileira. A partir desse entendimento, foi possível apontar alguns aspectos mais relevantes sobre essa temática, os quais serviram de base para definição das etapas de trabalho.

Para alcançar os objetivos estabelecidos na proposta deste estudo, foi realizado um planejamento experimental para execução das medidas de macrotextura por meio do ensaio de Mancha de Areia e de microtextura pelo Pêndulo Britânico e pelo *Grip Tester*, das misturas asfálticas estudadas e analisadas nas cinco etapas de trabalho. A coleta de dados foi realizada entre março de 2014 e outubro de 2015, período correspondente à parte experimental deste trabalho.

Na Etapa 1 são analisadas e avaliadas as variáveis que influenciam as características relacionadas à aderência pneu-pavimento em misturas asfálticas moldadas em laboratório pelo método da mesa compactadora. A seleção dessas misturas considerou a granulometria, a origem mineral dos agregados e o tipo e teor de ligante utilizado.

A avaliação da aderência pneu-pavimento na Etapa 2 teve enfoque nas misturas asfálticas aplicadas em campo utilizando o método de compactação convencional, ou seja, por meio do rolo de pneu e pelo rolo de chapa liso. Para isso, foram selecionadas rodovias federais e estaduais de Santa Catarina. Ainda nesta etapa foram comparados os valores de *IFI* avaliado pelo Pêndulo Britânico e pelo *Grip Tester*, mantendo-se o ensaio de Mancha de Areia para análise da textura.

Com o intuito de estabelecer uma comparação da aderência pneu-pavimento entre as misturas asfálticas compactadas em laboratório e em campo, foram estabelecidos procedimentos de análise na Etapa 3, Então foram produzidas placas moldadas em laboratório com a mesma mistura aplicada em campo, inclusive utilizando os materiais da mesma jazida e ligante.

Na Etapa 4, foram selecionados alguns trechos rodoviários para avaliação do efeito da atuação do tráfego, durante o intervalo de tempo correspondente à parte experimental deste trabalho, sobre os parâmetros de aderência pneu-pavimento.

Por último na Etapa 5, foram apresentadas as análises e discussões dos resultados de macrotextura, microtextura, valores de *IFI* e dos fatores que influenciaram a aderência pneu-pavimento de acordo com as etapas de trabalho.

## 1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, descritos detalhadamente abaixo:

**Capítulo 1:** Trata da introdução, onde descreve a importância da pesquisa, os objetivos, metodologia utilizada para o estudo da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas selecionadas neste trabalho, e a estrutura do trabalho.

**Capítulo 2:** Apresenta uma revisão bibliográfica abordando a segurança viária, conceito e determinação do *IFI*, fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento e a utilização do coeficiente de atrito em normas de projeto geométrico.

**Capítulo 3:** Este capítulo define e descreve a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos pelo trabalho, estruturando o programa experimental desenvolvido.

**Capítulo 4:** Descreve e apresenta os resultados de acordo com as etapas de trabalho definidas na metodologia. Bem como, algumas considerações com ênfase nos objetivos da pesquisa.

**Capítulo 5:** Aborda as conclusões finais e as perspectivas para trabalhos futuros.

Ao término dos capítulos encontram-se as referências, seguida do apêndice que apresenta os dados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa referentes aos parâmetros de aderência pneu-pavimento.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - CONCEITO E DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

A aderência pneu-pavimento é uma das características da superfície dos pavimentos que tem forte influência na segurança viária (APS, 2006; MIAO, 2010; GEORGIU e LOIZOS, 2014). Quando existe uma boa condição de aderência, tem-se uma redução da distância de frenagem, principalmente em pavimentos molhados, mantendo o veículo na trajetória desejada (WALLMAN e ASTROM, 2001). Para melhor compreensão dessa interação pneu-pavimento, será apresentada a revisão de alguns fatores e conceitos.

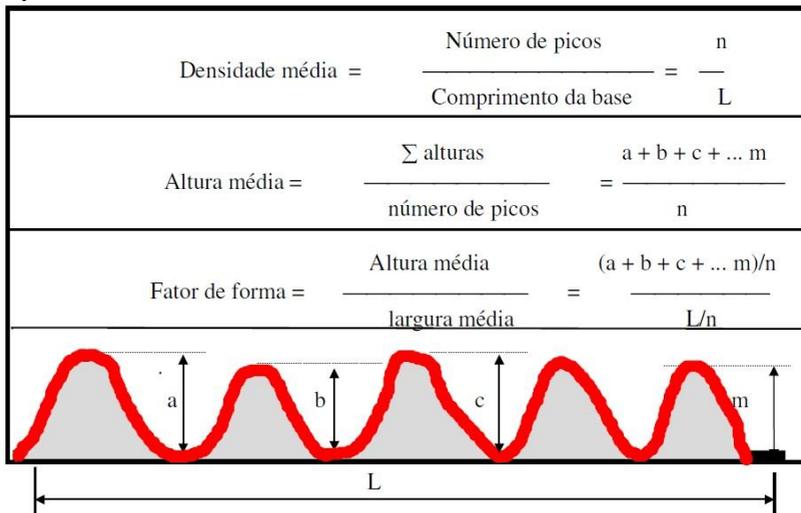
#### 2.1.1 - Textura Superficial

A textura superficial é uma característica geométrica da superfície do pavimento proveniente da união entre os agregados e o ligante. A combinação entre esses dois fatores permite alcançar um nível de segurança viária em relação a sua aderência pneu-pavimento, quer no momento de frenagem ou no controle do veículo na execução de curvas ou outras manobras (ELÉSPURU, 2004).

Com o intuito de se obter um maior entendimento dessa grandeza foi necessário encontrar limites de dimensões que estabelecessem fronteiras de predominância para determinados fenômenos. A Figura 2 apresenta um plano de referência paralelo à superfície do pavimento, em que é possível distinguir três grandezas (MOMM, 1998):

- tamanho – altura média medida entre o pico e a depressão contígua no perfil, denominada também como amplitude de onda;
- densidade – razão entre o número de picos levantados e o comprimento do perfil estudado;
- forma – razão entre a altura média e a largura média dos picos (tamanho x densidade).

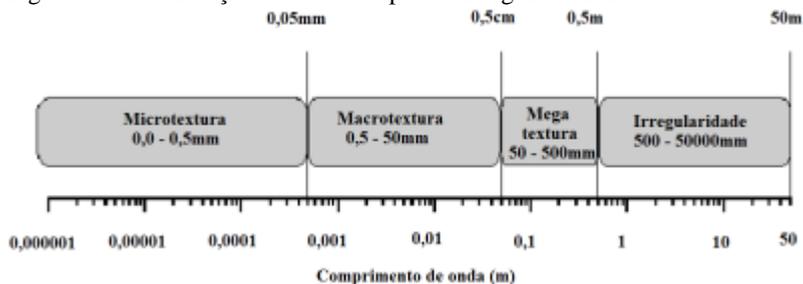
Figura 2 – Parâmetros de tamanho, forma e densidade de rugosidades e asperezas.



Fonte: MOMM (1998)

O principal objetivo do entendimento dessas grandezas é estabelecer os domínios de dimensões da superfície dos pavimentos para a classificação de suas texturas (Figura 3) (WAMBOLD, 1995; MOMM, 1998; ELÉSPURU, 2004):

Figura 3 – Classificação da textura superficial segundo PIARC.

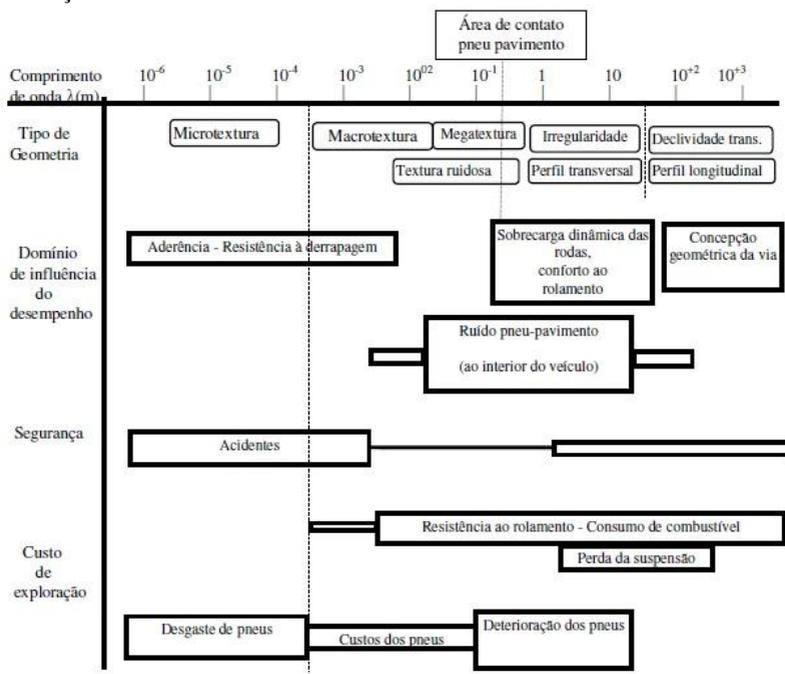


Fonte: Adaptado de Wambold (1995).

De acordo com a PIARC (WAMBOLD, 1995) a textura superficial pode ser classificada em quatro categorias em função do seu comprimento de onda: irregularidade; megatextura; macrotextura e microtextura (WAMBOLD, 1995). A Figura 4 apresenta os diferentes

domínios que a textura da superfície do pavimento atua em função do tamanho de seu comprimento de onda (LUCAS et BEGOU, 1993).

Figura 4 – Tipo de textura da superfície do pavimento e características de utilização



Fonte: Adaptado de Lucas & Pegou (1993).

## Irregularidade

A irregularidade é caracterizada por um comprimento de onda com elevados desvios, normalmente superior a 0,50m (WAMBOLD, 1995; DO e ROE, 2008). Esse tipo de textura, geralmente causa desconforto ao usuário da rodovia ao trafegar sobre um pavimento com uma superfície caracterizada com desvios dessa magnitude.

## Megatextura

A megatextura de um pavimento é caracterizada por uma variação de comprimento de onda compreendida entre 50 e 500 mm e amplitude de onda variando numa faixa entre 0,1 e 50 mm

(WAMBOLD, 1995). Esse tipo de textura tem um comprimento de onda da mesma ordem que os sulcos do pneu, sendo observado pelo usuário da rodovia muitas vezes por meio de solavancos do veículo ou ondulações da pista.

### **Macrotextura**

A macrotextura de um pavimento abrange os desvios da superfície com comprimento de onda entre 0,5 e 50 mm e amplitude de onda normalmente variando entre 0,2 e 10 mm. A abrangência do comprimento de onda desse tipo de textura é da mesma ordem que os elementos que compõem o pneu na zona de contato pneu-pavimento (WAMBOLD, 1995).

Quanto maior o valor da profundidade da macrotextura, melhor será a capacidade de drenagem de água na área de contato pneu-pavimento (ELÉSPURU, 2004).

Geralmente utilizam-se os métodos de perfilômetro a laser para medir o comprimento de onda da macrotextura, como também por meio volumétrico utilizando, por exemplo, o ensaio de mancha de areia.

### **Microtextura**

A faixa de abrangência da microtextura de um pavimento é caracterizada por comprimentos de onda inferiores a 0,5 mm e amplitude de onda geralmente entre 0,001 e 0,5 mm (WAMBOLD, 1995; DO e ROE, 2008). Essa classificação de textura é tão pequena que não pode ser visualmente observada, mas é esse comprimento de onda que influencia na aspereza do pavimento. Portanto, sendo associada diretamente com o coeficiente de atrito. Todavia, quanto maior for o valor da microtextura, maior será o desgaste dos pneus.

A microtextura está fortemente ligada à apresentação da superfície do agregado utilizado na mistura, sendo medida indiretamente pelo coeficiente de atrito (ELÉSPURU, 2004).

#### **2.1.2 - Força de Atrito**

Força de atrito é o vetor resultante de muitas forças atuando entre os átomos da superfície de um corpo e os átomos da superfície de outro corpo. Quando duas superfícies comuns são colocadas em contato, somente os pontos mais altos se tocam. A área microscópica em contato

é bem menor do que a área de contato macroscópica aparente, num fator de aproximadamente  $10^4$ . Entretanto, muitos pontos de contato se soldam e estas soldas produzem o atrito estático quando uma força aplicada tenta deslizar uma superfície em relação à outra. Se a força aplicada for suficiente para fazer deslizar uma superfície sobre a outra, primeiramente ocorre uma quebra das soldas seguida por um processo contínuo de formação e ruptura de novas soldas à medida que o movimento ocorre e novos contatos são formados aleatoriamente (HALLIDAY *et al.*, 2006).

A força de atrito possui três propriedades. Uma delas diz que se o corpo inicia o deslizamento ao longo da superfície, o módulo da força de atrito diminui rapidamente em função do coeficiente de atrito cinético (ou de cisalhamento), conforme Equação 1.

$$\mu_c = \frac{f_c}{F_N} \quad (1)$$

Onde:

$\mu_c$  = coeficiente de atrito cinético (adimensional);

$f_c$  = força de atrito cinético (N);

$F_N$  = força normal (N).

Na interação entre o pneu e o pavimento, o atrito ocorre devido à soma de duas parcelas resultantes dos fenômenos de adesão e histerese (Figura 5) (PASQUET e BERTHIER, 1966, apud MATTOS, 2009), definidos a seguir:

- Coeficiente de atrito por adesão: essa parcela de atrito é proveniente das forças intermoleculares das superfícies (Van der Waals), logo, depende da natureza dos materiais envolvidos;
- Coeficiente de atrito por histerese: essa parcela de atrito é resultante da deformação cíclica na superfície emborrachada do pneu, que ocorre devido à aspereza da superfície do pavimento.

A Figura 5 apresenta as três componentes que resultam no coeficiente de atrito total envolvido na interação entre o pneu e o pavimento, traduzida pela Equação 2.

$$\mu = \mu_a + \mu_h + \mu_c \quad (2)$$

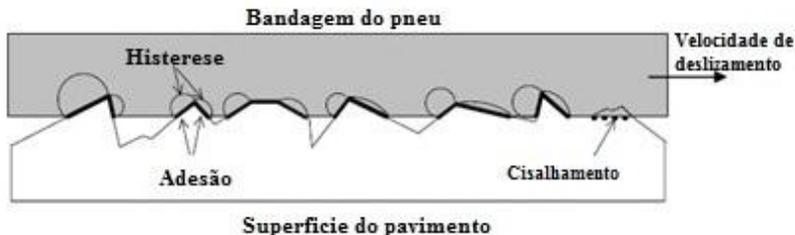
Onde:

$\mu$  = coeficiente de atrito (adimensional);

$\mu_a$  = coeficiente de atrito por adesão (adimensional);

$\mu_h$  = coeficiente de atrito por histerese (adimensional);  
 $\mu_c$  = coeficiente de atrito por cisalhamento (adimensional).

Figura 5 – Esquema das interações que ocorrem na interface pneu-pavimento

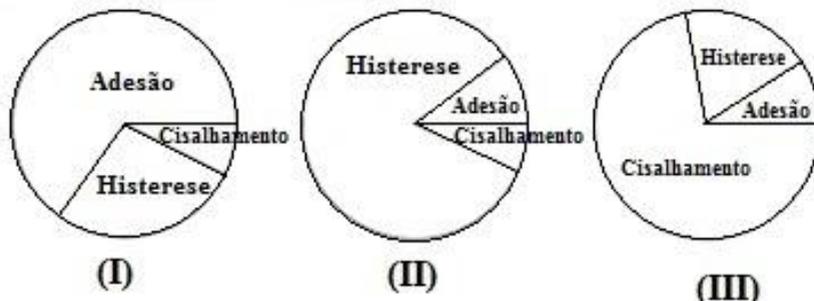


Fonte: Adaptado de NCHRP (2009)

A textura da superfície influencia três diferentes mecanismos: adesão, histerese e cisalhamento. A força de adesão é proporcional à área real de aderência entre pneu e asperezas superficiais. Enquanto isso, a força de histerese é gerada dentro da deflexão e do comportamento visco-elástico do pneu além de estar em função da velocidade. Finalmente, a força de cisalhamento é proporcional à área de cisalhamento da bandagem do pneu. Geralmente, a adesão e a histerese estão relacionadas à microtextura e à macrotextura, respectivamente. Para pavimentos molhados, a adesão diminui com o aumento da velocidade enquanto a histerese aumenta, sendo que acima de 90km/h, a macrotextura influencia mais de 90% em relação ao atrito (NCHRP, 2009).

A força de cisalhamento do pavimento rígido é bem menor quando comparado ao flexível. Isso se deve ao desgaste excessivo dos pneus, auxiliando no processo do atrito na frenagem no caso dos pavimentos flexíveis. A Figura 6 apresenta a composição típica dos mecanismos de frenagem do atrito de deslizamento para duas superfícies diferentes interagindo com o mesmo pneu (NCHRP, 2009).

Figura 6 – Influência de três mecanismos na execução da frenagem em pavimento rígido (I e II) e flexível (III)



Fonte: Adaptado de NCHRP (2009)

Primeiramente, por meio da Figura 6, observa-se a representação de um concreto rígido, com o pavimento seco, seguido de um pavimento rígido com a superfície molhada, e por último, tem-se a representação de um pavimento flexível com a superfície seca.

A partir dos casos I e II, apresentados na Figura 6, é possível verificar a dinâmica entre os mecanismos para manter a aderência pneu-pavimento. Nota-se, nitidamente a inversão das parcelas de contribuição da adesão e histerese para as diferentes situações da pista (seco e molhado) e que nos casos I e III, os mecanismos de adesão e cisalhamento atuam diferentemente devido à diferença do material que compõe o pavimento para uma mesma condição de pista seca.

A resistência à derrapagem deve ser garantida segundo as condições operacionais da via, normalmente em duas situações: na frenagem e na manutenção da trajetória dos veículos em curvas. Ambos os casos se resumem à existência de uma textura apropriada para a superfície do pavimento nas condições operacionais, independentemente de ocorrerem longitudinalmente (no caso da frenagem) ou transversalmente (no caso das curvas horizontais) ao sentido de deslocamento do veículo (MOMM, 1998; DYNATEST, 2013).

### 2.1.3 - Aderência Pneu-pavimento

A aderência ocorre no contato entre a superfície do pavimento e a do pneu, o que impede a roda de deslizar e otimiza a sua impulsão (MIAO, 2010).

O mecanismo de aderência pode ser atribuído a três principais causas: ao atrito, à aderência e à histerese. Esse fenômeno de aderência

entra em vigor em menores escalas de textura (microtextura), e isso ocorre devido ao aumento das forças de interação molecular entre o pneu e a superfície do pavimento (VAIANA *et al.*, 2012).

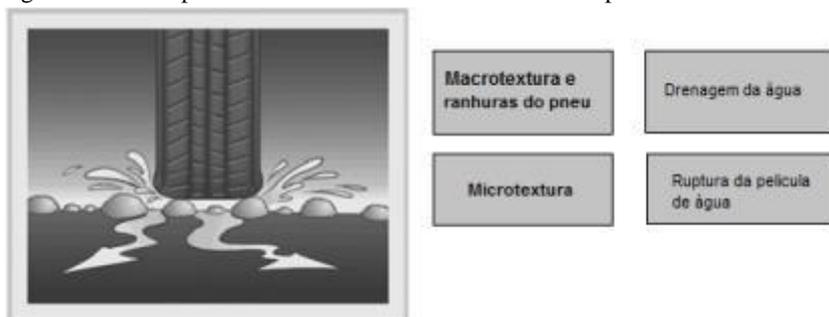
O atrito presente no contato pneu-pavimento pode ser considerado insuficiente ou suficiente em função da segurança que ele garante, dependendo da inclinação das rampas, das curvas e interseções presentes na via, além da velocidade diretriz preconizada (CAIRNEY, 2006; DYNATEST, 2013).

O atrito é dominante até que ocorra o deslizamento crítico entre as superfícies (pneu-pavimento). Após o veículo atingir altas velocidades, surge o mecanismo de histerese, em que o pneu se deforma repetidas vezes envolvendo as asperezas da superfície. Portanto, a macrotextura determina a deformação de histerese da borracha e, conseqüentemente, surgem forças horizontais que se opõem ao deslizamento das rodas (VAIANA *et al.*, 2012).

A aderência pode ser avaliada por meio das medidas de textura e de atrito que uma mistura asfáltica pode proporcionar ao usuário da rodovia. Geralmente é mais solicitada em dias de chuva e depende basicamente de duas propriedades da mistura asfáltica (Figura 7) (AUSSEDAT, 2002):

- Macrotextura: capacidade que um revestimento tem de escoar a água que precipita na superfície pelos vazios constituídos entre os grãos;
- Microtextura: envolve a capacidade que a mistura tem em quebrar a película residual de água e oferecer assim um maior contato a “seco” entre as superfícies do pneu e do pavimento.

Figura 7 – Desempenho da macrotextura e microtextura do pavimento



Fonte: Adaptado de Aussedat. (2002)

### 2.1.4 - Presença de água no contato pneu-pavimento

Dentre os mais diversos fenômenos que ocorrem na interação entre o pneu e o pavimento, a hidroplanagem e a viscoplanagem estão relacionadas com a presença de água na superfície do pavimento (MATTOS, 2009).

A resistência à derrapagem sofre grande influência da textura superficial do pavimento, principalmente em condições mais críticas, como, por exemplo, quando a superfície está molhada (presença de água, gelo, óleo). Dependendo da espessura da película de água é possível distinguir fenômenos diferentes (VAIANA *et al.*, 2012):

- hidroplanagem ou aquaplanagem (espessura de película superior a 0,5 mm) depende da velocidade;
- viscoplanagem (espessura entre 0,5 mm e 0,10 mm).

As manobras do veículo, como a frenagem e o desenvolvimento nas curvas, requerem que a aderência pneu-pavimento seja suficiente para manter a estabilidade do veículo por meio das características oferecidas pela superfície de rolamento (GUNARATNE *et al.*, 2000; MIAO, 2010). Entretanto, caso o pavimento tenha um alto valor de macrotextura, pode ocorrer um desgaste excessivo do pneu. Por isso, na execução de uma pista de rolamento, é essencial balancear o nível de aderência pneu-pavimento e o potencial desgaste dos pneus (GUNARATNE, 2000).

Durante o deslocamento o veículo mantém contato contínuo com a superfície do pavimento por meio dos pneus (MOMM, 1998). Essa interação deve garantir que o usuário tenha segurança para acelerar, frear e realizar a trajetória em curva, especialmente em condições desfavoráveis, como no caso de pavimentos úmidos ou molhados.

Contudo, a taxa de diminuição da textura da superfície do pavimento é difícil de ser estimada, pois são muitos fatores que influenciam a evolução da microtextura e macrotextura. Dentre esses fatores destacam-se as propriedades dos agregados, o tipo ligante e a sua combinação na mistura, a geometria e o tráfego da rodovia. Por este motivo, identificar as causas de deterioração e prever a evolução do desempenho da superfície são operações fundamentais para assegurar adequadas metodologias de planejamento e gestão de pavimentos (VAIANA *et al.*, 2012).

## **Hidroplanagem**

A aderência pneu-pavimento pode ser comprometida com o aumento da velocidade e com fluído na parte anterior do pneu. Quando a roda do veículo passa sobre uma lâmina d'água, ocorre uma perturbação no fluído ocasionando forças hidrodinâmicas que podem levantar parcialmente ou totalmente a parede do pneu. Sendo assim, quanto mais elevada for a velocidade de tráfego do veículo, maior será a reação das forças hidrodinâmicas atuantes nas paredes dos pneus e, por consequência, menor será a área de contato entre o pneu e o pavimento (MATTOS, 2009; MOMM e THIVES, 2010).

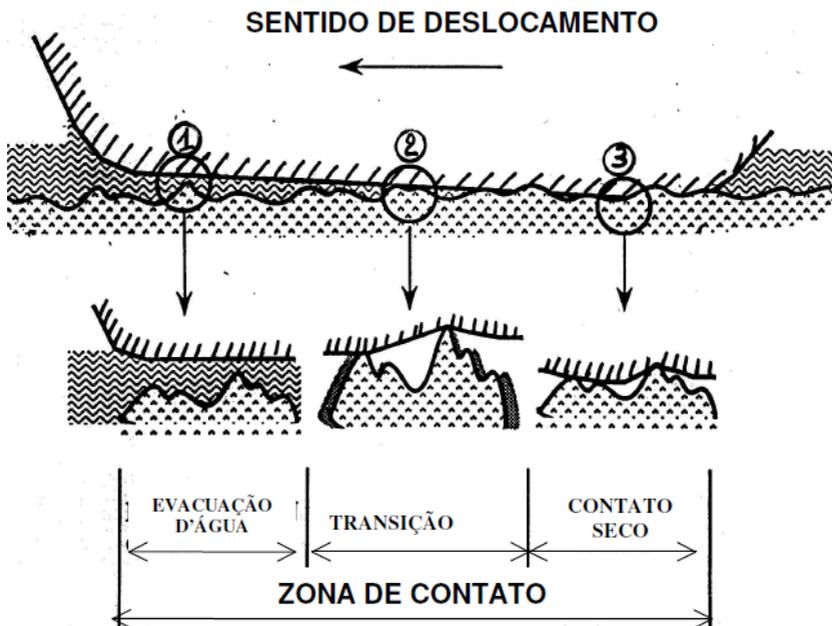
A velocidade de aquaplanagem depende de vários parâmetros, tais como: SD (percentagem de giro da roda ou “spindown”), pressão dos pneus, profundidade dos sulcos do pneu, altura da lâmina d'água e profundidade média de textura do pavimento. Apesar dessa velocidade de aquaplanagem ocorrer principalmente em função da macrotextura do pavimento, a razão da ocorrência de um acidente depende tanto da macrotextura como da microtextura (VAIANA *et al.*, 2012).

A construção de relações para cálculo da velocidade limiar crítica de hidroplanagem é difícil devido à quantidade de incertezas que o fenômeno envolve. Embora, valendo-se de equações empíricas (Modelo de GALLAWAY, 1976), os valores de velocidade limiar crítica de hidroplanagem encontrados situam-se muitas vezes abaixo da velocidade média em que os veículos podem trafegar na rodovia (MOMM, 1998).

## **Viscoplanagem**

Geralmente a viscoplanagem é um problema associado a baixas velocidades de operação em pavimentos com pouca ou nenhuma aspereza, ou seja, pavimentos polidos ou pneus sem esculturas na banda de rodagem. A área de contato pneu-pavimento na presença d'água com espessura fina ( $< 0,10$  mm), apresentada esquematicamente na Figura 8, evidencia a ocorrência de três zonas distintas (MOMM, 1998):

Figura 8 – Mecanismo da viscoplanagem



Fonte: Momm (1998)

**ZONA 1:** Região da área de contato em que a água é empurrada para frente pelo pneu em movimento provocando a formação de uma onda. Nota-se que o contato pneu-pavimento é impedido pela pressão exercida pela água, que potencializa a hidroplanagem. A aderência teoricamente inexiste nesta área pela falta do contato.

**ZONA 2:** O pneu começa a ter contato com o pavimento e apenas uma película d'água se interpõe entre os dois, o que pode criar um deslocamento relativo entre a banda de rodagem e o pavimento no domínio da viscosidade da água. O fenômeno da viscoplanagem ocorre no âmbito desta zona.

**ZONA 3:** A película d'água é rompida e ocorre o contato seco pneu-pavimento. Nesta região a água é totalmente eliminada com o rompimento da película d'água e ocorre o íntimo contato entre a banda de rodagem e as arestas do pavimento.

A eliminação da água da área de contato entre o pneu e o pavimento requer um determinado tempo. A macrotextura, em conjunto com os sulcos que compõem a banda de rodagem do pneu, permite que

parte da água existente na pista possa ser drenada. A obtenção de uma macrotextura que possibilite a drenagem das águas pluviais é função da curva granulométrica da mistura asfáltica, das condições da camada de rolamento e do grau de polimento da superfície ou dos agregados empregados nessa camada (APS, 2006).

## 2.2 - METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE TEXTURA

As características de atrito das rodovias e aeroportos desempenham um papel importante no quesito de segurança e tem sido motivo de preocupação crescente para os órgãos responsáveis pela sua administração (MIAO, 2010; GEORGIU e LOIZOS, 2014).

Mesmo que os sistemas e métodos de avaliação de macrotextura e atrito (microtextura) do pavimento variam de um país para outro, deve-se fazer o monitoramento contínuo para que a superfície do pavimento possa garantir aos usuários uma adequada aderência entre pneu-pavimento (WAMBOLD *et al.*, 1995).

Nesta pesquisa serão abordados os seguintes equipamentos Mancha de Areia (volumétrico) para determinação da macrotextura, Pêndulo Britânico (estático) e *Grip Tester* (roda parcialmente bloqueada) para determinação do coeficiente de atrito. A seguir estão apresentados, também, outros procedimentos de ensaio e funcionamento de equipamentos para medição de textura e atrito (WAMBOLD, 1995; IBRAHIM, 2005; APS, 2006; MATTOS, 2009; FUENTES, 2009; RODRIGUES, 2013).

### 2.2.1 - Medição de macrotextura

Existem basicamente três classes de equipamentos para mensurar a macrotextura: volumétricos, de drenabilidade e perfilômetro (MATTOS, 2009).

Volumétricos: método pontual que avalia macrotextura da superfície de um pavimento através da distribuição, em círculo, de um volume conhecido de grânulos de vidro ou areia padronizada. A profundidade média de textura (MTD) é obtida pela razão entre o volume e área do círculo por meio do ensaio de Mancha de Areia (RODRIGUES, 2013).

Drenabilidade: este método consiste em mensurar a taxa de drenagem de água através da textura e dos espaços vazios da superfície da mistura asfáltica. Essa medida indica o potencial de hidroplanagem

de uma superfície em função do tempo de escoamento da água pelas ranhuras do pneu. O ensaio consiste em medir o tempo necessário para um volume conhecido de água passar sob uma marcação conhecida do cilindro. O tempo de saída da água indica a macrotextura do pavimento. No caso de ser um tempo baixo, ele indica superfícies ásperas, caso contrário indica superfícies mais lisas (APS, 2006).

**Perfilômetro:** geralmente dispositivos a laser que medem o perfil da superfície ao longo de um trecho. O dispositivo medidor de textura gera perfis longitudinais da superfície do pavimento, obtendo-se dois índices: a profundidade perfil (MPD) e raiz média quadrática (RMS). O primeiro índice representa a média dos picos mais altos do perfil e o segundo é um valor estatístico que indica o quanto os dados medidos se afastam de um ajuste perfeito dos dados. Esses dados são transmitidos e armazenados em um computador portátil (NCHRP, 2009; RODRIGUES, 2013).

Na Tabela 1 estão apresentados os ensaios mais utilizados para obtenção da macrotextura do pavimento.

Tabela 1 – Ensaio para obtenção da macrotextura do pavimento

Ensaio	Descrição
<p data-bbox="184 798 364 821">Mancha de Areia</p> 	<p data-bbox="459 798 963 965">O ensaio de Mancha de Areia é estabelecido pela norma ASTM – E965-96 e tem como finalidade determinar a profundidade média da altura da mancha de areia em superfícies de pavimentos, indicando indiretamente as características da macrotextura (ASTM – E965-96; ISO10844).</p>
<p data-bbox="184 1093 336 1141">Drenabilidade (<i>outflow</i>)</p>  <p data-bbox="184 1356 408 1380">Fonte: Mattos (2009).</p>	<p data-bbox="459 1093 963 1292">Este método avalia a capacidade da macrotextura do pavimento em drenar a água que precipita na superfície. O ensaio consiste em medir o tempo que um volume conhecido de água leva, sob a força da gravidade, para escoar pelos espaços vazios da macrotextura do pavimento (ASTM – E2380M-15).</p>

Tabela 1 – Ensaio para obtenção da macrotextura do pavimento (continuação)

Ensaio	Descrição
<p data-bbox="181 220 445 247">Perfilômetro a Laser</p>  <p data-bbox="181 411 445 443">Fonte: Aps (2006).</p>	<p data-bbox="445 220 966 443">O perfilômetro a laser é um sistema que adquire os dados digitais da superfície do pavimento, posteriormente podendo traduzir a profundidade média da macrotextura (ASTM E 1845; ISO 13473-1; ISO 13473-2; ISO 13473-3).</p>
<p data-bbox="181 443 445 502">Circular Track Meter – CT Meter</p>  <p data-bbox="181 758 445 826">Fonte: Aps (2006).</p>	<p data-bbox="445 443 966 826">O CT Meter é um equipamento também utilizado para a obtenção e análise da macrotextura superficial de um pavimento. O equipamento consiste num sensor a laser acoplado sobre um braço de rotação (raio de 142mm) que segue de tal modo que cobre uma faixa de deslocamento circular com diâmetro de aproximadamente 284mm. O dispositivo é controlado por um computador portátil que grava os dados coletados, esse computador também aciona o braço de rotação para inicialização da medição, concluída por uma rotação completa de 360 ° (ASTM – E2157-09).</p>
<p data-bbox="181 826 445 853">Mine Texture Meter</p>  <p data-bbox="181 1069 445 1129">Fonte: Wambold e Henry (2002).</p>	<p data-bbox="445 826 966 1129">Este equipamento manual é utilizado para medir a textura da superfície de pavimentos de rodovias, aeroportos e calçadas. Operado dentro de uma faixa de velocidade equivalente ao de uma caminhada (3 e 6 km/h), o laser acoplado no veículo trator, projeta uma luz sobre a superfície avaliada, que a reflete num receptor, medindo assim, a diferença de nível entre o equipamento e a superfície.</p>

### 2.2.2 - Medição de microtextura

Para medidas de microtextura não existem dispositivos que mensuram esse parâmetro propriamente. No entanto, o Pêndulo Britânico (baixa velocidade ou estático) e os equipamentos que medem o atrito em rodovias, como os de roda oblíqua, roda parcialmente bloqueada e roda bloqueada, podem ser utilizados para esse fim (WAMBOLD, 1995).

No caso de equipamentos estáticos ou de baixa velocidade, existem basicamente dois dispositivos para medir as características de atrito do pavimento em baixas velocidades: o Pêndulo Britânico (BPT) e o teste de atrito dinâmico (DFT). Ambos os dispositivos medem as propriedades de atrito através da determinação da perda de energia cinética que é convertida em uma força de fricção e, portanto, permitindo a obtenção do atrito da superfície (MATTOS, 2009).

Equipamentos que medem atrito em média e alta velocidade utilizam de um a dois pneus. Os ensaios são realizados em escala real para medir as propriedades de atrito da superfície do pavimento. Para esta finalidade, existem quatro tipos de equipamentos: roda bloqueada; roda oblíqua; roda parcialmente bloqueada ou variável (NCHRP, 2009).

Na Tabela 2 estão apresentados os equipamentos mais utilizados para obtenção dos valores de atrito do pavimento.

Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento

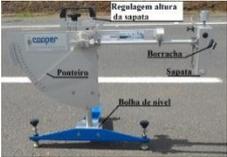
Ensaio	Descrição
<p>Pêndulo Britânico</p> 	<p>A medição do coeficiente de atrito por meio do Pêndulo Britânico é normatizada pela ASTM – E303-93. Esse ensaio é considerado dinâmico e de impacto e consiste em mensurar a perda de energia quando a sapata de borracha do Pêndulo desliza sobre a superfície de teste. Este método utilizado para inferir indiretamente a microtextura do pavimento, pode ser executado tanto em laboratório como também em campo, mas suas leituras são efetuadas de modo localizado, implicando uma baixa velocidade de execução, além de requerer controle de tráfego da rodovia (RAMOS, 2012).</p>
<p><i>Dynamic friction tester</i> – <i>DF Tester</i> – <i>DFT</i></p>  <p>Fonte: Ramos (2012)</p>	<p>O <i>DF Tester (DFT)</i> é um equipamento portátil para medir as características de atrito superficial de pavimentos em laboratórios ou em campo. O procedimento de ensaio permite medir o coeficiente de atrito de vários tipos de superfícies pavimentadas (ASTM E1911 – 09).</p>

Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento (continuação)

Ensaio	Descrição
<p>ADHERA</p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>O ADHERA é um equipamento para medir coeficiente de atrito longitudinal e utiliza o principio de roda bloqueada, ou seja, uma taxa de derrapagem de 100%. O equipamento é composto por uma única roda e é rebocado por um veículo capaz de armazenar o reservatório de água para o ensaio, bem como os equipamentos referentes ao computador de bordo (WAMBOLD, 1998).</p>
<p><i>Skiddometer BV-8</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>Os <i>Skiddometer BV-8</i> é constituído por um reboque de três rodas. As duas rodas laterais trafegam livremente, e na roda central é aplicada uma carga controlada. Essa roda central é responsável pela medição do atrito, com sua rotação retardada, operando com uma taxa de deslizamento de 17% (RAMOS, 2012).</p>
<p><i>Stuttgarter Reinbungsmesser (SRM)</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>O equipamento tem como função medir o coeficiente de atrito longitudinal a partir de rodas instaladas na traseira de um caminhão tanque. Essas rodas podem ser operadas travadas, ou com uma taxa de travamento de 15% em relação à velocidade do veículo trator ou ainda simulando as condições de um freio ABS (WAMBOLD, 1998; DO e ROE, 2008).</p>
<p><i>Locked Wheel Tester – ASTM E-274 Trailer</i></p>  <p>Fonte: Dynatest (2013)</p>	<p>Este equipamento consiste em um reboque de duas rodas que está equipado com uma suspensão paralela e freios a disco. Nos dois eixos é instalado um transdutor com capacidade de fazer as leituras diretas da força de atrito horizontal e da carga vertical aplicada sobre as rodas, obtendo com essas variáveis o número de derrapagem (SN). Esse equipamento trabalha com a roda bloqueada e cumpre integralmente os requisitos da norma ASTM E274, sendo muito utilizado no Departamento de Estado dos Transportes nos EUA (APS, 2006; DYNATEST, 2013).</p>

Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento (continuação)

Ensaio	Descrição
<p data-bbox="185 245 288 268"><i>Mu-meter</i></p>  <p data-bbox="185 464 426 515">Fonte: Rodrigues (2013)</p>	<p data-bbox="449 245 956 507">O <i>Mu-Meter</i> é um reboque de três rodas, projetado para medir o coeficiente de atrito e opera sobre a força transversal. Ao contrário de outros dispositivos, o <i>Mu-Meter</i> obtém indiretamente o valor do coeficiente de atrito a partir da medida da força lateral nos eixos das duas rodas externas, com um ângulo de convergência, com carregamento de 77,5 kgf para cada roda (ASTM E 670).</p>
<p data-bbox="185 525 318 547"><i>Stradograph</i></p>  <p data-bbox="185 793 426 844">Fonte: Wambold e Henry (2002).</p>	<p data-bbox="449 525 956 866">O <i>Stradograph</i> é um veículo com adaptação de um dispositivo que permite realizar medidas contínuas do coeficiente de atrito, através de duas rodas situadas em cada lado do eixo longitudinal (APS, 2006). O equipamento pode registrar até sete parâmetros simultaneamente, como força lateral direita, força lateral esquerda, força longitudinal direita, força longitudinal esquerda, velocidade de rotação das rodas esquerda e direita, cargas que atuam nas rodas esquerda e direita, e velocidade do veículo (COUCHINHO, 2011).</p>
<p data-bbox="185 876 322 898"><i>Odoliograph</i></p>  <p data-bbox="185 1038 426 1090">Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p data-bbox="449 876 956 1078">O <i>Odoliograph</i> é um equipamento que tem como objetivo medir o coeficiente de atrito por meio da locomoção de um veículo de passeio de tração dianteira, que segue a uma distância padronizada um caminhão tanque que faz a aspersão de água sobre a superfície do pavimento (APS, 2006).</p>
<p data-bbox="185 1099 266 1121"><i>SCRIM</i></p>  <p data-bbox="185 1299 426 1350">Fonte: Couchinho (2011)</p>	<p data-bbox="449 1099 956 1471">O <i>SCRIM</i> consiste num sistema completamente autossuficiente onde se tem um chassi de veículo comercial dotado com um tanque de água de grande capacidade. O método de ensaio para medir o coeficiente de atrito da superfície do pavimento molhado está descrito na norma BS 7941-1:2006. Esse equipamento é dotado de dispositivo de espargimento de água, onde um fluxo de água é controlado para molhar a superfície do pavimento imediatamente à frente da roda de teste, proporcionando um filme de 0,5 a 2mm de espessura nominal (COUCHINHO, 2011).</p>

Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento (continuação)

Ensaio	Descrição
<p><i>Grip Tester</i></p> 	<p>O teste consiste em medir o atrito pneu-pavimento em condições de pluviosidade (MATTOS, 2009). Para isso, faz-se a aspersão de uma vazão constante de água na frente da roda de teste desse equipamento. A vazão é proporcional à velocidade de deslocamento do equipamento suficiente para criar uma película de água com espessura de 1,0 mm (DYNATEST, 2013; BS7941-2). O coeficiente de atrito entre duas superfícies é determinado pela natureza de cada uma em função da força normal que atua no contato entre elas (SILVA, 2008).</p>
<p><i>RoadSTAR</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>O RoadSTAR é um equipamento de medição composto por uma roda montada na parte traseira do chassi de um caminhão modificado que também contém um reservatório de água e o equipamento de controle de dados no interior da cabine, o método de ensaio está descrito na norma ASTM E1859-11 (DO e ROE, 2008). O RoadSTAR também está provido de um sensor a laser na frente do caminhão, isso possibilita medir a macrotextura na superfície seca do pavimento (DO e ROE, 2008).</p>
<p><i>ROAR (DK)</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>O ROAR DK é um equipamento que tem um mecanismo de roda de teste montado dentro de um reboque com rodas motrizes e uma única roda de teste que sofre carregamento vertical. O ROAR DK mede o atrito longitudinal com uma taxa de deslizamento fixa de 20% ou com deslizamento variável entre 1 e 99%. O equipamento aplica uma carga vertical na roda de teste durante uma medição, usualmente de 1200 N. E a velocidade do ensaio geralmente é de 60km/h, podendo variar entre 60km/h a 80km/h (DO e ROE, 2008).</p>

Tabela 2 – Equipamentos para obtenção do coeficiente de atrito do pavimento (continuação)

Ensaio	Descrição
<p><i>ROAR (NL)</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>O ROAR NL é um equipamento que tem um mecanismo montado em um caminhão-tanque de três eixos, com reservatório de água com capacidade de 12.000 litros e os dois sistemas de medição montadas na parte traseira do chassi. Isso permite que as rodas de teste fiquem alinhadas com as rodas do eixo do caminhão. O ROAR NL mede o atrito longitudinal com uma taxa de deslizamento fixa de 86% ou com deslizamento variável entre 5 e 95%. O equipamento aplica uma carga vertical na roda de teste durante uma medição, usualmente de 1200 N. E a velocidade do ensaio pode variar entre 50km/h a 70km/h (DO e ROE, 2008).</p>
<p><i>Surface Friction Tester (SFT)</i></p>  <p>Fonte: Couchinho (2011)</p>	<p>O intuito deste ensaio é medir o coeficiente de atrito longitudinal a partir de uma roda de medição localizado entre duas rodas de referência. Esse dispositivo pode ser construído como um reboque (BV-11) ou incorporado num veículo, o método de ensaio está descrito na norma ASTM E1551-08 (DO e ROE, 2008). O veículo modificado também conta com um reservatório de água, com um sistema de aspersão que permite a aplicação de uma lâmina de água de espessura média de 1mm, possibilitando medir aproximadamente até 6000 metros de pista. As velocidades de ensaio mais usuais são de 96 km/h e as informações obtidas são registadas e processadas por um computador portátil de bordo (COUCHINHO, 2011).</p>
<p><i>Tatra Runway Tester</i></p>  <p>Fonte: Do e Roe (2008)</p>	<p>Trata-se de um veículo modificado em que o equipamento de medição está instalado por baixo do veículo, e a especificação do ensaio está descrita na norma ASTM E1859-11 (DO e ROE, 2008). O veículo também é equipado com um reservatório de água com um sistema de aspersão capaz de formar uma película de água na superfície do pavimento com uma espessura de 0,5mm (COUCHINHO, 2011).</p>

## 2.3 - METODOLOGIAS PARA OBTENÇÃO DO *IFI*

### 2.3.1 - Índice Internacional de Atrito (*IFI*)

O *IFI* é um índice que é determinado em função dos valores de macrotextura e de atrito (microtextura) e serve para avaliar a resistência à derrapagem (WAMBOLD *et al.*, 1995). Esse índice foi desenvolvido a partir de uma experiência internacional de comparação e harmonização de métodos de medidas de textura e atrito dos pavimentos sob a responsabilidade do Comitê de Características de Superfície (C1) da *PIARC* (*Permanent International Association of Road Congress*) (atualmente *AIPCR*). Os resultados obtidos na pesquisa da *PIARC* foram importantes para unificar as políticas de gerência de pavimentos em diferentes países, harmonizar os métodos de medida e para obter especificações e recomendações dos materiais utilizados em pavimentação (APS, 2006).

O *IFI* é composto por dois números: um relacionado com uma medida da macrotextura e outro com a medição de atrito (WAMBOLD *et al.*, 1995; APS, 2006; FONTES, 2009; GEORGIU e LOIZOS, 2014).

Os dois valores que constituem o *IFI* -  $F_{60}$  e  $S_p$ , permitem calcular o valor de resistência à derrapagem por meio da medição do coeficiente de atrito,  $F_{(S)}$ , a qualquer velocidade de deslizamento  $S$ , sendo composto por um valor de atrito ( $F_{60}$ ) a uma velocidade constante ( $S_p$ ). O  $F_{60}$  indica o atrito a uma velocidade de deslizamento de 60 km/h. Por outro lado,  $S_p$  indica a velocidade do coeficiente de atrito que sofre influência da macrotextura do pavimento  $T_x$  (SAITO, 2001; FONTES, 2009).

Para obter o valor de *IFI* é preciso realizar dois tipos de medidas sobre o pavimento: uma de atrito ( $FR$ ) e outra de textura ( $T_x$ ) utilizando-se qualquer equipamento ou técnica homologada ou homologável a partir de critérios estabelecidos no experimento internacional da *PIARC* (APS, 2006; FONTES, 2009).

### 2.3.2 - Metodologia da *PIARC*

O modelo da *PIARC* para obtenção do *IFI* foi baseado no modelo desenvolvido pela Universidade do Estado da Pensilvânia. Esse descreve o comportamento da resistência à derrapagem o em função dos diferentes tipos de equipamentos de medição de atrito, considerando

para cada um deles a variação de velocidade e o tipo de pneu utilizado (APS, 2006).

Um dos principais objetivos do experimento da PIARC foi correlacionar à textura e o atrito do pavimento. Por isso, ele foi realizado em estradas abertas ao tráfego para obter uma boa representatividade dos dados coletados sobre: textura, atrito, desgaste e polimento da superfície (ROA, 2008).

Não foram utilizadas pistas experimentais porque em estudos anteriores foi comprovado que os pavimentos devem ser submetidos ao tráfego real e às verdadeiras variáveis de atrito e textura. As pistas experimentais são consideradas aptas para a calibração de equipamentos, porém não refletem as condições das rodovias, além de apresentarem poucos tipos de superfícies de pavimentos (APS, 2006).

Foram executadas medições em 54 locais de rodovias belgas e espanholas. Os trechos tinham aproximadamente 150m de comprimento em vias públicas, aeródromos e pista de corrida com superfícies que variaram entre pavimento asfáltico e de concreto. Foram utilizados 47 aparelhos de 16 países para executar o experimento (Tabela 3). Utilizando esses aparelhos, foram realizadas 33 medidas para a textura e 34 para o atrito em cada trecho, num período curto de tempo para evitar os efeitos da temperatura ou outras alterações que pudessem ocorrer ao longo do dia. Os equipamentos de atrito foram operados em três velocidades: 30, 60 e 90 km/h. No caso do equipamento não alcançar a velocidade normalizada foi aceito uma velocidade mais próxima das definidas anteriormente (WAMBOLD *et al.*, 1995).

Tabela 3 – Aparelhos utilizados na medição de textura e atrito do experimento da PIARC

Equipamentos de medição de Atrito							A	B	C
Tipo de medida	Identificação	Aparelho	Taxa de delizamento (%) ou (°)	Velocidade (km/h)	S	N			
Roda bloqueada	B6-524	ASTM E-274 Trailer (US)	100	30, 60, 90	65	69	0,04461	0,92549	0
	D6	Adhera - LCPC (F)	100	30, 60, 90	60	69	0,00226	1,00762	0
	B4E-SLP-86	Norsmeter Oscar (N)	20	30, 60, 90	52	15	-0,03033	0,86410	0
	B4E-SLP-20	Norsmeter Oscar (N)	20	30, 60, 90	12	15	0,11917	0,64319	0
	C4	Komatsu Skid Tester (J)	10-30%	30, 60, 90	10	63	0,04195	0,84865	0
	C5	DW W Trailer (NL)	85	30, 60, 90	43	69	0,01883	0,86780	0
	D8	Crip tester (UK)	14,5	5, 30, 65, 90	9,4	67	0,08209	0,91040	0
	C8	Siradograph (DK)	21 (12°)	30, 60, 90	12,5	69	0,05436	0,77020	0
	C9	Waloon Odolograph (B)	26 (15°)	30, 60, 90	12,9	69	0,11340	0,72910	0
	C10	CRR Odolograph (B)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	61	0,11350	0,74581	0
	C3B	Flemish scrim (B)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	35	0,04912	0,96738	0
	C3E	Cedex Scrim (E)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	27	0,01880	0,81270	0
	C6E	Mopt Scrim (E)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	29	0,03190	0,87340	0
	D1E	Scrim (D)	34 (20°)	40, 60, 90	20,5	31	0,01650	0,84950	0
	D2	Scrim-Geosisa (E)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	68	0,02102	0,92760	0
D3	Scrim (F)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	69	-0,00594	0,86621	0	
D4	Summs (I)	34 (20°)	30, 60, 90	20,5	69	0,00195	0,98670	0	
D5	Scrimtex (UK)	34 (20°)	30, 60, 90	17,1	69	0,03258	0,87170	0	
Pneu com Nervuras									
Roda bloqueada	B1-LKD	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	100	30, 60, 90	60	42	0,02204	0,50025	0,08216
	B2-LKD	Skiddometer BV-8 (CH)	100	30, 60, 90	60	63	0,02634	0,50420	0,09920
	B5-LKD	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	100	30, 60, 90	60	59	-0,07215	0,76744	0,08551
	B6-501	ASTM E-274 Trailer (US)	100	65	65	67	-0,02283	0,60682	0,09759
	CI	Skid resistance tester (P)	10	30, 60, 90	60	62	-0,02534	0,80685	0,06772

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

Tabela 3 – Aparelhos utilizados na medição de textura e atrito do experimento da PIARC (continuação)

Equipamentos de medição de Atrito									
Tipo de medida	Identificação	Aparelho	Taxa de deslizamento (%) ou (°)	Velocidade (km/h)	S	N	A	B	C
Pneu com Nervuras									
Roda parcialmente bloqueada	B1-SLP	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	20	30, 60, 90	12	46	0,14107	0,32256	0,07388
	B2-SLP	Skiddometer BV-8 (CH)	20	30, 60, 90	12	64	0,02968	0,91848	-0,01365
	B5-SLP	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	20	30, 60, 90	12	68	0,03964	0,85618	-0,01589
	B3	Skiddometer BV-11 (CH)	20	30, 60, 90	12		0,01962	0,86730	-0,00588
Equipamentos com sapatas									
Estático	A13,20	DF tester (J)	100	0-80	20	68	0,08114	0,73158	0
	A13,60	DF tester (J)	100	0-80	60	68	-0,03365	0,77098	0
	A14	Pêndulo Britânico (UK)	100	10	10	68	0,05626	0,00756	0
	B7	Pêndulo Britânico (CH)	100	10	10	62	0,04360	0,00953	0

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

Primeiramente todas as medições de textura foram realizadas com a superfície seca, e posterior com aplicação de água nas faixas de rotação (WAMBOLD *et al.*, 1995). Para controle, foram realizadas medições de microtextura com Pêndulo Britânico antes e depois dos medidores de atrito realizarem seus testes. Com esses dados, foi possível verificar que não ocorreram variações estatísticas significativas ao reutilizar o Pêndulo Britânico para aferição do resultado inicial (APS, 2006).

Na pesquisa da PIARC foram realizadas correlações lineares entre os dispositivos de medição de atrito, independentemente do tipo de funcionamento, tipo de pneus ou princípio de medição. De maneira geral, as correlações dos equipamentos na condição de funcionamento do experimento foram aceitáveis. Os coeficientes de correlação das regressões lineares entre os pares de dispositivos de medição de atrito estão apresentados na Tabela 4 (WAMBOLD *et al.*, 1995).

Tabela 4 – Coeficiente de correlação das regressões lineares dos equipamentos de medição de atrito

Tipo de equipamento	Roda oblíqua	Roda parcialmente bloqueada	Roda bloqueada	Pêndulo Britânico
Roda oblíqua	0,863	0,819	0,795	0,665
Roda parcialmente bloqueada	0,819	0,834	0,783	0,732
Roda bloqueada	0,795	0,783	0,843	0,670
Pêndulo Britânico	0,667	0,732	0,670	0,830

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

Em relação às medidas de macrotextura, seus parâmetros podem ser classificados em três tipos:

- Profundidade média do perfil – MPD (*Mean Profile Depth*): faz uma estimativa da profundidade média da textura da superfície do pavimento por meio de perfis;
- Raiz média quadrática do perfil – RMS (*Root Mean Square of Texture Profile*);
- Tempo de drenagem obtido por meio de um drenômetro.

Alguns dispositivos apresentam mais de um parâmetro de textura e, nesse caso, apenas o melhor parâmetro de cada tipo foi considerado (Tabela 5).

Tabela 5 – Coeficiente de correlação das regressões lineares dos equipamentos de medição de macrotextura

Parâmetro de Textura	Número de Aparelhos	Coeficiente de Correlação	
		Mínimo	Máximo
MDP	5	0,940	0,966
RMS	10	0,854	0,953
Tempo de drenagem	2	0,880	0,940

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

Foi possível verificar a repetitividade das medições visto que foram realizadas duas medições para cada dispositivo em cada uma das três velocidades: 30, 60 e 90 km/h. Foi determinado o valor absoluto da diferença entre a primeira e segunda passagem do equipamento e o desvio padrão entre os valores. A repetitividade foi avaliada para cada velocidade e também separadamente em três níveis de medição de atrito (Tabela 6).

Tabela 6 – Repetibilidade das medidas realizadas no experimento internacional com os equipamentos de medição de atrito

Parâmetros		Roda oblíqua	Roda parcialmente bloqueada	Roda bloqueada
Velocidade	baixa	0,034	0,033	0,028
	média	0,029	0,032	0,024
	alta	0,028	0,031	0,027
atrito	baixo	0,027	0,023	0,015
	médio	0,031	0,031	0,023
	alto	0,028	0,026	0,029

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

Com o auxílio deste experimento, foi possível calcular o *IFI* de acordo com o equipamento desenvolvidos para medição da macrotextura e do atrito (microtextura) utilizado em rodovias (WAMBOLD *et al.*, 1995).

Esses números podem ser aplicados em várias situações, inclusive no caso de investigação de acidentes de trânsito e gestão de

manutenção da superfície das rodovias e aeroportos (WAMBOLD et al., 1995).

O processo de harmonização do modelo PIARC segue as seguintes etapas de cálculo:

### Etapa 1

O cálculo da constante de velocidade  $S_p$ , baseada na medição de macrotextura ( $T_x$ ) da superfície do pavimento é obtido por meio da Equação 4.

$$S_p = a + b \cdot T_x \quad (3)$$

Onde:

$S_p$  = constante de velocidade (adimensional);

$a$  e  $b$  = constantes determinadas no experimento do PIARC referentes à parcela do equipamento (Tabela 7) (adimensional);

$T_x$  = macrotextura (mm).

Tabela 7 – Valores de  $a$  e  $b$  para o cálculo de  $S_p$

Método	Identificação	Equipamento	$a$	$b$
MTD	A8	ASTM E-965 Mancha de Areia (US)	-11,5981	113,63246

Fonte: Adaptado de Wambold et al. (1995)

### Etapa 2

O valor de resistência à derrapagem é ajustado em função da macrotextura para uma velocidade de deslizamento 60km/h conforme Equação 5.

$$FR(60)_{dispositivo} = FR(S)_{dispositivo} \left( \frac{S-60}{S_p} \right) \quad (4)$$

Onde:

$FR_{60}$  = valor da resistência à derrapagem para um coeficiente de atrito  $FR_S$  medurado à velocidade de 60 km/h (adimensional);

$FR_S$  = coeficiente de atrito (microtextura) (adimensional);

$S$  = velocidade, tabelada pelo experimento para o equipamento escolhido (km/h);

$S_p$  = constante de velocidade, calculada através da Equação 4 (adimensional).

### Etapa 3

O valor resistência à derrapagem ajustado para uma velocidade de deslizamento de 60 km/h é calculada utilizando-se Equação 6.

$$F(60)_{\text{calibração}} = A + B \times FR(60)_{\text{dispositivo}} + C \times T_x \quad (5)$$

Onde:

$F_{60}$  = resistência à derrapagem a 60 km/h (adimensional);

A, B, C = constantes de regressão determinadas no experimento internacional (Tabela 8) (adimensional);

$FR_{60}$  = valor da resistência à derrapagem para um coeficiente de atrito

$FR_S$  medurado à velocidade de 60 km/h (adimensional);

$T_x$  = macrot textura (mm).

Tabela 8 – Valores de A, B e C para o cálculo de F60

Método	Aparelho	Taxa de deslizamento (%) ou (°)	Velocidade (km/h)	A	B	C
Roda bloqueada	Grip tester (UK)	14,5	5, 30, 65, 90	0,08209	0,91040	0
Estático	Pêndulo Britânico (UK)	100	10	0,05626	0,00756	0

Fonte: Adaptado de Wambold *et al.* (1995)

### Etapa 4

O Índice Internacional de Atrito é então apresentado como  $IFI_{60}(F(60)_{\text{calibrado}}, S_p)$ .

O modelo da PIARC também pode ser ajustado para um  $IFI$  para outro valor de referência de deslizamento por meio da Equação 7.

$$F(S)_{\text{calibrado}} = F(60)_{\text{calibrado}} \left( \frac{60-S}{S_p} \right) \quad (6)$$

Onde:

$F_{(S)}$  = resistência à derrapagem a qualquer velocidade de deslizamento (adimensional);

$F_{(60)}$  = resistência à derrapagem a 60 km/h (adimensional);

$S$  = velocidade escolhida (km/h);

$S_p$  = constante de velocidade baseada na medição de textura, calculada através da Equação 4 (adimensional).

A Tabela 9 apresenta as faixas limites do *IFI* (F60), de acordo com a qualificação proposta por Aps (2006).

Tabela 9 – Faixas limites dos valores do *IFI* (F60)

Classificação	<i>IFI</i>
Péssimo	< 0,05
Muito ruim	0,06 a 0,08
Ruim	0,09 a 0,11
Regular	0,12 a 0,14
Bom	0,15 a 0,21
Muito Bom	0,22 a 0,35
Ótimo	> 0,35

Fonte: Aps (2006)

A vantagem do gerenciamento do *IFI* é que seu valor é universal, ou seja, sem vínculo com um dispositivo de medição de atrito ou macrotextura em particular. Entretanto, cada dispositivo tem a sua constante de calibração e geralmente essas constantes são informadas pelo próprio fabricante do equipamento (APS, 2006; WAMBOLD *et al.*, 1995).

### 2.3.3 - Modelo Pensilvânia

O *Penn State Model* ou Modelo do Estado da Pensilvânia é uma função exponencial com a velocidade de deslizamento sendo uma variável independente. O modelo é usado para monitorar a macrotextura de superfícies molhadas e serve de base para o modelo utilizado pela PIARC para estabelecer o *IFI* (WAMBOLD e ANDRESEN, 1998; NCHRP, 2009).

Os dispositivos que medem o atrito apresentaram boa compatibilidade quando as medições são ajustadas para velocidade padrão de 60 km/h. Esses ajustes culminaram na elaboração de um modelo que também é amplamente utilizado para estimar a resistência à derrapagem em superfícies de pavimento em velocidades de

deslizamento diferentes da padronizada. O modelo de cálculo se apresenta pela Equação 8 (NCHRP, 2009):

$$F(S) = F_0 \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (7)$$

Onde:

$F_{(S)}$  = resistência à derrapagem (adimensional);

$F_0$  = coeficiente de atrito a uma velocidade de deslizamento zero, ou seja, quando o equipamento se encontra parado (adimensional);

$S$  = velocidade de deslizamento do pneu (km/h);

$S_0$  = velocidade do veículo em função do tipo de pneu (km/h).

O modelo traduz, matematicamente, o que é observado experimentalmente, ou seja, quanto maior a velocidade, menor é o valor do atrito medido. Foram observadas muitas dispersões nos resultados e o modelo foi modificado passando a velocidade de referência de 0 km/h para 10 km/h, de acordo com Equação 9 (APS, 2006):

$$F(S) = F_1^{(10-S/S_1)} \quad (8)$$

Onde:

$F_{(S)}$  = resistência à derrapagem (adimensional);

$F_1$  = coeficiente de atrito obtido para uma velocidade de deslizamento a 10 km/h (adimensional);

$S$  = velocidade de deslizamento do pneu (km/h);

$S_1$  = velocidade do veículo em função do tipo de pneu (km/h).

O modelo da PIARC adotou o princípio do *Penn State Model*, porém para a velocidade de referência de 60 km/h ao invés de 10 km/h, conforme adotado nesta metodologia.

### 2.3.4 - Modelo ASTM

A norma da ASTM E1960 – 07 (*Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*), apresenta a metodologia de cálculo para obtenção do *IFI* a partir de uma medição da macrotextura do pavimento e uma medição de atrito do pavimento molhado para uma velocidade de 60 km/h (*F60*) mensurados com diferentes equipamentos, e em qualquer velocidade de medição (FONTES, 2009).

A transformação linear do atrito estimado a 60 km/h ( $F60$ ) é realizada a partir de uma constante de velocidade ( $S_p$ ) obtida pelo atrito proveniente da medição efetuada a qualquer velocidade de um pavimento molhado. Esses fatores  $F60$  e  $S_p$  têm provado serem capazes de prever a resistência à derrapagem em função da velocidade de medições relacionadas com o pavimento molhado para vários tipos de equipamento de medição do atrito (APS, 2006).

Com esse modelo para o cálculo do  $IFI$ , as medidas de atrito efetuadas por um dispositivo não precisam estar necessariamente na velocidade padrão do experimento. Sendo assim, um valor de atrito ( $FR_S$ ) pode ser mensurado em uma velocidade qualquer  $S$  e depois ajustado para um  $FR_{60}$ . Logo, caso um dispositivo não consiga manter a sua velocidade normal de operação por causa do tráfego, sendo executada numa velocidade maior ou menor que a padrão, o ajuste permite que o modelo ainda funcione bem. Neste caso,  $S$  é determinada pela velocidade do veículo ( $V$ ) que pode ser convertida em  $S$  multiplicando  $V$  pela porcentagem de deslizamento para equipamentos com roda bloqueada ou multiplicando  $V$  pelo seno do ângulo de deslizamento para equipamentos com roda oblíqua.

Para a determinação da profundidade média ( $MPD$ ) da macrotextura utilizando um perfilômetro, a quantidade de dados necessários deve compreender um perfil contínuo realizado ao longo de todo o comprimento da secção de ensaio. A exigência mínima é de 10 perfis com espaçamento uniforme na direção do tráfego (ASTM E 1960, 2011).

Para o processamento de dados devem ser utilizadas a Equação 10 e a Equação 11:

$$S_p = 14,2 + 89,7 \text{ MPD} \quad (9)$$

Onde:

$S_p$  = constante de velocidade (adimensional);

$MPD$  = profundidade média do perfil (mm).

$$FR_{60} = FR_S^{[(S-60)/S_p]} \quad (10)$$

Onde:

$FR_{60}$  = valor resistência à derrapagem obtida a uma velocidade de deslizamento de 60 km/h (adimensional);

$FR_S$  = coeficiente de atrito mensurado pelo equipamento a uma velocidade de deslizamento  $S$  (adimensional);

$S$  = velocidade do equipamento (km/h).

A etapa final é a calibração do equipamento, através de regressão da medição ajustada  $FR_{60}$ , com o número de atrito calibrado  $F_{60}$ , conforme a Equação 12.

$$F_{60} = A + B \times FR_{60} \quad (11)$$

Onde:

$FR_{60}$  = resistência à derrapagem a 60 km/h (adimensional);

A, B, C = constantes de calibração do equipamento de medição do atrito (microtextura) determinadas no experimento internacional (Tabela 8) (adimensional);

$F_{60}$  = valor de resistência à derrapagem para um coeficiente de atrito  $FR_S$  à velocidade de 60 km/h (adimensional);

Combinando os resultados anteriores, o índice de  $F_{60}$  pode ser expresso em termos da medição de atrito e macrotextura ( $FR_S$  e  $T_x$ ), por meio da Equação 13:

$$F_{60} = A + B \times FR_S^{[-(60-S)/(a+b \times T_x)]} \quad (12)$$

Onde:

$F_{60}$  = resistência à derrapagem para um coeficiente de atrito  $FR_S$  à velocidade de 60 km/h (adimensional);

A, B, C = constantes de regressão determinadas no experimento internacional (Tabela 8) (adimensional);

$FR_S$  = coeficiente de atrito mensurado pelo equipamento a uma velocidade de deslizamento  $S$  (adimensional);

$T_x$  = macrotextura (mm).

$S$  = velocidade (adimensional);

a e b = constantes determinadas no experimento do PIARC (Tabela 7) (adimensional);

$T_x$  = macrotextura (mm).

No caso da conversão do valor de atrito padrão em um valor de atrito e uma velocidade de deslizamento  $S$ , pode ser calculado por meio da Equação 14:

$$F_S = F_{60}^{[(S-60)/S_p]} \quad (13)$$

Onde:

$F_{(S)}$  = valor de resistência à derrapagem a qualquer velocidade de deslizamento (adimensional);

$F_{(60)}$  = coeficiente de atrito a 60 km/h (adimensional);

$S$  = velocidade escolhida (km/h);

$S_p$  = constante de velocidade (adimensional).

## 2.4 - PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

### 2.4.1 - Tipo de agregado

A macrotextura do pavimento é proporcionada pelo relevo criado pelos agregados na superfície do revestimento e desempenha um papel importante na drenagem da superfície de contato pneu-pavimento, auxiliando na prevenção do fenômeno de hidroplanagem (GEORGIU e LOIZOS, 2014). A macrotextura é influenciada pela forma, angularidade e tamanho dos agregados que constituem a mistura, enquanto que a microtextura está associada às pequenas asperezas na superfície dos agregados, sendo influenciada pela mineralogia e textura de agregados cristalinos (TREMBLAY *et al.*, 2007).

As principais características dos agregados que frequentemente estão relacionadas com a resistência ao deslizamento são: resistência ao polimento e ao desgaste, textura, forma e o tamanho das partículas (APS, 2006).

O conhecimento das propriedades geológicas das rochas pode ser utilizado para definir agregados que possuam potencial desempenho para garantir uma boa aderência pneu-pavimento (DOOKEERAM *et al.*, 2014). Além disso, pode-se melhorar a resistência de atrito do pavimento com a utilização de agregados sintéticos (argila expandida ou escória).

No entanto, a utilização de minerais com uma tendência de desgaste uniforme pode diminuir a resistência ao polimento. Quando se tem um agregado composto por minerais de alta e baixa dureza, o comportamento a resistência de atrito é melhorado, uma vez que com o passar do tráfego há o desgaste do mineral frágil, deixando exposto o material com maior resistência ao desgaste (VAIANA *et al.*, 2012).

Um único ensaio não pode distinguir o bom ou mau desempenho do agregado em relação ao atrito, pois são vários os fatores que

influenciam esse desempenho como a angularidade, natureza do agregado e fragmentação (NCHRP, 2009).

### **Angularidade**

Um dos aspectos mais importantes dos agregados é a angularidade, pois influencia diretamente a textura (APS, 2006).

A forma dos agregados graúdos é caracterizada pela determinação do índice de forma (f), conforme o ensaio descrito na metodologia DNER-ME 086/94. Esse índice varia de 0,0 a 1,0 e indica o quão lamelar ou cúbico é o formato do agregado (BERNUCCI *et al.*, 2008). Os agregados alongados e chatos apresentam péssimo desempenho dentro da mistura (APS, 2006), pois requer o aumento do teor de ligante, o que pode provocar o fenômeno de exsudação, e desta forma comprometer a aderência pneu-pavimento.

A forma dos agregados é determinada pelo processo de britagem, que por sua vez afeta as propriedades de resistência ao deslizamento (APS, 2006).

A existência de arestas vivas no agregado pode ajudar a atingir altas pressões de contato entre o pneu-pavimento e garantir a ruptura da película de água durante a frenagem (DOOKEERAM, 2014). Entretanto, os agregados arredondados tendem a ser mais polidos propiciando o efeito de derrapagem. Além disso, o coeficiente de atrito depende principalmente da angularidade do agregado, e, com o desgaste da superfície esse coeficiente vai diminuindo ao longo da vida útil (TOURENQ, 1971).

### **Natureza da superfície do agregado**

A natureza do agregado influencia o seu comportamento em relação à resistência ao polimento e ao desgaste que por sua vez influencia diretamente o atrito (DOOKEERAM, 2014). Enquanto rochas ricas em sílica são as que apresentam melhor comportamento, como as do tipo quartzito, diorito e granito, as rochas com alto teor de carbonatos geralmente não apresentam um bom desempenho (APS, 2006).

As rochas ígneas, como granito e granito-gnaisses, contêm minerais duros como quartzo e feldspato que são resistentes ao polimento. Por outro lado, o calcário que é constituído de minerais macios como a calcita e a dolomita, tende ao polimento mais rapidamente do que a maioria dos outros tipos de agregados (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A superfície do agregado é caracterizada pela microtextura que está relacionada com a distribuição cristalina da rocha. Nas rochas de superfícies muito lisas (vítrea ou pederneira), pode-se desconsiderar o efeito dos cristalinos, pois muitas vezes a superfície dessas rochas é formada por cristalinos extremamente finos na ordem de alguns microns ou menos. Entretanto as rochas cristalinas, como os granitos, por exemplo, são compostas pela união de minerais, geralmente na ordem de milímetros proporcionando uma superfície muito áspera. As irregularidades dessa formação são da ordem de alguns décimos de milímetro e, por conseguinte, influenciam no aumento da rugosidade. Finalmente, as rochas de origem aluvionares sofrem um polimento da superfície no seu processo de intemperismo, o que proporciona uma superfície lisa e arestas arredondadas pelo transporte dos sedimentos (TOURENQ, 1971).

Também existem outros fatores que influenciam a macrotextura da camada de revestimento, como por exemplo, a granulometria e a orientação dos agregados dentro da mistura em relação ao tráfego passante, principalmente no primeiro ano de abertura ao tráfego (IBRAHIM, 2005; KANE *et al.*, 2013). A partir de um monitoramento de estradas no Reino Unido, foi possível observar a variação da macrotextura durante três anos. A macrotextura foi avaliada pelo ensaio de Mancha de Areia (Tabela 10) (BACKMAN E HOBEDA, 1984).

Tabela 10 – Resultados das medições de textura utilizando o método da Mancha de Areia

Agregados da área de teste	Profundidade da textura pela mancha de areia (mm)			
	1979 (maio)	1980 (maio)	1981 (março)	1981 (julho)
1 Quartzito	4,12	2,21	1,84	1,37
2 Cascalho com teor de pórfiro	3,64	1,97	1,56	1,21
3 Cascalho com teor de granito	3,97	1,52	0,83	0,73
4 Diabásio	3,57	1,57	0,92	0,82
5 Cascalho com teor de gnaiss	3,5	1,24	0,69	0,6
6 Gnaisses com teor de mica	3,47	1,21	0,55	0,5
7 Anfibolito	3,25	0,71	0,4	0,34

Fonte: Adaptado de Backman e Hobeda (1984)

Tabela 10 – Resultados das medições de textura utilizando o método da Mancha de Areia (continuação)

Agregados da área de teste	Profundidade da textura pela mancha de areia (mm)			
	1979 (maio)	1980 (maio)	1981 (março)	1981 (julho)
8 Diorito (formato cúbico)	3,97	1,24	0,53	0,46
9 Diorito (formato normal)	3,55	1,02	0,47	0,41
10 Diorito (formato lamelar)	2,95	0,97	0,42	0,37
11 Granito (formato cúbico)	4,36	1,49	0,67	0,62
12 Granito (formato normal)	3,85	1,59	0,99	0,78
13 Granito (formato lamelar)	3,53	1,62	1,02	0,82

Fonte: Adaptado de Backman e Hobeda (1984)

Na Tabela 10, verifica-se uma diminuição da macrotextura ao longo do tempo. Ao comparar a macrotextura no ano de abertura ao tráfego (maio de 1979) com os demais, observa-se que essa diminuição ocorre mais proeminentemente no primeiro ano após a abertura, e em menor grau nos anos seguintes (BACKMAN E HOBEDA, 1984).

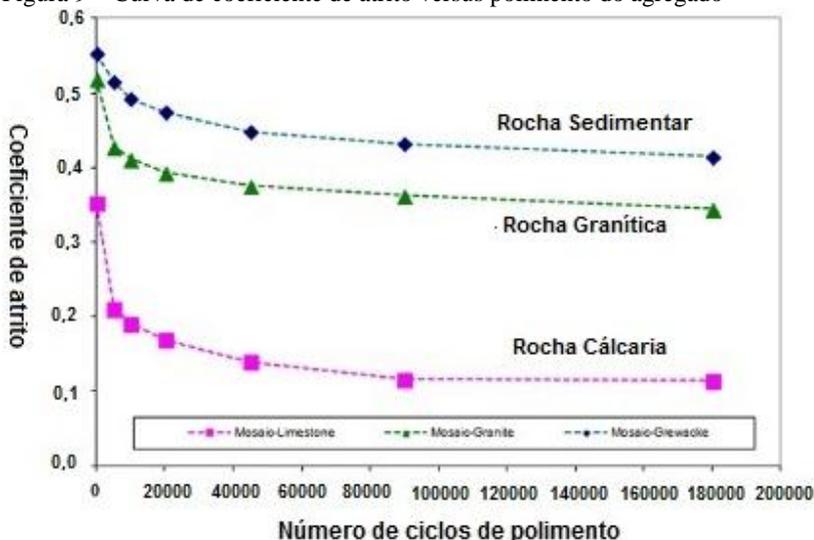
O basalto é o tipo mais comum de rocha ígnea que contém um baixo teor de quartzo e feldspato em volume. Alguns tipos de agregados de basalto ricos em albita em sua composição mineralógica geralmente apresentam um maior desempenho da aderência devido ao seu duro material de cimentação. No entanto, ao longo do tempo possui uma tendência à diminuição dessa resistência à derrapagem (DOOKEERAM *et al.*, 2014).

De acordo com o estudo de Kane *et al.* (2013), ao avaliar a evolução do coeficiente de atrito versus ciclos de polimento para três amostras de agregados e quatro misturas asfálticas, observaram a presença de duas fases. Na primeira fase, o coeficiente de atrito aumenta ao máximo, devido à remoção da película do ligante que mascara a microtextura de agregados. A duração desta fase depende do tipo de ligante e a sua aderência sobre a superfície dos agregados, bem como da atuação do tráfego. Na segunda fase, o coeficiente de atrito sofre, inicialmente, uma diminuição, e depois estabiliza. Isso ocorre por causa da retirada da camada protetora proporcionada pelo ligante e o efetivo polimento da microtextura do agregado. Verificaram que os valores do coeficiente de atrito nesta segunda fase são próximos, ou seja, independente do tipo de agregado e de mistura asfáltica, todas as

misturas apresentam o mesmo comportamento de diminuir o coeficiente de atrito com o aumento dos ciclos de polimento.

Na Figura 9 está apresentado um gráfico do coeficiente de atrito de três tipos de agregados (rocha sedimentar, rocha granítica e rocha calcária) em função do desgaste ao polimento. A partir dessas curvas, verifica-se a evidência das duas fases mencionadas anteriormente (KANE *et al.*, 2013).

Figura 9 – Curva de coeficiente de atrito versus polimento do agregado



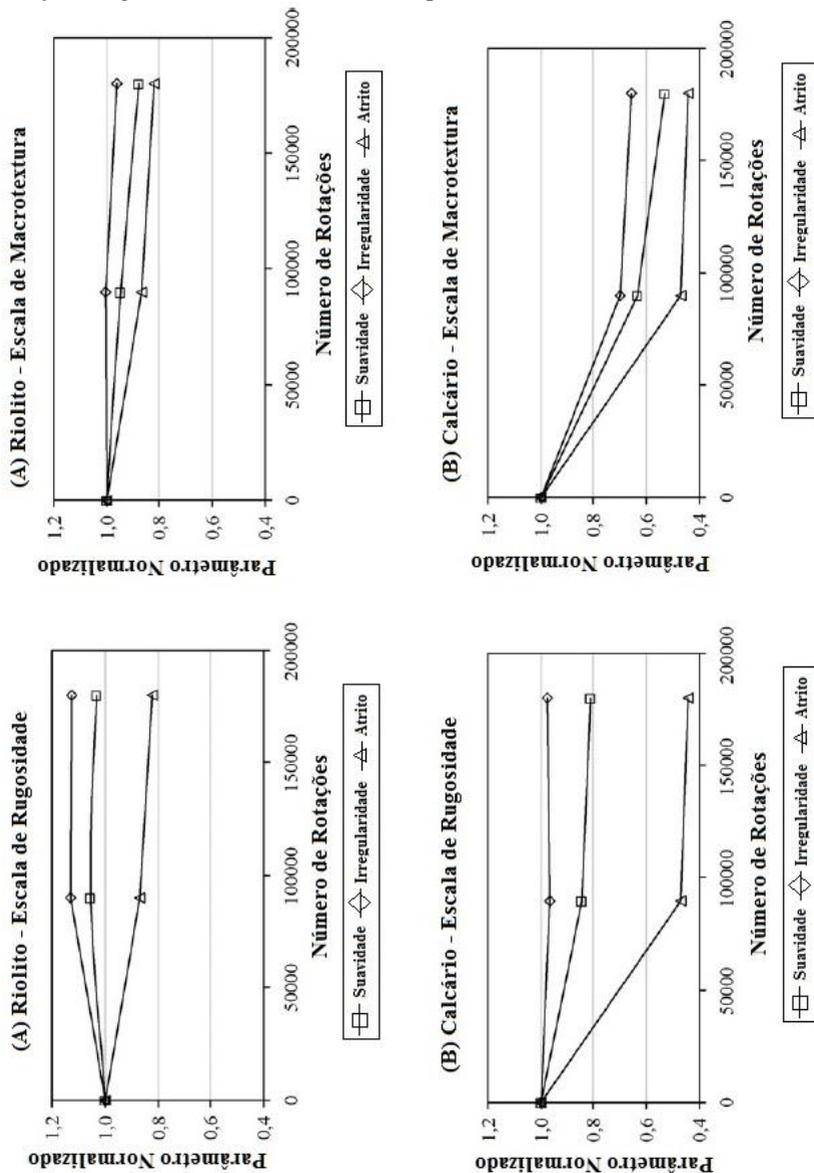
Fonte: Adaptado de Kane *et al.* (2013)

### Fragmentação dos agregados

O impacto causado pela passagem de veículos pesados na superfície da camada de rolamento provoca a fragmentação dos agregados graúdos, e esse processo pode ser acelerado pela utilização de pneus com ranhuras (DOOKEERAM *et al.*, 2014). Depois da fragmentação desses agregados, começa a ocorrer lentamente o desprendimento deles, necessitando atenção especial para esses casos. A utilização de ligantes mais duros pode auxiliar na limitação dessa quebra. Assim, os ensaios de abrasividade ou fragmentação dinâmica devem ser realizados para classificar o agregado quanto à sua sensibilidade a choques (TOURENQ, 1971).

Um estudo de Do *et al.* (2009) avaliou dois tipos de misturas asfálticas com agregados diferentes, denominadas de A e B, utilizando respectivamente Riolito (rocha ígnea) e Calcário (rocha sedimentar). O estudo mostrou que a ação do polimento afeta de forma diferente os dois tipos de agregados (Figura 10) (DO *et al.*, 2009). O agregado A é afetado principalmente na macrotextura, enquanto o agregado B é afetado nos dois parâmetros (macrotextura e rugosidade). Isso ocorre, pois o agregado A é composto de vários tipos de minerais, o que ocasiona um desgaste diferencial na superfície, e o agregado B é composto por minerais de calcita, o que proporciona um desgaste uniforme na superfície (DO *et al.*, 2009).

Figura 10 – Variação dos parâmetros de superfície para agregados "A" e "B" em relação à rugosidade e macrotextura da superfície



Fonte: Adaptado de DO *et al.* (2009)

## 2.4.2 - Curva granulométrica

A distribuição granulométrica é uma das características marcantes que influenciam a macrotextura do pavimento (APS, 2006; BERNUCCI *et al.*, 2008).

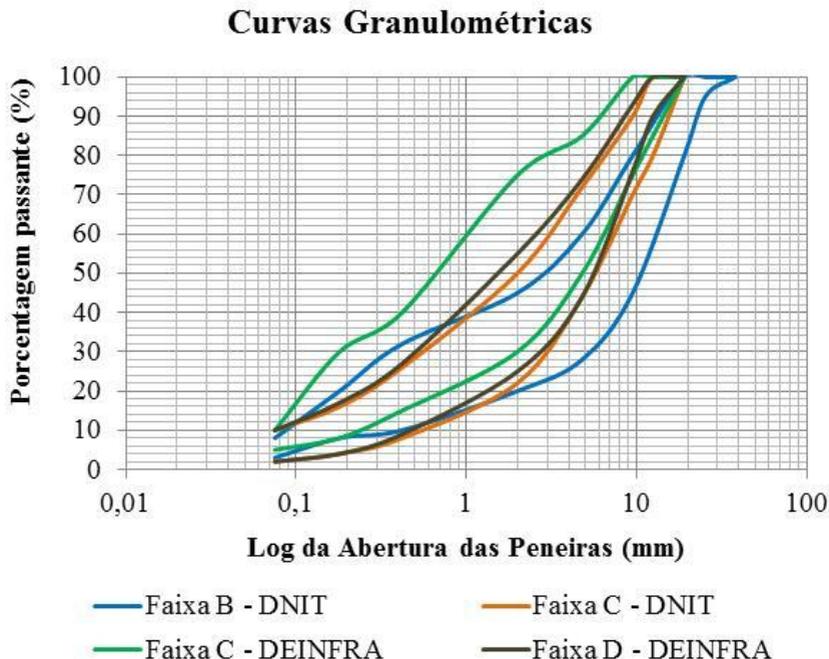
Os tipos de curvas granulométricas mais empregadas no Brasil são as granulometrias densas, graduação aberta e graduação descontínua. Estas granulometrias vão propiciar diferentes valores de macrotextura, e, portanto, afetando a aderência pneu-pavimento. Além disso, dentro de uma mesma faixa, a variação da granulometria pode também afetar a macrotextura da superfície.

Quanto ao tamanho, os agregados são classificados da seguinte forma:

- agregado graúdo é o material retido no peneiro nº 4 (4,7 mm), britas, cascalhos e seixo;
- agregado miúdo é o material que passa no peneiro nº 4 (4,7 mm) e fica retido na peneira nº 200 (0,075 mm), pó de pedra, areia.

Na Figura 11 estão apresentadas algumas faixas granulométricas utilizadas no Brasil e em Santa Catarina.

Figura 11 – Comparação das curvas granulométricas do DNIT (ES 031/2006) e DEINFRA (ES-P-05/92)



Fonte: BRASIL, 2006; DEINFRA, 92.

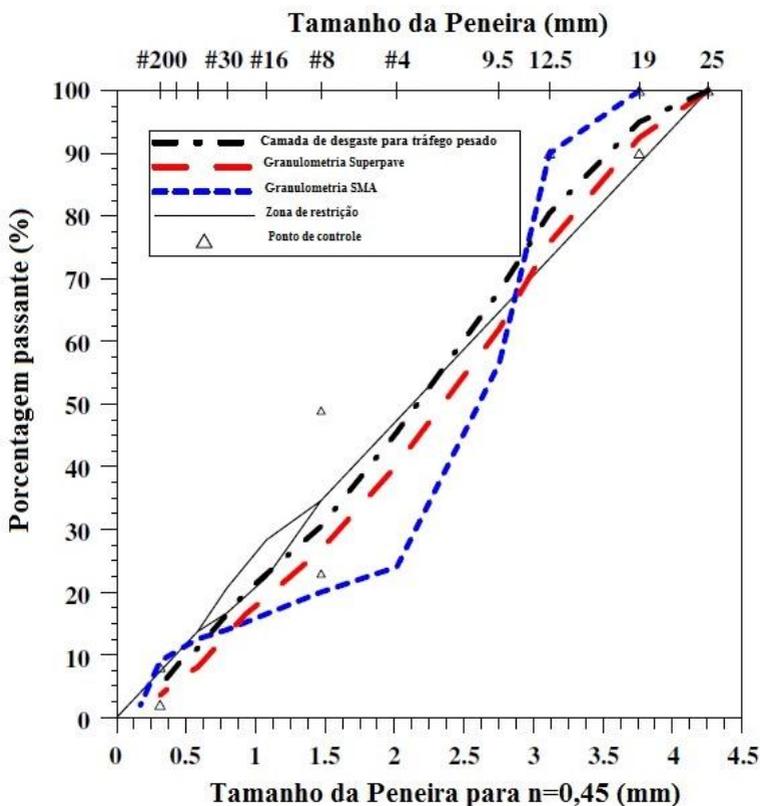
### Avaliação da aderência em função da granulometria

Ibrahim (2005) avaliou a aderência de seis diferentes misturas com granulometria e teor de ligantes diferentes (Figura 15). As misturas possuem as seguintes características:

- Marshall: mistura de concreto asfáltico baseada na curva granulométrica para tráfico pesado, com agregado a base de rocha calcária com teor de ligante de 5,4%, definido pelo teor ótimo do Método Marshall;
- Marshall + 0,5%: mesma mistura de concreto asfáltico, porém com um teor de ligante de 5,9%;
- Marshall + 1,0%: mesma mistura de concreto asfáltico, porém com um teor de ligante de 6,4%;

- Superpave: mistura de concreto asfáltico, baseado na curva granulométrica estabelecida pela Superpave, com agregado a base de rocha calcária com teor de ligante de 5,4%;
- Superpave – 30% escória: mistura de concreto asfáltico, baseado na granulometria estabelecida pela Superpave, com agregado a base de rocha calcária com teor de ligante de 5,4% com substituição de 30% de material calcário por escória de aço;
- SMA: mistura de concreto asfáltico, seguindo requisitos das normas da *Federal Highway Administration – FHWA* para misturas SMA com teor de ligante de 6,9%.

Figura 12 – Gradações granulométricas utilizadas para as diferentes misturas de concreto asfáltico



Fonte: Adaptado de Ibrahim (2005)

Em laboratório, para cada mistura asfáltica Ibrahim (2005) realizou duas amostras e coletou os dados referentes à resistência à derrapagem, obtendo cinco valores de cada amostra (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores de BPN obtidos para as diferentes misturas

Número das análises	Número das amostras	Marshall	Marshall +0,5%	Marshall +1,0%	Superpave	SMA	30% Escória
1	1	92	84	77	100	93	102
	2	89	80	71	110	90	97
	3	97	77	70	97	90	100
	4	100	80	73	93	96	100
	5	80	81	75	92	94	100
2	1	80	82	72	90	94	100
	2	80	83	77	90	92	99
	3	85	84	70	98	93	99
	4	82	82	77	95	92	99
	5	87	80	77	92	90	100
Média		87,2	81,3	73,9	95,7	92,4	99,6
Desvio Padrão		7,3	2,2	3,0	6,1	2,0	3,0

Fonte: Adaptado de Ibrahim (2005)

A partir da Tabela 11, observa-se que para as amostras elaboradas pelo método Marshall os valores de BPN diminuem com o aumento do teor de ligante asfáltico. Nota-se, também, uma superioridade das amostras elaboradas de acordo com o procedimento Superpave, que apresentaram melhor desempenho na resistência à derrapagem do que as amostras Marshall e SMA (IBRAHIM, 2005).

O alto teor de ligantes (6,9%) das amostras elaboradas com misturas SMA pode ter proporcionando uma película de ligante mais espessa de envolvimento dos agregados, sendo este o principal motivo dos baixos valores de BPN (IBRAHIM, 2005). No entanto, o desempenho de misturas SMA em campo mostram elevados valores referentes à aderência pneu-pavimento (BROWN *et al.*, 1997; IBRAHIM, 2005).

### 2.4.3 - Influência da temperatura na macrotextura do pavimento

Para avaliar os efeitos da temperatura na aderência do pavimento, existem basicamente quatro fatores: temperatura do ar, da água, do pneu e temperatura pavimento (KHASAWNEH e LIANG, 2012). Esses fatores relacionados são parcialmente responsáveis por variações

sazonais nas propriedades de aderência pneu-pavimento (FLINTSCH *et al.*, 2005).

A tendência geral mostra que os valores de resistência à derrapagem são maiores no outono e inverno e menores durante a primavera e verão, seguindo um padrão sinusoidal cíclico ao longo do ano (WILSON e DUNN, 2005).

Essa variabilidade da aderência pneu-pavimento ao longo do ano pode atingir cerca de 30% em relação ao valor médio. No entanto, não há um acordo geral sobre a magnitude destes efeitos (TNZ, 2002; MASSAD *et al.*, 2009; VAIANA *et al.*, 2012). Contudo, alguns países para efeito de execução do ensaio, desprezam o efeito da temperatura na medição desses parâmetros, uma vez que acreditam que a temperatura do ensaio é regulada pela água aspergida na área de contato entre o pneu-pavimento. Desta forma a variação dos resultados são de pequena magnitude quando comparada com a variabilidade natural da estrada teste e pneus (DO e ROE, 2008).

Segundo Loung (2012), o aumento da temperatura da superfície não leva necessariamente a uma variação da profundidade de textura do pavimento. Entretanto, não se pode desprezar o efeito de dilatação do ligante em função do seu tipo, cor e idade do pavimento, pois com o aumento da temperatura podem ocorrer pequenas oscilações. Mesmo que a temperatura não influencie significativamente na macrotextura do pavimento, deve-se levar em consideração o efeito que a temperatura causa no comportamento dos pneus, devido à natureza de borracha visco elástico. Esse efeito está relacionado com o fato de que o atrito gerado entre superfícies de material do tipo borracha geralmente diminui com o aumento da temperatura.

O efeito da temperatura sobre o atrito é um dos parâmetros responsáveis por variações sazonais nas medições de atrito (FUENTES *et al.*, 2009). A influência do aumento da temperatura da água e do pneu na redução do atrito pode ser atribuída às alterações nas propriedades de rigidez do ligante e da borracha, bem como as alterações na viscosidade da água (KHASAWNEH e LIANG, 2012).

#### **2.4.4 - Influência do pneu no fenômeno da aderência**

Quando se considera o atrito em superfícies de pavimento, um fator importante é a banda de rodagem do pneu, pois dependendo do desenho da banda do pneu, este pode proporcionar um sistema de drenagem para evacuar a película de água da pista, tendo assim, a

mesma importância da profundidade de macrotextura do pavimento (FUENTES, 2009).

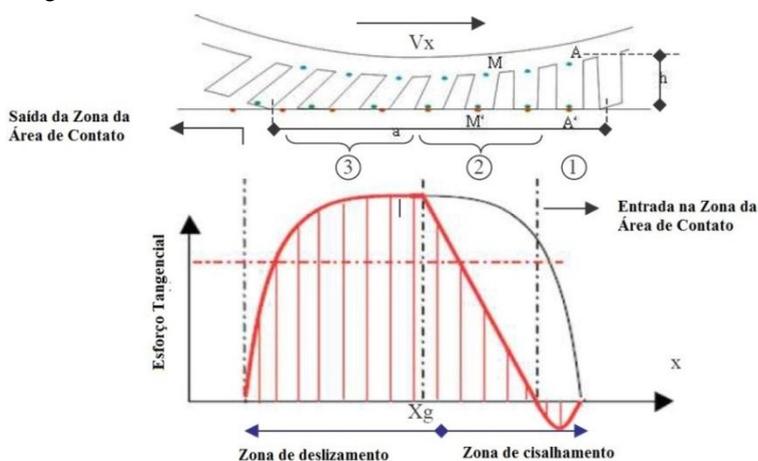
A rugosidade do pavimento atua sobre o potencial de deformação da banda de rodagem do pneu, e, por consequência, sobre a parcela de atrito de histerese (PASQUET e BERTHIER, 1966 *apud* MOMM, 1998).

Na passagem do pneu sobre a superfície áspera do revestimento, ocorre uma deformação, cujo tamanho varia de centímetros a micrômetros (FUENTES, 2009). Quando a borracha encosta na superfície áspera ela se deforma. Porém, não retorna imediatamente à altura inicial devido à assimetria da superfície rugosa, gerando, dessa forma, forças opostas ao deslizamento (de reação  $F_x$ ) (HAMLAT, 2007).

No caso de frenagem, o contato entre os sulcos e a superfície do pneu pode ser demonstrado em três passos (HAMLAT, 2007):

- Primeira Etapa: a superfície do pneu entra em contato com a superfície do pavimento por meio de um deslocamento conhecido;
- Segunda Etapa: ocorrência de uma deformação elástica lateral que cria uma tensão proporcional à força tangencial;
- Terceira Etapa: quando essa força exceder o limite de aderência os sulcos começam a voltar até a altura inicial.

Figura 13 – Cisalhamento do deslizamento na área de contato na condição de frenagem



Fonte: Adaptado de Hamlat (2007)

A área real de contato pneu-pavimento depende da carga, granulometria e comportamento reológico da borracha do pneu (HAMLAT, 2007; FUENTES, 2009). Este último fator, está diretamente relacionado com a rigidez da borracha que compõe o pneu. Por isso, as características de resistência ao deslizamento do pneu estão relacionadas diretamente com sua pressão de inflação. Nesse contexto, observa-se que os pneus com baixa pressão de insuflagem apresentam uma maior resistência ao deslizamento (FUENTES, 2009).

#### **2.4.5 - Teor de ligante**

Vários estudos mostram que a utilização de ligantes modificados com certos tipos de polímeros em misturas asfálticas resulta em superfícies com agregados que permanecem revestidos por um tempo maior quando comparado com um ligante não modificado durante o início da vida útil do pavimento (VAIANA *et al.*, 2012; MASSAD *et al.*, 2009).

Segundo Aps (2006), o tipo ligante afeta pouco a textura do pavimento, e, portanto, considera-se indireta sua influência na resistência à aderência. Ao longo do tempo, com a ação das intempéries, passagem do tráfego e envelhecimento do ligante, pode ocorrer o desprendimento de agregados da mistura, chamados de defeitos por desgaste da superfície, tendo como consequência a alteração da textura superficial (APS, 2006; VAIANA *et al.*, 2012).

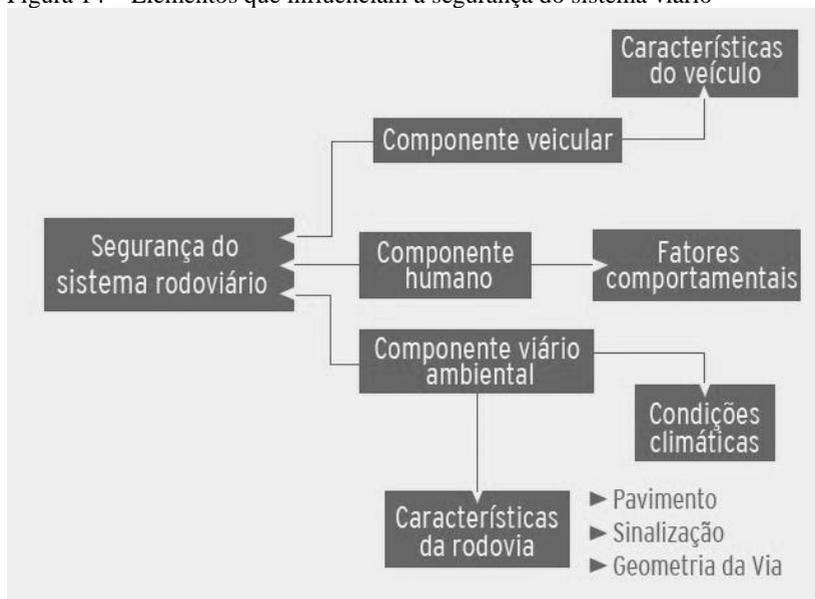
De acordo com Rodrigues (2013), o teor de ligante, quando em excesso, pode influenciar na aderência pneu-pavimento. O excesso de ligante tende a provocar a migração tanto de finos quanto do ligante para a superfície durante o processo de densificação pelo tráfego. A presença de finos e de ligante reduz a microtextura, o que diminui o potencial das arestas do agregado de romper a película d'água na interface pneu-pavimento.

## 2.5 - INFLUÊNCIA DA TEXTURA DO PAVIMENTO NA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

### 2.5.1 - Fatores contribuintes para ocorrência de acidentes rodoviários

Ao analisar de forma criteriosa um acidente viário é provável que as causas estejam associadas a um ou mais componentes (Figura 14), e de um modo geral, eles ocorrem devido à combinação de diversos fatores (MOMM, 1998; MATTOS, 2009; CNT, 2014).

Figura 14 – Elementos que influenciam a segurança do sistema viário



Fonte: CNT (2014)

As características operacionais e funcionais da rodovia afetam diretamente o usuário da via, na forma de conforto ao rolamento, tempo de viagem e segurança (MOMM, 1998; SILVA, 2008; RODRIGUES, 2013).

A literatura evidencia que muitos departamentos de transportes nos Estados Unidos da América (EUA) reconhecem a importância de manter uma adequada aderência pneu-pavimento para garantir a segurança do usuário, principalmente em condições de chuva

(RIZENBERGS *et al.*, 1977; LINDENMANN, 2004; PARDILLO e PINA, 2009). Por isso, têm sido empreendidos esforços para incorporar o gerenciamento de aderência pneu-pavimento nos processos de tomada de decisão da manutenção do pavimento, especialmente no que diz respeito aos programas de redução de acidentes em condições de chuva (WU *et al.*, 2014).

Levando em consideração que a aderência pneu-pavimento possa ser um parâmetro chave, deve-se procurar materiais e formulações de misturas asfálticas que assegurem um nível satisfatório de atrito, evitando o deslizamento de veículos, principalmente sobre pavimentos molhados. Também é importante monitorar esse parâmetro na rodovia ao longo do tempo para verificar se este valor é satisfatório, evitando a ocorrência de acidentes devido à sua má conservação, e para que se possam estabelecer programações de manutenção (WUTTKE, 2003).

De maneira geral, a aderência pneu-pavimento pode ser caracterizada a partir do *IFI*, que integra o atrito e a macrotextura da superfície do pavimento (PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

No setor aeroportuário a causa principal dos acidentes, ou pelo menos um fator contribuinte se deve às características da infraestrutura da pista no que se refere às condições de atrito e eficácia de frenagem da aeronave (BOEING, 2008).

Nesse contexto, evidencia-se a importância da fase de concepção da mistura asfáltica não só no aspecto da caracterização volumétrica e mecânica da mesma, mas também com relação à previsão do seu desempenho perante a aderência pneu-pavimento, o que vem sendo ainda pouco explorado no Brasil (PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

## **2.5.2 - Acidentes Rodoviários**

No mundo, aproximadamente 1,2 milhão de pessoas morrem vítimas dos acidentes de trânsito a cada ano e mais de 90% dessas mortes ocorrem em países de baixa e média renda. A OMS estima que as perdas anuais devido aos acidentes de trânsito ultrapassem US\$ 100 bilhões por ano, que equivalem cerca de 3% do PIB (WHO, 2015).

Os acidentes que ocorrem em rodovias são eventos complexos, resultado de um ou mais fatores contribuintes. Esses fatores podem estar associados a três principais categorias: ao motorista, ao veículo e as condições da rodovia (NODARI, 2003; RODRIGUES, 2013). No entanto, os órgãos rodoviários podem apenas controlar as questões relacionadas à estrada, o que pode ser realizado através do

desenvolvimento e administração eficaz do projeto, construção, práticas de manutenção e políticas de gestão (NCHRP, 2009).

Mesmo que estejam envolvidos múltiplos fatores na ocorrência de um acidente, investigações apontam uma ligação entre condições e características da superfície do pavimento, tais como o atrito e textura (MOMM, 1998; NODARI, 2003; SILVA, 2008; RODRIGUES, 2013). Dessa forma surge a necessidade da compreensão desses fatores para que os engenheiros possam desenvolver soluções eficazes para situações potencialmente perigosas (NCHRP, 2009).

Segundo Cairney (2006), a aderência pneu-pavimento depende fundamentalmente de dois mecanismos: aderência e histerese. A aderência é um mecanismo químico e físico da interação entre o agregado do pavimento e a borracha do pneu enquanto a histerese está vinculada a deformação e recuperação do pneu quando passa sobre as projeções e depressões na superfície de estrada, dependendo, portanto, de macrotextura. Dessa forma, para que esses dois mecanismos ocorram, as irregularidades na superfície do pavimento devem permanecer na faixa de 0,05 mm a 50mm.

A relação entre o atrito e a taxa de acidentes certamente não é um problema de fácil explicação. A sua complexidade é particularmente acentuada na estação chuvosa e também é influenciada pelas questões construtivas e de uso da rodovia, fazendo com que estradas com misturas asfálticas semelhantes possuam valores de atrito bem diferenciados. Portanto, observa-se que a aderência pneu-pavimento é muito mais estável quando a pista está seca (WALLMAN e ASTRÖM, 2001).

Acidentes em tempo chuvoso causados pela falta de aderência pneu-pavimento, ou ocorrência de hidroplanagem, têm gerado uma grande preocupação entre pesquisadores e engenheiros. No entanto, é difícil quantificar a relação exata entre os acidentes ocorridos em condições chuvosas e a aderência pneu-pavimento. Devido às complexas interações entre o pneu, o fluido e a superfície do pavimento, muitas pesquisas utilizando métodos empíricos mostram que o número de acidentes em tempo chuvoso aumenta conforme há uma diminuição na aderência do pavimento, considerando o mesmo volume de tráfego e velocidade (ONG, 2007; NCHRP, 2009).

Quando existe água na pista, há um impedimento ou diminuição da aderência entre o pneu e a superfície de rolamento. Isso varia de acordo com a microtextura, ou seja, as irregularidades menores que 0,5 mm de altura são características inerentes ao tipo de agregado utilizado na mistura. Quanto maior a microtextura, melhor será o desempenho da

aderência entre pneu-pavimento, pois se torna mais fácil a quebra da película de água formada na superfície de rolamento com a passagem do pneu (CAIRNEY, 2006).

Wallman e Aström (2001) fizeram medidas de atrito nas rodovias de alguns países nórdicos (Suécia, Noruega e Finlândia). Juntos avaliaram a taxa de acidentes para diferentes condições das estradas (Tabela 12), e também dividiram em intervalos de atrito, de acordo com os resultados obtidos pelo *Grip Tester*, as taxas de ocorrência de acidentes (Tabela 13).

Tabela 12 – Taxa de acidentes para diferentes condições da rodovia (acidentes com ferimentos por milhão de veículos por quilômetro)

Condição da rodovia	Taxa de Acidente
seca (inverno)	0,12
molhada (inverno)	0,16
película de água	0,18
neve solta	0,30
gelo	0,53
geadas	0,53
flocos de neve	0,31
pneu sem sulcos	0,12
gelo nos sulcos do pneu	0,30
seca (verão)	0,14
molhada (verão)	0,18

Fonte: Adaptado de Wallman e Aström (2001)

Tabela 13 – Taxa de acidentes para diferentes intervalos de atrito (acidentes com ferimentos por milhão de veículos por quilômetro)

Intervalo de Coeficiente de atrito	Taxa de Acidente
< 0,15	0,80
0,15 – 0,24	0,55
0,25 – 0,34	0,25
0,35 – 0,44	0,20

Fonte: Adaptado de Wallman e Aström (2001)

A partir das Tabela 12 e Tabela 13, observa-se que as taxas de acidentes que ocorrem no inverno variam bastante. Entretanto, apontam

um maior risco quando a pista não se encontra seca (WALLMAN e ASTRÖM, 2001).

Em alguns casos, a baixa aderência pode ser solucionada pela execução de *grooving* ou adoção de um sistema de limpeza de alta pressão da pista. No entanto, o mais usual é a execução de um tratamento superficial. A Tabela 14 apresenta dados sobre a taxa redução do número de acidentes com a execução de um tratamento superficial em três rodovias australianas (CAIRNEY, 2006).

Tabela 14 – Taxa de acidentes com o pavimento molhado e seco antes e depois da execução do tratamento superficial

Estudo	Redução de Acidentes em pavimentos molhados (%)	Redução de Acidentes em pavimentos secos (%)	Redução de Acidentes em pavimentos molhados em relação ao total de acidentes (%)	Redução de Acidentes em pavimentos secos em relação ao total de acidentes (%)
Miller e Johnson (1973)	63	28	12,6	22,4
Kamel e Gartshore (1986)	71	21	14,2	16,8
Visser et. al. (1974)				
Interseções	68	16 (aumento)	13,6	12,8 (aumento)
Autoestrada	54	16	10,8	12,8

Fonte: Adaptado de Cairney (2006)

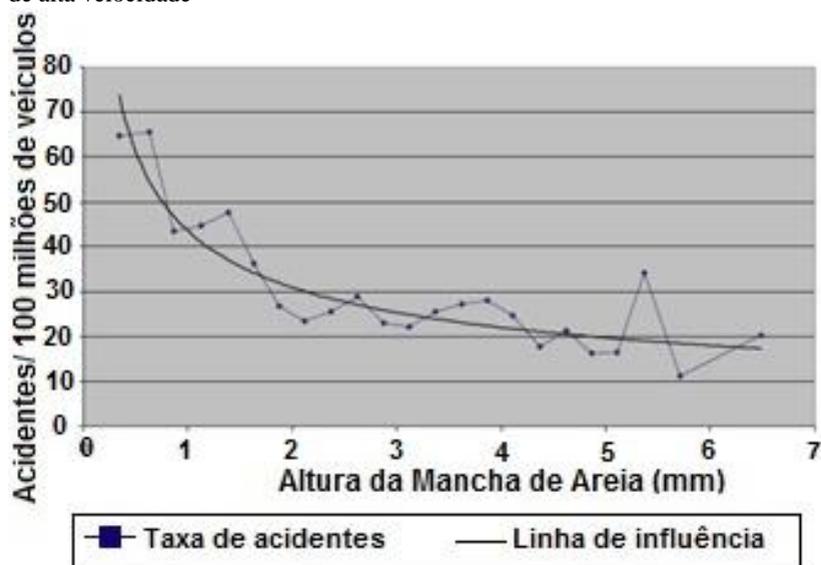
A partir dos dados apresentados na Tabela 14, percebe-se que o uso de tratamento superficial reduziu consideravelmente as taxas de acidentes na condição mais crítica da superfície do pavimento, ou seja, quando ele se encontra molhado.

Estudos realizados na França mostraram que a deficiência da aderência pneu-pavimento foi a responsável direta por 7% dos acidentes rodoviários ocorridos no país. Cerca de 2% destes acidentes poderiam ter sido evitados caso as rodovias possuíssem valores mínimos de coeficientes de atrito longitudinal (0,4 à velocidade de 50 km/h com rodas bloqueadas e pneus lisos) (FERREIRA, 2002 *apud* PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

No estado de Vitória na Austrália, Cairney e Bennett (2008) coletaram dados das condições de superfície, como rugosidade e

macrotextura (expressa em unidade de profundidade da Mancha de Areia), utilizando um perfilômetro multi-laser, e os relacionaram com geometria, tráfego e acidentes de tráfego utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG. Com isso, foi possível analisar a relação entre características de superfície da rodovia com acidentes de tráfego (Figura 15). Ainda que as características da superfície tenham mostrado pouca ou nenhuma correlação com as demais variáveis, os autores citam que as taxas de acidentes foram mais altas para seções de rodovia com baixa macrotextura (CAIRNEY e BENNET, 2008).

Figura 15 – Relação entre macrotextura e taxas de acidentes para rodovias rurais de alta velocidade



Fonte: Adaptado de Cairney e Bennett (2008)

Na Figura 15 percebe-se que a taxa de acidentes diminui quando há melhora na resistência à derrapagem, que está associada a parâmetros de macrotextura maiores que 1,8mm. Segundo Cairney e Bennett (2008), é possível correlacionar as variáveis de macrotextura e taxa de acidentes, e, essa correlação pode ser expressa pelo seguinte modelo:

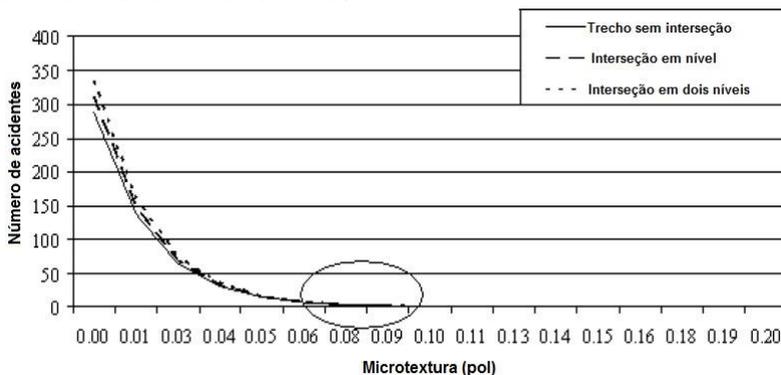
$$\text{Taxa de acidentes} = 43,44 * x^{-0,4924} \quad (14)$$

Onde:

x = macrotextura, em unidades de SPTD (mm).

No estado da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, foram computados mais de 220 mil acidentes rodoviários por ano no período de 2005 a 2007. Um estudo baseado em técnicas estatísticas e analíticas estabeleceu uma relação entre macrotextura e acidentes ocorridos nessas rodovias. O estudo mostrou que a frequência de acidentes é maior quando a superfície do pavimento apresenta uma baixa macrotextura (Figura 16) (PULUGURTHA, 2008).

Figura 16 – Análise do número de acidentes em relação à macrotextura das rodovias na Carolina do Norte – EUA



Fonte: Adaptado de Pulugurtha (2008)

No Brasil, foram analisados os principais trechos de ocorrência de acidentes em rodovias de Pernambuco – PE (BR-101) e da Paraíba – PA (BR-230), para avaliar a aderência pneu-pavimento por meio dos ensaios de Mancha de Areia e Pêndulo Britânico. Nesses trechos, os valores obtidos com o Pêndulo Britânico mostraram que dos 36 pontos analisados, 28 estavam abaixo do limite mínimo de segurança indicado pelo DNIT, ou seja, aproximadamente 78% dos pontos apresentavam resultados abaixo do mínimo exigido para a medida de atrito do pavimento ( $VRD > 55$  BPN) (PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

A caracterização das rodovias BR-101/PE e BR-230/PA em relação ao *IFI* apontaram que 18 pontos avaliados (equivalentes à metade dos pontos analisados) ficaram com classificação entre: muito bom, bom e ótimo. A metade restante foi classificada como regular ou muito ruim. Considerando que o *IFI* é calculado a partir de medidas de atrito e textura, em alguns casos, mesmo uma destas medidas apresentando valores abaixo do recomendado, o outro fator pode elevar o nível, alterando assim a classificação do *IFI*. A classificação é

alterada principalmente quando os valores das medidas de macrotextura são considerados bons, pois essa tem um peso maior no cálculo do *IFI*. Dessa forma, é importante analisar os dados em conjunto, pois, mesmo que o *IFI* apresente valores dentro do intervalo recomendável, como mencionado anteriormente, um dos parâmetros pode estar abaixo do nível exigido. Nestes casos, é importante que se faça uma avaliação em campo para verificar se as medidas de *IFI* são condizentes com as condições avaliadas na superfície do pavimento (PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

Contudo, ainda existem poucos estudos que contemplam as correlações existentes entre campo e laboratório em relação à aderência pneu-pavimento. Na grande maioria, os revestimentos que são projetados sem a preocupação com este parâmetro, contribuindo para a falta de segurança nas rodovias (PEREIRA<sup>1</sup> *et al.*, 2012).

## 2.6 - COEFICIENTE DE ATRITO EM PROJETOS VIÁRIOS

O atrito é um fator necessário para manter o veículo em sua trajetória, assegurando conforto e segurança ao usuário (ERGUN *et al.*, 2005; CHEN *et al.*, 2008). Por este motivo, é utilizado nas normas nacionais e internacionais de projeto geométrico de estradas e aeroportos (LEE, 2008; SILVA, 2008).

No Brasil, os valores dos coeficientes de atrito estabelecidos para fins de projeto geométrico são os mesmos definidos pela AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) e adotados pelo DNIT. Contudo, para esses valores não é mencionado o tipo de revestimento e a respectiva aderência entre o pneu e pavimento (MOMM e THIVES, 2010).

O atrito é um fator que determina o surgimento de uma tensão de cisalhamento na superfície de contato e a distribuição da carga do veículo, variando de acordo com o movimento que o motorista exerce sobre ele, posicionando-o em linha reta ou na execução de uma curva (VAIANA *et al.*, 2012). Consequentemente, é necessário o monitoramento do nível coeficiente de atrito das superfícies, pois podem ocorrer mudanças ao longo do tempo (ERGUN *et al.*, 2005; CHEN, 2008).

O coeficiente de atrito utilizado nas normas de projeto geométrico difere do conceito puro de coeficiente de atrito da física clássica, pois se trata de um coeficiente de deslizamento lateral, medida que aumenta a velocidade tangencial do veículo (LEE, 2008). Para o cálculo da superelevação e dos raios mínimos das concordâncias

horizontais das curvas para projetos, são utilizados os índices de coeficiente de atrito apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores máximos admissíveis do coeficiente de atrito ( $f$ )

V km/ h	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{\text{máx}}$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais -DNER (1999)

A partir da Tabela 15, observa-se que o coeficiente de atrito utilizado no desenvolvimento de um projeto geométrico de estrada, ocorre em função apenas da velocidade, não considerando as características da superfície do pavimento. Entretanto, o atrito ocorre fisicamente em função da superfície do pavimento e também da velocidade. Por isso, verifica-se que a maior parte das misturas asfálticas aplicadas na rodovia conseguem representar os valores estabelecidos na norma de projeto geométrico (Tabela 15). Isso ocorre porque os valores utilizados nas normas de projeto geométrico são muito baixos em relação aos proporcionados pela superfície dos pavimentos.

Neste contexto, devem ser estabelecidos critérios operacionais para as normas de projeto geométrico no que diz respeito às características do pavimento (CHUNG e SONG, 2014).

### 2.6.1 - Parâmetros Aderência Pneu-Pavimento - DNIT

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006), a principal propriedade do pavimento no que diz respeito à segurança (independentemente de fatores relacionados com as condições em planta, perfil e seção transversal da rodovia) é a sua capacidade de proporcionar a adequada aderência e atrito entre a sua superfície e os pneus dos veículos.

Nas especificações sobre misturas betuminosas do DNIT são considerados dois métodos para avaliação das condições de aderência pneu-pavimento:

- Método da Mancha de Areia – Limite sugerido de  $H_m$ :  $0,6\text{mm} < H_m < 1,2\text{mm}$  – textura superficial grosseira a muito grosseira.

- Método do Pêndulo Britânico – Limite sugerido de VRD (valor de resistência à derrapagem):  $VRD \geq 55$  – Superfície rugosa a muito rugosa.

Conforme o DNIT (BRASIL, 2006), os pavimentos podem ser classificados quanto à avaliação da macrotextura (Tabela 16) e quanto à resistência à derrapagem pelo método do Pêndulo Britânico (Tabela 17), conforme os intervalos apresentados a seguir:

Tabela 16 – Avaliação da macrotextura pelo método da Mancha de Areia

Profundidade média	Textura Superficial
$Hm < 0,20mm$	Muito fina ou muito fechada
$0,20mm < Hm < 0,40mm$	Fina ou fechada
$0,40mm < Hm < 0,80mm$	Média
$0,50mm < Hm < 1,20mm$	Grosseira ou aberta
$Hm > 1,20mm$	Muito grosseira ou aberta

Fonte: DNIT (BRASIL, 2006).

Tabela 17 – Classificação de resistência à derrapagem pelo método do Pêndulo Britânico

Classes	VRD
1 - Perigosa	$<25$
2 - Muito Lisa	25 - 31
3 - Lisa	32 - 39
4 - Insuficientemente rugosa	40 - 46
5 - Medianamente Rugosa	47 - 54
6 - Rugosa	55 - 75
7 - Muito Rugosa	$>75$

Fonte: DNIT (BRASIL, 2006).

## 2.7 - VARIAÇÃO DA ADERÊNCIA AO LONGO DO TEMPO

Em todas as fases da vida útil do pavimento, a superfície de rolamento deve apresentar uma boa aderência para garantir o atrito entre os pneus dos veículos e a superfície do pavimento (IBRAHIM, 2005; VAIANA *et al.*, 2012; GEORGIU e LOIZOS, 2014). Com o passar do tempo ocorre o polimento do agregado e com isso, há a redução da microtextura, resultando no alisamento e arredondamento dos agregados expostos. Esse processo é provocado pelo desgaste de partículas em

escala microscópica e pode resultar na diminuição da aderência pneu-pavimento (HAAS, 1994; IBRAHIM, 2005).

O polimento da camada superficial do concreto asfáltico causado pela ação do tráfego diminui continuamente a aderência pneu-pavimento prejudicando a segurança da rodovia (KANE *et al.*, 2013). Uma das estratégias utilizadas para aumentar a aderência do pavimento ao longo do tempo é a triagem de agregados com alta resistência à abrasão para utilização na camada de rolamento. Isso permite uma economia considerável na vida útil da pista de rolamento (DOOKEERAM *et al.*, 2014).

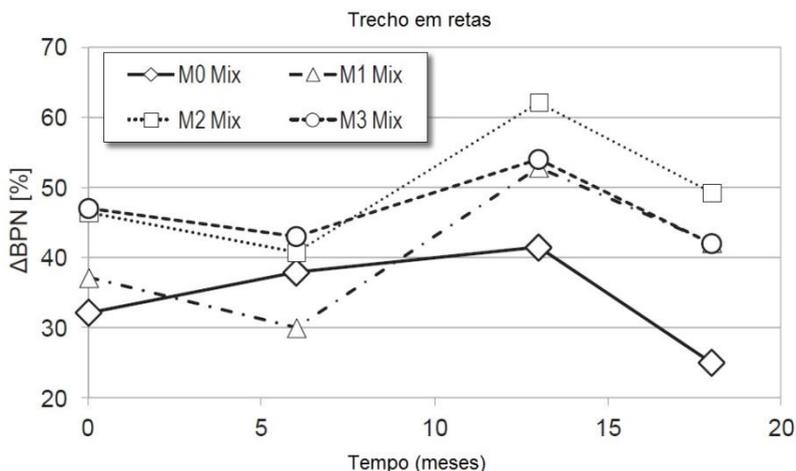
Neste mesmo sentido, Vaiana *et al.* (2012), verificaram a tendência da variação da microtextura e macrotextura ao longo do tempo a partir das misturas betuminosas, de mesma curva granulométrica, porém com diferentes porcentagens de origem mineral dos agregados, conforme as seguintes características:

- Mistura M0: 100% de calcário agregado;
- Mistura M1: 85% de calcário total, 15% agregado basáltico (tamanho do agregado  $d > 5$  mm);
- Mistura M2: 70% de calcário total, 30% agregado basáltico (tamanho do agregado  $d > 5$  mm);
- Mistura M3: 82% de agregados de calcário, 8% de argila expandida (tamanho do agregado 3-11mm).

O teor de ligante utilizado nas misturas M0, M1 e M2 são de 5,5%, porém na mistura M3 foi de 8%.

Na Figura 17, percebe-se que a microtextura, após cerca de 6 meses da atuação do tráfego, começa a aumentar devido à remoção do ligante que promove a exposição das arestas dos agregados na superfície do pavimento. Entretanto, após os 13 meses de abertura ao tráfego ocorrem uma diminuição da microtextura devido o desgaste excessivo dos agregados.

Figura 17 – Tendências de evolução microtextura para trechos retos



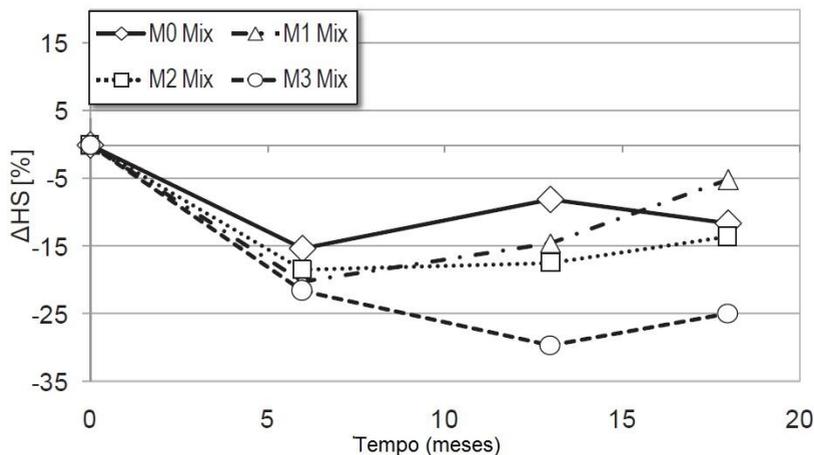
Fonte: Adaptado de Vaiana *et al.* (2012).

Verifica-se, também, uma diferença entre os valores de BPN entre as misturas. Por exemplo, as misturas M2 e M3, que possuem menores porcentagens de rocha calcária na sua composição, apresentam maiores valores de microtexturas em relação às demais, principalmente em relação a M0 que tem 100% de rochas calcárias em sua mistura. Essa tendência era esperada, uma vez que as rochas calcárias são de origem sedimentar, por isso apresentam um maior desgaste ao polimento em relação às rochas basálticas (VAIANA *et al.*, 2012).

Outro fator importante a ressaltar é que os valores de BPN são positivamente correlacionados com a magnitude da superfície de contato pneu-pavimento. Portanto, quanto maiores esses valores, melhor será a aderência pneu-pavimento, e por consequência, proporcionará uma maior segurança viária ao usuário.

A Figura 18 apresenta as curvas de tendência da evolução da macrotextura para as misturas, M0, M1, M2 e M3, analisadas por Vaiana *et al.*, (2012).

Figura 18 – Tendências de evolução macrotextura para trechos retos  
Trecho em Retas



Fonte: Adaptado de Vaiana *et al.* (2012).

No que diz respeito à evolução da macrotextura ao longo do tempo para as misturas estudadas por Vaiana *et al.*, (2012), pode-se inferir que há uma diminuição da macrotextura no início da vida útil do pavimento (até 6 meses). Essa diminuição inicial é devido ao fenômeno de migração do ligante presente no interior dos espaços vazios da mistura para superfície. Esse fenômeno está relacionado ao efeito de pós-compactação do pavimento devido ao carregamento do tráfego que tem o efeito de reduzir a profundidade da textura (DO *et al.*, 2007).

Entretanto, no caso da mistura M3, a diminuição da macrotextura perdura até os 13 meses após a abertura ao tráfego. Essa diferente tendência, provavelmente ocorre porque essa mistura apresenta um teor de ligante maior que as demais, o que contribui para obstruir os espaços vazios por um tempo maior que as outras misturas. Neste caso, a macrotextura começa a aumentar aproximadamente treze meses após a execução do pavimento (VAIANA *et al.*, 2012).

Fwa (2003), realizou ensaios de microtextura com o Pêndulo Britânico em superfícies de misturas asfálticas de Cingapura, compostas por granito ou escória de alto forno. Para simular o desgaste da superfície ao longo do tempo, foi empregado um tratamento de polimento da superfície em laboratório conforme os padrões estabelecidos pela norma ASTM D3319-00 (FWA *et al.*, 2003).

A Tabela 18 apresenta os resultados dos valores de BPN antes e depois do desgaste da superfície em laboratório para diferentes tipos de granulometrias e agregados.

Tabela 18 – Valores de BPN antes e depois do desgaste da superfície

Tipo de Agregado	Diâmetro máximo do agregado (mm)	Valores de Pêndulo Britânico			
		Antes do polimento		Depois do polimento	
		Seco	Molhado	Seco	Molhado
Escória de aço	2,1	60	46	50	36
	2,96	55	44	52	36
	3,82	56	45	53	35
	5,02	50	44	35	25
	6,3	47	43	30	20
	6,44	49	43	30	23
	9,52	45	40	27	16
	10,38	46	35	27	18
	10,9	41	35	26	19
Granito	2,74	53	35	33	25
	2,82	50	36	34	24
	3,18	52	36	34	25
	5,24	49	36	33	25
	5,32	45	34	32	24
	5,6	45	34	32	24
	10,22	46	33	25	16
	10,5	42	30	27	19
	10,56	45	30	28	20

Fonte: Adaptado de Fwa *et al.* (2003)

Na Tabela 18 nota-se a brusca queda dos valores de BPN depois que a superfície sofreu o polimento, e também se percebe um melhor desempenho das misturas com incrementos de escória de alto forno em relação às misturas apenas com agregados graníticos (FWA *et al.*, 2003).

## 2.8 - MODELO DE DESEMPENHO DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

Atualmente, o projeo da mistura asfáltica, leva em consideração apenas fatores referentes à estabilidade, durabilidade, resistência à fadiga e deformação permanente. Esses parâmetros servem para

caracterizar uma mistura asfáltica e controlar o seu desempenho estrutural (GEORGIOU e LOIZOS, 2014).

Existem alguns fatores que afetam a aderência pneu-pavimento que podem ser divididos basicamente em quatro grupos: tipo de veículos, tipo de pavimento e agregados, tipo de carga da rodovia e fatores ambientais. Entre esses grupos, as autoridades rodoviárias podem desenvolver especificações de materiais e construção que influenciam o segundo grupo (pavimentos e agregados), pois esse grupo influencia diretamente a microtextura e macrotextura da superfície do pavimento (REZAI *et al.*, 2011).

Neste contexto, a mistura asfáltica também deve proporcionar uma segurança viária ao usuário, devendo assim, serem incorporadas as características de microtextura e macrotextura no seu dimensionamento (GEORGIOU e LOIZOS, 2014).

Conseqüentemente, são necessárias especificações para o dimensionamento de misturas asfálticas para previsão do coeficiente de atrito e macrotextura esperados para um determinado intervalo de tempo (ERGUN *et al.*, 2005).

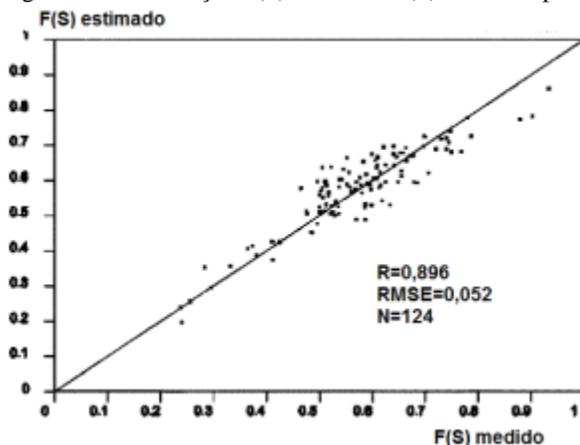
Com o intuito de garantir a segurança das rodovias em relação à aderência pneu-pavimento, têm sido bastante estudado e elaborado modelos para definir o tempo de vida útil da segurança do pavimento (ERGUN *et al.*, 2005; MASAD *et al.*, 2009; MATTOS, 2009; REZAI *et al.*, 2011; RODRIGUES, 2013; GEORGIOU e LOIZOS, 2014). Alguns desses modelos estão descritos a seguir, conforme as variáveis utilizadas.

### **2.8.1 - Previsão do *IFI* a partir de medidas de microtextura e macrotextura**

Ergun *et al* (2005) desenvolveram um modelo para previsão de coeficiente de atrito utilizando somente medidas de microtextura e macrotextura (Figura 19). Para alcançarem o objetivo, foi planejado um programa de testes que envolveu tanto ensaios em laboratório como em campo. Na parte dos ensaios em campo, foram escolhidos 18 segmentos rodoviários de 150m na região de Wallon, na Bélgica, com diferentes tipos de mistura e condições da rodovia. As medições de atrito foram realizadas utilizando o equipamento Odoliograph (velocidades de 20, 30, 40, 50, 60 80, e 90 km/h) e as medições de macrotextura foram realizadas por um Perfilômetro a Laser a uma velocidade de 36 km/h. Em cada segmento foram retiradas seis amostras para testes em

laboratório. A textura das amostras foi avaliada em laboratório por um sistema de análise de imagem, que possibilitava a reprodução das irregularidades da superfície do pavimento.

Figura 19 – Correlação  $F(S)$  medido e  $F(S)$  estimado pelo modelo



Fonte: Adaptado de Ergun *et al.* (2005).

Entretanto, verifica-se que o modelo proposto proporciona uma baixa correlação entre os dados, apresentando uma  $R^2=0,896$ . Sua utilização deve ser feita com cautela, visto a potencial imprecisão dos resultados. De acordo com Ergun *et al.* (2005), esse modelo pode ser utilizado em levantamento de baixo custo a fim de verificar a aderência dos trechos, para posterior estabelecer os trechos que devam ser monitorados ou reparados.

### 2.8.2 - Previsão do IFI em função do coeficiente de atrito dos agregados e da curva granulométrica

O Departamento de Transportes do Texas (TxDOT) e a FHWA elaboraram um modelo para previsão da aderência de uma mistura asfáltica com o objetivo de prever o desempenho da aderência de uma rodovia e adotar medidas corretivas para melhorá-la. O modelo é representado por valores de  $F_{60}$  em função do coeficiente de atrito dos agregados e da curva granulométrica. Neste modelo, foram definidas

equações e coeficientes de acordo com o tipo de mistura, e a partir desses cálculos, foi possível observar a variação de  $F_{60}$ .

Durante a pesquisa realizada, foi medido e analisado o coeficiente de atrito de diferentes tipos de agregados e misturas asfálticas. Para isso, foram moldadas em laboratório várias placas de concreto asfáltico para posteriormente realizar as medições do coeficiente de atrito e textura. Foram utilizados os seguintes métodos: Mancha de Areia, Pêndulo Britânico, *Dynamic Friction Test* e o *Circular Texture Meter* (MASAD *et al.*, 2009).

Em resumo, os resultados da pesquisa indicam que é possível prever e controlar as propriedades de atrito do pavimento a partir da seleção do tipo de agregado e da granulometria da mistura.

### **2.8.3 - Previsão do IFI em função do nível de tráfego, textura e tamanho do agregado**

Nos Estados Unidos, foi desenvolvido um modelo de laboratório para previsão do *IFI* em função do nível de tráfego, textura e tamanho do agregado (REZAI *et al.*, 2011). O modelo foi baseado na utilização de três tipos de misturas asfálticas utilizadas pelo TxDOT:

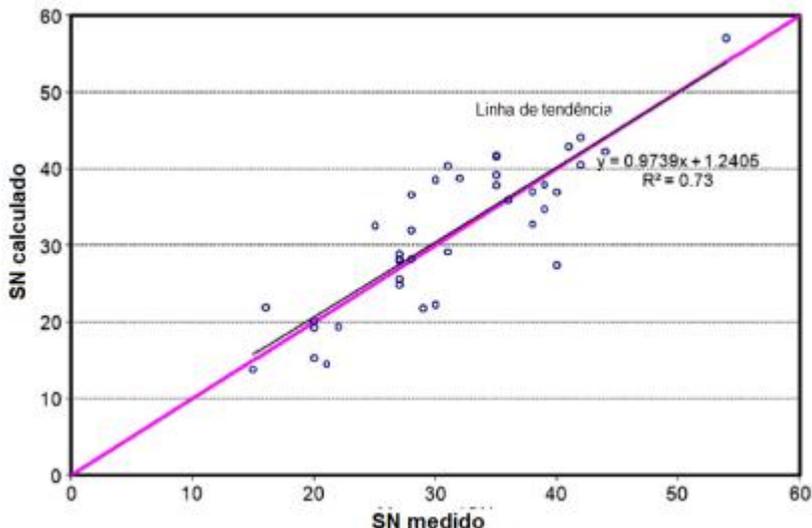
- Tipo C: mistura asfáltica com granulometria densa e agregados com um tamanho nominal máximo de 16mm;
- Tipo D: mistura asfáltica com granulometria densa e agregados com um tamanho nominal máximo de 9,5mm;
- Tipo PFC: mistura asfáltica porosa, com 90% dos agregados graúdos de tamanho nominal máximo variando entre 9,0mm a 12,5mm e uma pequena porcentagem de agregados finos.

Os resultados das medições de textura feitas em laboratório e em campo foram utilizados para desenvolver uma relação entre o desgaste da superfície do pavimento em campo e no laboratório. Os autores obtiveram uma boa correlação em termos de  $R^2$  dessa comparação, podendo assim, estimar o *IFI* de campo baseado nas misturas de laboratório.

A partir da relação estabelecida pela pesquisa da PIARC (1995), que correlaciona o *IFI* e o  $SN_{(50)}$  (coeficiente de deslizamento para uma velocidade de 50km/h), REZAI *et al.*(2011) propuseram uma modificação nesta relação para conseguir prever o  $SN_{(50)}$  de acordo com os resultados obtidos na pesquisa. Com isso, obtiveram uma boa

correlação ( $R^2=0,73$ ) entre os dados estimados e os medidos em campo (Figura 20).

Figura 20 – Correlação entre o SN medido e calculado



Fonte: Adaptado de Rezai *et al.* (2011).

Pode-se inferir que a correlação entre os resultados obtidos foram satisfatórios para predição do *IFI* esperado em campo ao longo do tempo. Concluindo-se que o ciclo de polimento realizado em laboratório conseguiu representar o desgaste superficial do pavimento no campo.

#### 2.8.4 - Previsão da microtextura e macrotextura a partir de medidas de BPN e HS

No Brasil, Mattos (2009) avaliou o desempenho da aderência pneu-pavimento em nove pontos da BR-290/RS durante um período de 10 meses. Embora o período de monitoramento tenha sido relativamente pequeno, ocorreram variações significativas tanto nos valores da microtextura quanto nos da macrotextura. Apesar da oscilação dos resultados obtidos com os equipamentos de Pêndulo Britânico e Mancha de Areia, a tendência de redução desses valores com o passar do tempo (e tráfego decorrente) é nitidamente percebida (MATTOS, 2009). O modelo desenvolvido para estimativa da microtextura e macrotextura dos pavimentos flexíveis da rodovia BR-290/RS foi baseado

respectivamente nos valores de BPN e HS (altura da macrotextura) em função do tempo decorrido em meses (MATTOS, 2009).

Segundo Mattos (2009), os modelos propostos na pesquisa para estimativa de textura em pequenos intervalos de tempo (meses) são considerados confiáveis, podendo ser utilizados na gerência da rodovia estudada (BR-290/RS).

### **2.8.5 - Previsão de macrotextura e microtextura em campo a partir de ensaios em laboratório**

Rodrigues (2013) elaborou um modelo a partir de ensaios realizados em laboratório com o intuito de prever a macrotextura da mistura asfáltica executada em campo a partir das misturas asfálticas compactadas em laboratório (RODRIGUES, 2013).

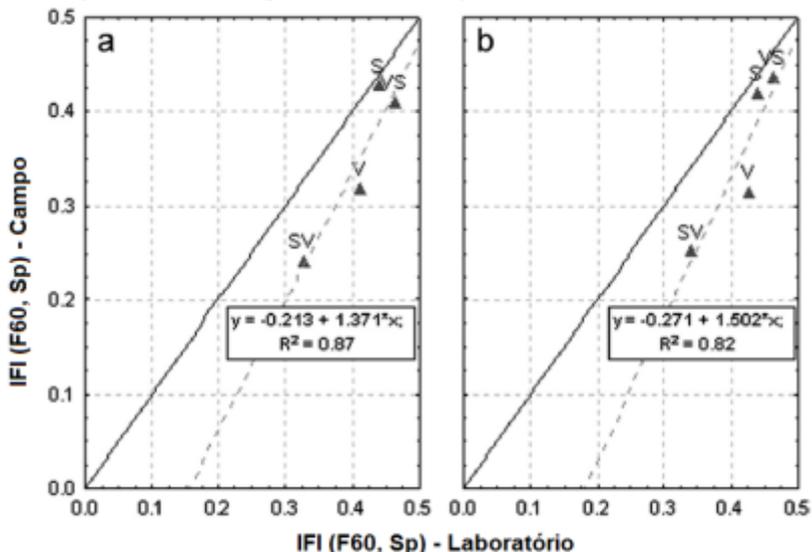
Para correlação dos resultados de macrotextura, em campo, a compactação seguiu os procedimentos tradicionais (utilização de rolos compactadores pneumáticos e acabamento com rolos compactadores lisos de aço). No entanto, em laboratório foi realizado um procedimento de compactação que consiste na utilização de um cilindro metálico preenchido por concreto (pesando cerca de 55kg), que passava sobre as amostras para acomodação dos agregados (RODRIGUES, 2013).

O modelo proposto mostrou-se satisfatório para granulometrias enquadradas na Faixa C do DNIT na predição do valor de HS, apresentando um coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) equivalente a 0,92.

### **2.8.6 - Previsão do IFI a partir de ensaios laboratoriais utilizando o método de compactação de placas**

Georgiou e Loizos (2014), com o intuito de prever as propriedades de textura e da resistência à derrapagem das misturas asfálticas aplicadas em rodovias da Grécia, elaboraram um modelo em função dos parâmetros de *IFI* ( $F_{60}$  e  $S_p$ ). A partir de placas moldadas em laboratório (compactação feito com rolo de aço (D=305 mm) e com esforço vertical de 30KN) e de misturas aplicadas nas rodovias com método de compactação por rolos, foi possível estabelecer um modelo para previsão do *IFI* esperado em campo (Figura 21).

Figura 21 – Correlação entre os valores de  $IFI (F_{60}, S_p)$  de laboratório e campo – a) medição no sentido longitudinal e b) medição no sentido transversal.



Fonte: Adaptado de Georgiou e Loizos (2014).

De maneira geral os resultados encontrados indicam que o método laboratorial utilizado simula as condições de compactação do campo, apresentando uma boa correlação (Figura 21). Pode-se inferir, também, que o método de compactação com o rolo utilizado no laboratório pode traduzir bem o coeficiente de atrito das misturas compactadas em campo. Esse método pode ser integrado às práticas de proje das misturas asfálticas juntamente com os requisitos estruturais e funcionais (GEORGIU e LOIZOS, 2014).

### 3 - MÉTODO DA PESQUISA

Para alcançar os objetivos estabelecidos na proposta deste estudo, foi realizado um planejamento experimental para execução das medidas de atrito e textura e obtenção dos valores de *IFI* das misturas asfálticas estudadas e a análise dos fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento.

Antes de se definir as etapas do trabalho, fez uma seleção prévia das rodovias estaduais e federais de Santa Catarina, bem como os tipos de misturas que estavam sendo estudadas no laboratório de pavimentação da UFSC em que se poderiam desenvolver as pesquisas.

Na Tabela 19 estão apresentadas as características das misturas asfálticas selecionadas em relação ao tipo e teor de ligante, origem mineral dos agregados e as curvas granulométricas utilizadas na elaboração das mesmas. As curvas granulométricas das rodovias estaduais respeitam das características da Faixa D do DEINFRA/SC, contudo também se enquadram nas características da FAIXA C do DNIT, portanto, a fim de diminuir as variáveis comparativas, essas misturas foram observadas dentro da faixa granulométrica definida pelo órgão nacional (BRASIL, 2006).

Tabela 19 – Caracterização das misturas asfálticas selecionadas

Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Faixa Granulométrica	Agregados		Ligante	
			Origem Mineral	Abrasão Los Angeles (%)	Tipo	Teor (%)
1	EME(*) (QUINTERO, 2011)	Faixa B - DNIT	Granito	19,96	CAP 10/20	5,10
2	Lama Vermelha (*) (teor de 7%) (LIMA, 2015)	Faixa C - DNIT	Granito	20,00	CAP 50/70	5,20
3	Lama Vermelha (*) (teor de 5%) (LIMA, 2015)	Faixa C - DNIT	Granito	20,00	CAP 50/70	5,20
4	BR-163 - Barracão (*) (CASTELLAR, 2011)	Faixa C - DNIT	Basalto	-	FLEX PAVE 60/85	4,60
5	BR-101 - Araranguá (**) (DNIT, 2012)	Faixa B - DNIT	Basalto	11,58	CAP 50/70	4,35
6	BR-101 - Laguna (**) (M0) - 35% passante na #nº10 (DNIT, 2014)	Faixa C - DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 60/85-E	5,35

Tabela 19 – Caracterização das misturas asfálticas selecionadas (continuação)

Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Faixa Granulométrica	Agregados		Ligante	
			Origem Mineral	Abrasão Los Angeles (%)	Tipo	Teor (%)
7	BR-101 - Laguna (**) (M1) - 34% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	Faixa C - DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 60/85-E	5,40
8	BR-101 - Laguna (**) (M2) - 42% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	Faixa C - DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 60/85-E	5,20
9	SC-439 - Urubici (**) (Seg 1 - 450 - 460) (DEINFRA, 2011)	Faixa C - DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Basalto	17,00	CAPFLEX-B	5,80
10	SC-439 - Urubici (**) (Seg 2 - 125 - 140) (DEINFRA, 2011)	Faixa C - DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Basalto	17,00	CAPFLEX-B	5,80
11	SC-439 - Urubici (**) (Seg 3 - 65 - 80) (DEINFRA, 2011)	Faixa C - DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Basalto	17,00	CAP 50/70	5,74
12	SC-415 - Itapoá (**) (DEINFRA, 2011)	Faixa C - DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Gnaïsse	26,90	CAPFLEX-B	6,10
13	Projeto 1 - 24,3% (***) passante na #n°10	Faixa B - DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35
14	Projeto 2 - 32,5% (***) passante na #n°10	Faixa B - DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35
15	Projeto 3 - 28,4% (***) passante na #n°10	Faixa B - DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35
16	Projeto 4 - 38,8% (***) passante na #n°10	Faixa B - DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35

(\*) Misturas asfálticas estudadas no laboratório de pavimentação da UFSC por alunos de mestrado e doutorado.

(\*\*) Segmentos monitorados no Projeto de Pesquisa da Rede Temática de Tecnologia do Asfalto

(\*\*\*) Misturas asfálticas avaliadas dentro do projeto desta pesquisa

As misturas asfálticas ensaiadas em campo e em laboratório pertencem às faixas granulométricas do DNIT (B e C) e do DEINFRA/SC (D) e algumas se enquadram também na faixa do IV-B do Instituto do Asfalto. As misturas foram selecionadas de modo a verificar a influência da granulometria nas características de aderência pneu-pavimento. As curvas granulométricas das misturas asfálticas selecionadas estão apresentadas nas Figura 22 e Figura 23, de acordo com as faixas em que estão enquadradas.



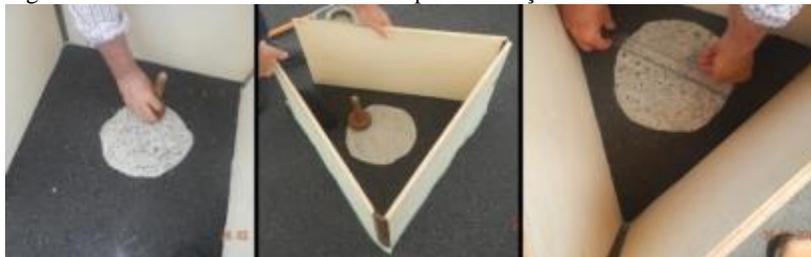
A coleta de dados foi realizada entre março de 2014 e outubro de 2015, período correspondente à parte experimental deste trabalho.

Para avaliação de microtextura e macrotextura das misturas asfálticas moldadas em laboratório e das aplicadas em campo, foram utilizados os seguintes equipamentos:

### Mancha de Areia

Para a avaliação da macrotextura do pavimento em todas as etapas de trabalho foi utilizado o ensaio de Mancha de Areia (Figura 24) e o procedimento adotado foi recomendado pela norma ASTM E 965, 1996 (*Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*).

Figura 24 – Ensaio de Mancha de Areia para avaliação da macrotextura



Deste ensaio, foi obtido, em quatro direções diferentes o diâmetro da Mancha de Areia. O diâmetro médio  $D_m$  é o resultado da média obtida pelas quatro medições. A altura da mancha de areia ( $H_m$ ) é expressa conforme a Equação 16:

$$H_m = \frac{4V}{\pi D_m^2} \quad (15)$$

Onde:

$V = 25.000 \text{ mm}^3$ ;

$D_m$  = diâmetro médio da Mancha de Areia (mm);

$H_m$  = altura média da Mancha de Areia (mm);

## Pêndulo Britânico

As medidas de coeficiente de atrito (microtextura) foram realizadas, basicamente em todas as etapas, com o emprego do Pêndulo Britânico (Figura 25) e o procedimento adotado foi o recomendado pela norma ASTM E 303, 1993 (*Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*).

Figura 25 – Emprego do Pêndulo Britânico para avaliação da microtextura



Esse ensaio é considerado dinâmico e de impacto e consiste em mensurar a perda de energia quando a sapata de borracha do Pêndulo desliza sobre a superfície de teste. O equipamento pode ser utilizado tanto em laboratório quanto em campo (em superfícies planas), e os valores mensurados representam o BPN (*British Pendulum Tester Number*) (ASTM – E303-93).

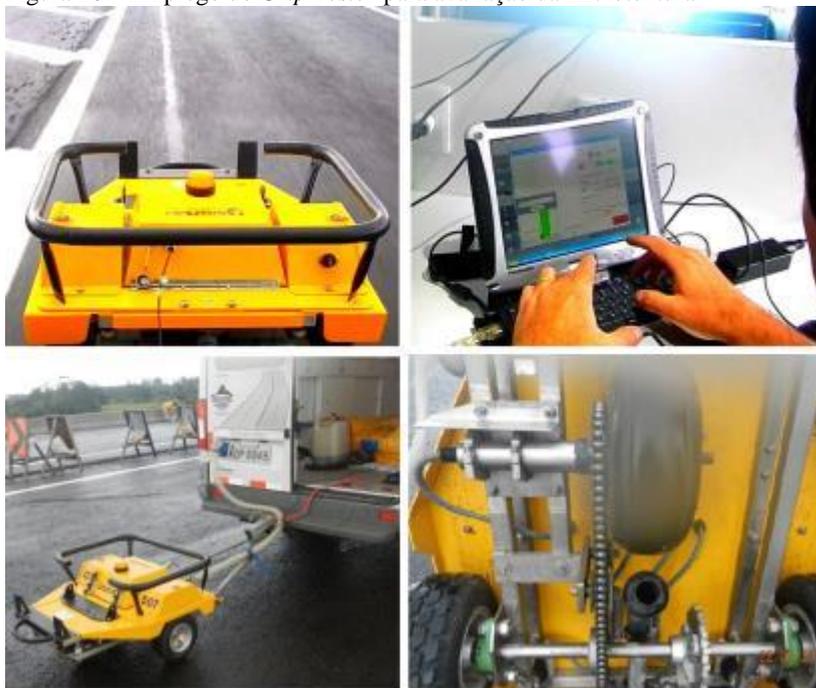
O valor BPN é obtido diretamente pelo ponteiro de arrasto. Quanto maior for o atrito entre o Pêndulo e a superfície testada, menor será o movimento do Pêndulo e maior será o valor de BPN, sendo que para cada superfície testada devem ser realizadas quatro leituras (APS, 2006; ASTM E303).

## GripTester

Na etapa 3, também foram realizadas medidas da microtextura com o emprego do *Gripe Teste* (Figura 26). O procedimento adotado foi recomendado pela norma ASTM E 1844, 1996 (*Standard Specification for A Size 10 & 4–5 Smooth-Tread Friction Test Tire*).

As medições com o *Grip Tester* foram realizadas pela COOPETEC/UFRJ nos trechos de Ararangá, Urubici e Itapoá.

Figura 26 – Emprego do *Grip Tester* para avaliação da microtextura



O teste consiste em medir o atrito pneu-pavimento em condições de pluviosidade (MATTOS, 2009). Para isso, faz-se a aspersão de uma vazão constante de água na frente da roda de teste desse equipamento. A vazão é proporcional à velocidade de deslocamento do equipamento suficiente para criar uma película de água com espessura de 1,0 mm e velocidade de 30 km/h (DYNATEST, 2013; BS7941-2).

O coeficiente de atrito entre duas superfícies foi determinado pela Equação 17:

$$GN = \frac{F_v}{F_h} \quad (16)$$

Onde:

$G_N$  = Grip Number (Coeficiente de Atrito);

$F_v$  = Força Vertical (N);

$F_h$  = Força Horizontal (N).

A borracha do pneu da roda teste é padronizada segundo normas internacionais (ASTM E1844-96) e as forças vertical e horizontal são mensuradas continuamente por tensiômetros (“*strain gauges*”). Os valores médios calculados são exibidos na tela do computador de bordo a cada metro do levantamento, juntamente com os valores médios de velocidade do veículo trator do equipamento.

Para cada leitura foi realizada a catalogação das seguintes informações tanto para as coletas em campo como as de laboratório:

- Quatro leituras de BPN;
- Quatro leituras de diâmetro da Mancha de Areia;
- Temperatura da superfície de teste;
- Idade da mistura aplicada ao campo.

Para determinação do *IFI* foi utilizado a norma ASTM E 1960 (1998), *Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*.

Para obter-se o valor do *IFI*, foi utilizado o Pêndulo Britânico e o *Grip Tester* para as medidas de atrito ( $FR_s$ ) e o ensaio de Mancha de Areia para as medidas de textura ( $T_x$ ). Os três equipamentos e técnicas são homologados pela PIARC.

Para classificação do *IFI* da rodovia e das misturas compactadas em laboratório, foram utilizadas as faixas limites do *IFI* ( $F_{60}$ ) (Tabela 9), de acordo com Aps (2006).

Por último, em relação à forma de compactação, a mesa compactadora foi utilizada apenas para as misturas asfálticas moldadas em laboratório e o método convencional (rolo de pneu e rolo de chapa liso) para as misturas asfálticas aplicadas em campo.

### 3.1 - ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO

Na Etapa 1 foram selecionadas misturas asfálticas projetadas e estudadas em laboratório. A escolha dessas misturas levou em consideração a granulometria aplicada, a origem mineral dos agregados e o tipo e teor de ligante utilizado. Após a definição dessas misturas asfálticas, foram moldadas placas em laboratório para posterior medição de atrito e macrotextura utilizando respectivamente os métodos do Pêndulo Britânico e Mancha de Areia. A partir desses resultados foi possível a determinação do *IFI* para cada uma delas, bem como a análise

dos fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento. A Figura 27 apresenta o arranjo desta etapa.

Figura 27 – Etapa 1: Caracterização de Misturas Asfálticas em Laboratório



Para a execução da Etapa 1 e posterior análise na Etapa 3, foram selecionadas para mensuração da macrotextura e microtextura as seguintes misturas asfálticas:

- (I) Mistura de Módulo elevado – EME 2 (QUINTERO, 2011);
- (II) Mistura com Lama vermelha (LIMA, 2015);
- (III) Mistura da Rodovia BR-163 (CASTELLAR, 2014);
- (IV) Mistura da Rodovia BR-101 – Trecho de Araranguá;
- (V) Mistura da Rodovia BR-101 – Laguna;
- (VI) Mistura da Rodovia SC-439 – Urubici (65-80);
- (VII) Mistura da Rodovia SC-439 – Urubici (125-140);
- (VIII) Mistura da Rodovia SC-415 – Itapoá;
- (IX) Projeto 01 ao 04 – Variação de material passante na #n°10 dentro da Faixa B do DNIT.

Para as misturas asfálticas compactadas em laboratório, foram utilizados moldes de 40cmx60cmx9cm na mesa compactadora.

Na moldagem das placas, primeiramente foi realizada uma pré-compactação utilizando o pneu calibrado a uma pressão de 0,1 MPa e depois se aumentou a pressão para 0,6MPa. A fase de compactação da placa foi feita pela passagem de um eixo de pneus com força de 5KN em cada borda e no centro (TRICHÊS, 2010). A Figura 28 apresenta a sequência de compactação das misturas asfálticas em laboratório.

Figura 28 – Mesa compactadora para moldagem das placas em laboratório



### 3.2 - ETAPA 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS EM CAMPO

Na Etapa 2 foram selecionadas rodovias federais e estaduais de Santa Catarina. A escolha foi baseada no tipo de granulometria aplicada à mistura asfáltica enquadrada nas faixas granulométricas do DNIT (Faixa B e C) e do DEINFRA/SC (Faixa D), a origem mineral dos

agregados e o tipo e teor de ligante utilizado. A partir desses resultados foi possível a determinação do *IFI* para cada uma delas, bem como a análise dos fatores que influenciam a aderência pneu-pavimento. Além de comparar os valores de *IFI* avaliado pelo Pêndulo Britânico e pelo *Grip Tester*, mantendo-se a textura analisada pelo ensaio de Mancha de Areia. A Figura 29 apresenta o arranjo desta etapa.

Figura 29 – Etapa 2: Caracterização das Rodovias e Misturas Asfálticas Aplicadas em Campo



Em cada rodovia selecionada, foram demarcados segmentos de 300m (com SIG) onde foram realizadas 15 medidas de atrito com o Pêndulo e em alguns casos também com o *Grip Tester* e 15 determinações com o ensaio da Mancha de Areia.

O trechos selecionados sucedeu sobre obras de pavimentação executadas no estado de Santa Catarina no período de 2012 a 2015. A seguir estão apresentadas algumas características e localização dos trechos rodoviários para os estudos feitos nas etapas 2, 3 e 4:

### (I) BR-101 – Trecho: Araranguá

Os segmentos de monitoramento estão localizados no contorno viário da Rodovia BR-101 da cidade de Araranguá. A construção finalizou em novembro de 2012 e a abertura ao tráfego ocorreu em março de 2014. O tráfego estimado para a rodovia é de  $N_{8,2t}$  igual a  $1,64 \times 10^8$  (USACE). O  $N_{8,2t}$  anual para 2013 era na ordem de  $1,33 \times 10^7$ . A VMDA (2012) foi de 23.231 com uma taxa de crescimento anual de 3,8%. O primeiro segmento está localizado entre o km 0 + 360 até o km 0 + 960 – Faixa 1 e 2 sentido Araranguá - Sombrio) e o segundo segmento está localizado entre o km 0 + 960 até o km 0 + 660 – Faixa 1 e 2 sentido Sombrio – Araranguá). Em todos os segmentos, o

revestimento é composto por uma mistura convencional com CAP 50/70 e com teor de ligante de 4,3%.

### **(II) BR-101 – Trecho: Laguna**

O trecho de Laguna é parte integrante da rodovia BR-101, contendo assim, as mesmas características de tráfego do que o trecho de Araranguá. A execução do concreto asfáltico em Laguna teve início em janeiro de 2015 e foi aberta ao tráfego em maio de 2015. O tráfego estimado para este trecho é o mesmo de Araranguá.

### **(III) SC-439 – Trecho: Urubici**

Os segmentos de monitoramento de Urubici estão compreendidos dentro da Execução do Projeto de Implantação e Pavimentação da Rodovia SC-439 trecho de Urubici – Grão-Pará – Segmento I: Urubici – Serra do Corvo Branco. As medidas foram realizadas em três segmentos da rodovia SC-439 com as seguintes características:

- **Segmento 01 – estaca 450 a estaca 460:** com asfalto-borracha de 4,0cm de espessura e granulometria da Faixa “D” do DEINFRA/SC (equivalente à faixa C do DNIT) e com teor de ligante de 5,8% de CAPFLEX-B.
- **Segmento 01 – estaca 125 a estaca 140:** com asfalto-borracha de 6,0cm de espessura e granulometria da Faixa “D” do DEINFRA/SC (equivalente à faixa C do DNIT) e com teor de ligante de 5,8% de CAPFLEX-B.
- **Segmento 02 – estaca 65 a estaca 80:** com asfalto convencional e teor de ligante de 5,74% (CAP 50/70) de 6,0cm de espessura e granulometria da Faixa “D” do DEINFRA/SC (equivalente à faixa C do DNIT).

### **(IV) SC-415 – Trecho: Itapoá**

Este segmento está localizado entre as estacas 1170 a 1190 da rodovia SC – 415. Essa rodovia tem um total de 17 quilômetros de trecho rodoviário que faz a ligação da BR-101 ao acesso do porto da cidade de Itapoá. O maior fluxo de veículos é de caminhões que transportam containers, possibilitando o controle do tráfego devido ao destino das cargas. Este trecho experimental consiste em um segmento de 400m de extensão em ambas as faixas de rolamento, localizado entre

as estacas 1170 e 1190, totalizando 800m. O revestimento é composto por asfalto-borracha.

A Tabela 20 apresenta a correlação entre os tipos de misturas asfálticas selecionadas e os equipamentos utilizados para as leituras de macrotextura e microtextura desta etapa.

Tabela 20 – Correlação entre as misturas asfálticas e os tipos de equipamentos utilizados na Etapa 2

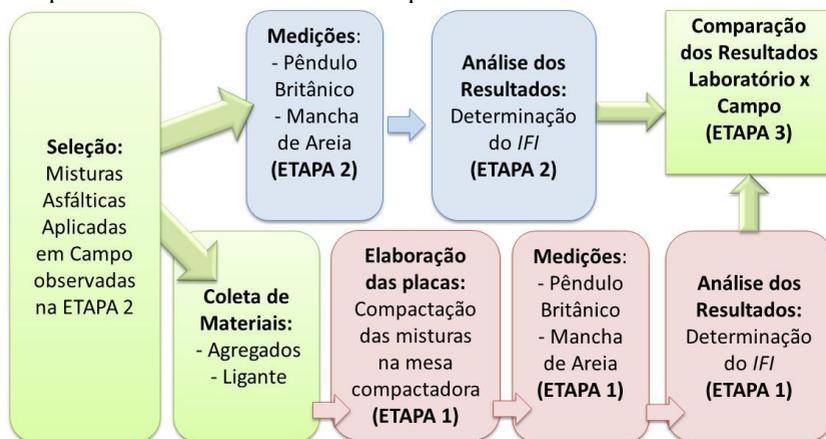
Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Equipamentos			
		Pêndulo Britânico	Grip Tester	Mancha de Areia	Mesa Compactadora
5	BR-101 - Araranguá (DNIT, 2012)	x	x	x	x
6	BR-101 - Laguna (M0) - 35% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	x	-	x	x
7	BR-101 - Laguna (M1) - 34% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	x	-	x	x
8	BR-101 - Laguna (M2) - 42% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	x	-	x	x
9	SC-439 - Urubici - (Seg 1 - 450 - 460) (DEINFRA, 2011)	-	x	x	x
10	SC-439 - Urubici - (Seg 2 - 125 - 140) (DEINFRA, 2011)	-	x	x	x
11	SC-439 - Urubici - (Seg 3 - 65 - 80) (DEINFRA, 2011)	-	x	x	x
12	SC-415 - Itapoá (DEINFRA, 2011)	-	x	x	x

Sobre os diferentes tipos de equipamentos para obtenção das características de microtextura das misturas asfálticas analisadas, o Pêndulo Britânico foi utilizado tanto em campo como em laboratório, salvo as primeiras leituras dos trechos de Urubici e de Itapoá, visto que o equipamento foi adquirido posterior às datas de realização desses primeiros ensaios. No entanto, no caso do *Grip Tester*, os ensaios foram realizados apenas nos trechos de Araranguá, Urubici e Itapoá. Esses trechos, por fazerem parte dos Segmentos de Monitoraors da Pesquisa do Programa da Rede Temática de Tecnologia do Asfalto foi viabilizada a contratação desse equipamento para realização das leituras de microtextura.

### 3.3 - ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Na Etapa 3, a partir dos materiais coletados (agregado e ligante) das rodovias selecionadas na Etapa 2, foram reproduzidas em laboratório as mesmas misturas asfálticas empregadas em campo. Por meio das medidas de atrito e textura respectivamente com o Pêndulo Britânico e o ensaio de Mancha de Areia, foi possível estabelecer uma comparação laboratório-campo para as misturas asfálticas selecionadas. A Figura 30 apresenta o arranjo desta etapa.

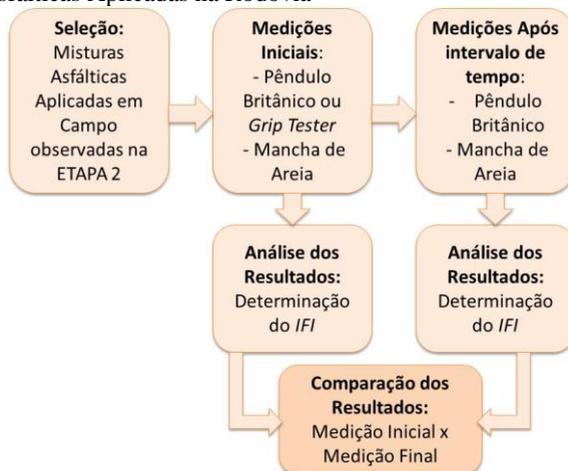
Figura 30 – Etapa 3: Avaliação da Aderência das Misturas Asfálticas compactadas em Laboratório e em Campo



### 3.4 - ETAPA 4 – AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DO TRÁFEGO NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

Na Etapa 4 foram selecionados os trechos de Araranguá da BR-101, de Urubici da SC-439 e de Itapoá da SC-415 para avaliação da variação da aderência pneu-pavimento com a ação do tráfego. Para isso, foram realizadas medidas de textura e atrito, respectivamente com o ensaio de Mancha de Areia e Pêndulo Britânico ou *Grip Tester*, num intervalo de tempo de aproximadamente um ano. A Figura 31 apresenta o arranjo desta etapa.

Figura 31 – Etapa 4: Avaliação da Aderência após a Passagem do Tráfego das Misturas Asfálticas Aplicadas na Rodovia



A Tabela 21 apresenta a correlação entre os tipos de misturas asfálticas selecionadas e os equipamentos utilizados na parte inicial dos estudos e após um período de um ano das primeiras leituras de macrotextura e microtextura.

Tabela 21 – Correlação entre as misturas asfálticas e os tipos de equipamentos utilizados na Etapa 4

Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Equipamentos Análise Inicial				Equipamentos Análise após 1 ano		
		Pêndulo Britânico	Grip Tester	Mancha de Areia	Mesa Compactadora	Pêndulo Britânico	Grip Tester	Mancha de Areia
5	BR-101 - Araranguá (DNIT, 2012)	x	x	x	x	x	-	x
9	SC-439 - Urubici (Seg 1 - 450 - 460)	-	x	x	x	x	-	x
10	SC-439 - Urubici (Seg 2 - 125 - 140)	-	x	x	x	x	-	x
11	SC-439 - Urubici (Seg 3 - 65 - 80)	-	x	x	x	x	-	x
12	SC-415 - Itapoá	-	x	x	x	x	-	x

### 3.5 - ETAPA 5 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Etapa 5 foram apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos pelas diferentes metodologias de ensaio divididas em grupos de acordo com as etapas estabelecidas anteriormente. A Figura 32 apresenta o arranjo desta etapa.

Figura 32 – Etapa 5: Apresentação e Discussão dos Resultados



## 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 - ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO

As misturas asfálticas selecionadas nesta Etapa 1 (Tabela 22) apresentam características ora semelhantes e ora diferentes entre si, possibilitando, posteriormente, fazer uma análise da influência das variáveis em relação aos resultados obtidos de macrotextura e microtextura.

As misturas apresentam variações granulométricas enquadradas nas Faixas B e C do DNIT, e também, quanto à origem mineral dos agregados, e aos diferentes teores e tipos de ligante.

A partir da seleção das misturas asfálticas foi possível realizar as medições referentes à macrotextura e microtextura utilizando, respectivamente, os métodos do ensaio de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico.

Em seguida, foi realizado um tratamento estatístico para verificação de valores espúrios pelo método estatístico do Teste *t-Student* para um intervalo de confiança de 95%. Os valores espúrios foram descartados, permanecendo apenas os representativos para a determinação do *IFI* das misturas asfálticas avaliadas.

O resumo dos resultados de macrotextura, microtextura e do *IFI* das placas moldadas em laboratório de todas as misturas asfálticas selecionadas na Etapa 1 estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos das misturas asfálticas moldadas em laboratório

Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Faixa Crenométrica	Agregados		Ligante		Macrotextura Altura de Areia - Hs (mm)		Macrotextura Pêndulo Britânico		IFI		
			Origem Mineral	Abrasião Los Angeles (%)	Tipo	Teor (%)	Hs (mm)	Classificação DNIT	Média FRS	Classificação DNIT	Sp	F60	Classificação
1	EME (QUINTERO,2011)	Faixa B DNIT	Granito	19,96	CAP 10/20	5,10	1,15	Grossa ou Aberta	64,17	6-Rugosa	118,84	0,37	Ótimo
2	Lama Vermelha (teor de 7%) (LIMA,2015)	Faixa C DNIT	Granito	20,00	CAP 50/70	5,20	0,95	Grossa ou Aberta	54,06	5-Medianamente Rugosa	95,90	0,30	Muito Bom
3	Lama Vermelha (teor de 5%) (LIMA,2015)	Faixa C DNIT	Granito	20,00	CAP 50/70	5,20	1,20	Grossa ou Aberta	55,69	6-Rugosa	124,59	0,34	Muito Bom
4	BR-163 - Barracão (CASTELLAN,2011)	Faixa C DNIT	Basalto	-	FLEXPAVE 6085	4,60	1,06	Grossa ou Aberta	56,38	6-Rugosa	109,08	0,33	Muito Bom
5	BR-101 - Ararungá (DNIT,2012)	Faixa B DNIT	Basalto	11,58	CAP 50/70	4,35	1,37	Muito grossa ou aberta	60,83	6-Rugosa	143,91	0,38	Ótimo
6	BR-101 - Laguna (M0) - 35% passante na #nº10 (DNIT,2014)	Faixa C DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 6085-E	5,35	1,10	Grossa ou Aberta	57,63	6-Rugosa	112,85	0,34	Muito Bom
7	BR-101 - Laguna (M1) - 34% passante na #nº10 (DNIT,2014)	Faixa C DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 6085-E	5,40	0,86	Grossa ou Aberta	59,50	6-Rugosa	86,55	0,31	Muito Bom
8	BR-101 - Laguna (M2) - 42% passante na #nº10 (DNIT,2014)	Faixa C DNIT	Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	CAP 6085-E	5,20	0,73	Média	58,31	6-Rugosa	71,10	0,27	Muito Bom

Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos das misturas asfálticas moldadas em laboratório (continuação)

Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Faixa Granulométrica	Agregados		Ligante		Macrotextura Altura de Área - Hs (mm)		Macrotextura Pêndulo Britânico		IFI		
			Origem Mineral	Abraso Los Angeles (%)	Tipo	Teor (%)	Hs (mm)	Classificação DNIT	Média FRS	Classificação DNIT	Sp	F60	Classificação
9 e 10	SC-439 - Urubici - Seg 1 (450 - 460) e Seg 2 (125-140) (DEINFRA, 2011)	Faixa C DNIT	Basalto	17,00	CAPLEX-B	5,80	1,00	Grosseira ou Aberta	69,56	6-Rugosa	102,57	0,38	Ótimo
11	SC-439 - Urubici (Seg 3 - 65 - 80) (DEINFRA, 2011)	Faixa C DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Basalto	17,00	CAP 50/70	5,74	0,80	Grosseira ou Aberta	69,83	6-Rugosa	79,87	0,34	Muito Bom
12	SC-415 - Itapoá (DEINFRA, 2011)	Faixa C DNIT (Faixa D - DEINFRA)	Gnaise	26,90	CAPLEX-B	6,10	0,73	Média	69,63	6-Rugosa	71,20	0,32	Muito Bom
13	Projeto 1 - 24,3% passante na #n°10	Faixa B DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35	1,56	Muito grosseira ou aberta	79,75	7-Muito Rugosa	165,99	0,50	Ótimo
14	Projeto 2 - 32,5% passante na #n°10	Faixa B DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35	1,30	Muito grosseira ou aberta	79,75	7-Muito Rugosa	135,69	0,47	Ótimo
15	Projeto 3 - 28,4% passante na #n°10	Faixa B DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35	1,40	Muito grosseira ou aberta	78,25	7-Muito Rugosa	147,34	0,48	Ótimo
16	Projeto 4 - 38,8% passante na #n°10	Faixa B DNIT	Granito	15,68	CAP 50/70	4,35	1,23	Muito grosseira ou aberta	75,25	7-Muito Rugosa	127,61	0,44	Ótimo

De um modo geral, percebe-se que essas misturas compactadas em laboratório apresentam um bom nível de macrotextura. A partir dos resultados apresentados na Tabela 22, observa-se que a altura da mancha de areia está compreendida num intervalo de  $0,73\text{mm} \leq H_s \leq 1,56\text{mm}$ . Sendo assim, a macrotextura pode ser considerada grosseira a muito grosseira, pela classificação do DNIT (BRASIL, 2006).

Entretanto, em relação à resistência a derrapagem, as misturas asfálticas podem ser classificadas segundo o DNIT (BRASIL, 2006) em mediamente rugosa a muito rugosa, uma vez que os resultados do Pêndulo Britânico que se mantiveram num intervalo entre  $54,06 \leq \text{BPN} \leq 79,75$ .

Exceto as misturas asfálticas denominadas Lama Vermelha (teor de 7%), que apresentou um VRD  $< 55$ , a mistura BR-101 – Araranguá, e as misturas Projeto 1, Projeto 2, Projeto 3 e Projeto 4 que apresentam  $H_s > 1,20\text{mm}$ , as demais atendem as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006) nos dois parâmetros em relação à aderência pneu-pavimento:

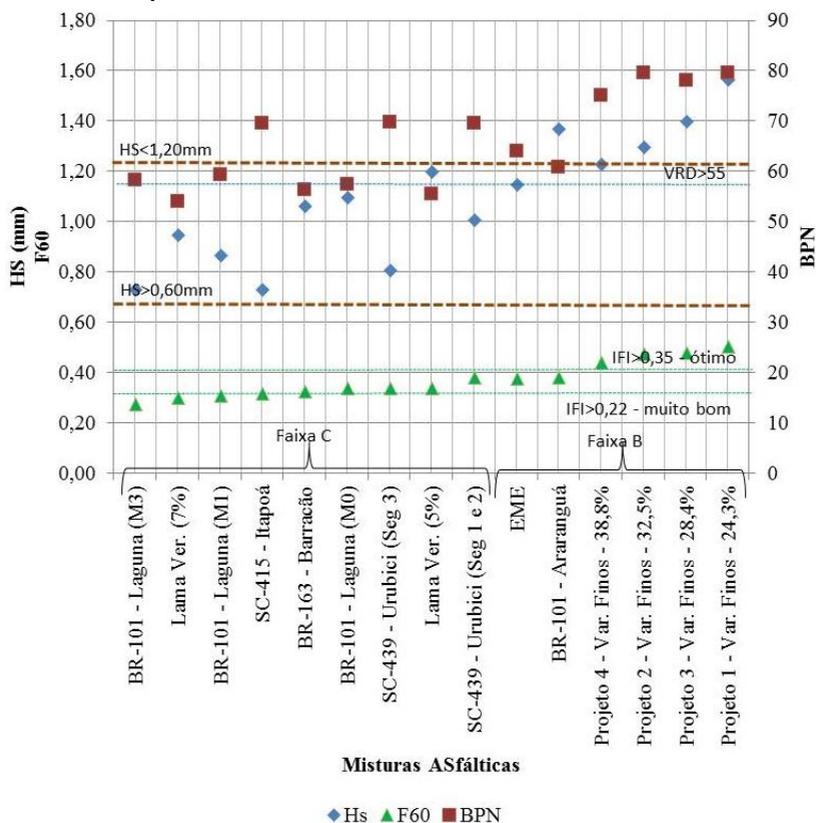
- Textura superficial: valores da altura de mancha de areia dentro do limite sugerido  $0,60\text{mm} \leq H_s \leq 1,2\text{mm}$  (BRASIL, 2006).
- Valor de resistência à derrapagem: dentro do limite sugerido  $\text{VRD} \geq 55$  (BRASIL, 2006).

Cabe ressaltar que as misturas que apresentaram  $H_s > 1,20\text{mm}$ , mesmo não estando dentro do limite sugerido pelo DNIT (BRASIL, 2006) garantem uma boa aderência pneu-pavimento. Entretanto essa característica leva a um maior desgaste do pneu, onerando assim o custo do usuário.

Em relação ao  $IFI - F_{60}$ , as misturas asfálticas compactadas em laboratório podem ser consideradas “muito boa” a “ótima” quanto à aderência, segundo classificação proposta por Aps (2006), pois os valores de  $IFI - F_{60}$  variaram entre  $0,27 \leq F_{60} \leq 0,50$ .

A Figura 33 apresenta uma comparação gráfica entre os valores obtidos pelo ensaio de Mancha de Areia ( $H_s$ ), Pêndulo Britânico (BPN) e os valores calculados de  $IFI (F_{60})$  para todas as misturas asfálticas que foram moldadas em laboratório.

Figura 33 – Comparação entre os valores de  $H_s$  x BPN x  $F_{60}$  das misturas asfálticas compactadas em laboratório



O gráfico da Figura 33 foi organizado de modo que as misturas asfálticas estivessem apresentadas em ordem crescente dos valores obtidos de  $IFI - F_{60}$ . A partir dos dados observados na Tabela 22 e na Figura 33, verifica-se que a análise dos índices de  $IFI - F_{60}$  para gerência viária deve ser feita com certa cautela, pois mesmo que os valores de  $IFI - F_{60}$  apresentem uma classificação satisfatória, também se devem analisar individualmente os valores de macrotextura e rugosidade. Isso porque se pode ter uma mistura com baixos valores de BPN e uma boa macrotextura e esta combinação (Equação 5) culminar em um valor de  $IFI - F_{60}$  satisfatório.

Todavia, espera-se que um pavimento não tenha apenas a capacidade de escoar a água que precipita na superfície pelos vazios

constituídos entre os grãos, mas também de quebrar a película residual de água e oferecer assim um maior contato a “seco” entre as superfícies do pneu e do pavimento.

Para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam na aderência pneu-pavimento, foram levantados alguns aspectos das misturas asfálticas selecionadas na Etapa 1, como granulometria, origem mineral dos agregados e tipo e teor de ligante, que estão abordados nos itens a seguir.

#### **4.1.1 - Influência da granulometria na aderência pneu-pavimento**

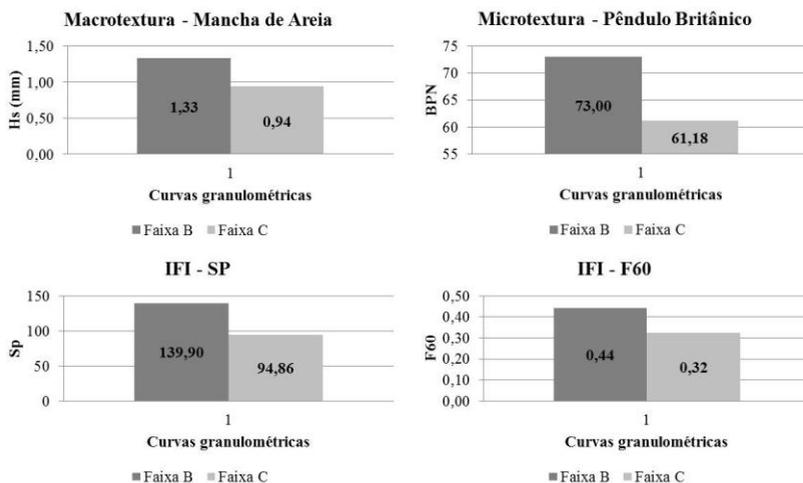
A partir das misturas asfálticas selecionadas na Etapa 1, pode-se agrupar as misturas asfálticas de acordo com a faixa granulométrica, respectivamente em Faixa B e C do DNIT (Tabela 23).

Tabela 23 – Resumo dos resultados obtidos das misturas asfálticas moldadas em laboratório

Faixa C						Faixa B					
Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Hs (mm)	Média FRS	Sp	F60	Mistura Asfáltica	Denominação da Mistura Asfáltica	Hs (mm)	Média FRS	Sp	F60
9 e 10	SC-439 - Urubici - Seg 1 e Seg 2 (DEINFRA, 2011)	1,00	69,56	102,57	0,38	1	EME (QUINTERO, 2011)	1,15	64,17	118,84	0,37
3	Lama Vermelha (teor de 5%) (LIMA, 2015)	1,20	55,69	124,59	0,34	16	Projeto 4 - 38,8% passante na #n°10	1,23	75,25	127,61	0,44
11	SC-439 - Urubici (Seg 3 - 65 - 80) (DEINFRA, 2011)	0,80	69,83	79,87	0,34	14	Projeto 2 - 32,5% passante na #n°10	1,30	79,75	135,69	0,47
6	BR-101 - Laguna (M0) - 35% passante na #n° 10 (DNIT, 2014)	1,10	57,63	112,85	0,34	5	BR-101 - Atravangá (DNIT, 2012)	1,37	60,83	143,91	0,38
4	BR-163 - Barracão (CASTELLAR, 2011)	1,06	56,38	109,08	0,33	15	Projeto 3 - 28,4% passante na #n°10	1,40	78,25	147,34	0,48
12	SC-415 - Itapoá (DEINFRA, 2011)	0,73	69,63	71,20	0,32	13	Projeto 1 - 24,3% passante na #n°10	1,56	79,75	165,99	0,50
7	BR-101 - Laguna (M1) - 34% passante na #n° 10 (DNIT, 2014)	0,86	59,50	86,55	0,31						
2	Lama Vermelha (teor de 7%) (LIMA, 2015)	0,95	54,06	95,90	0,30						
8	BR-101 - Laguna (M2) - 42% passante na #n° 10 (DNIT, 2014)	0,73	58,31	71,10	0,27						
Média =		0,937	61,176	94,856	0,323	Média =		1,333	73,000	139,897	0,441
Desv. Padrão =		0,167	6,558	19,000	0,030	Desv. Padrão =		0,145	8,364	16,517	0,053

Posteriormente à tabulação dos resultados das misturas asfálticas agrupadas de acordo com o seu enquadramento nas faixas granulométricas do DNIT (Tabela 23), foi possível realizar uma comparação da média dos resultados obtidos entre essas duas faixas (Figura 34).

Figura 34 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x Sp x F60 das misturas asfálticas agrupadas em faixas granulométricas



Na Figura 34, como era de se esperar, evidenciou que as misturas asfálticas enquadradas na Faixa B do DNIT apresentam maiores índices de aderência pneu-pavimento em comparação com as misturas enquadradas na Faixa C. Dessa forma, verifica-se que a granulometria influenciou principalmente nos resultados de macrotextura, induzindo não só diretamente na determinação dos valores de  $IFI - F_{60}$ , como também na apresentação da macrotextura da superfície dos pavimentos. Isso pode ser observado, por exemplo, nas Misturas 2 e 3 e Lama Vermelha, em que a modificação da porcentagem de finos em apenas 2% variou os resultados obtidos de macrotextura em até 20%.

#### 4.1.2 - Influência da variação de finos na aderência pneu-pavimento

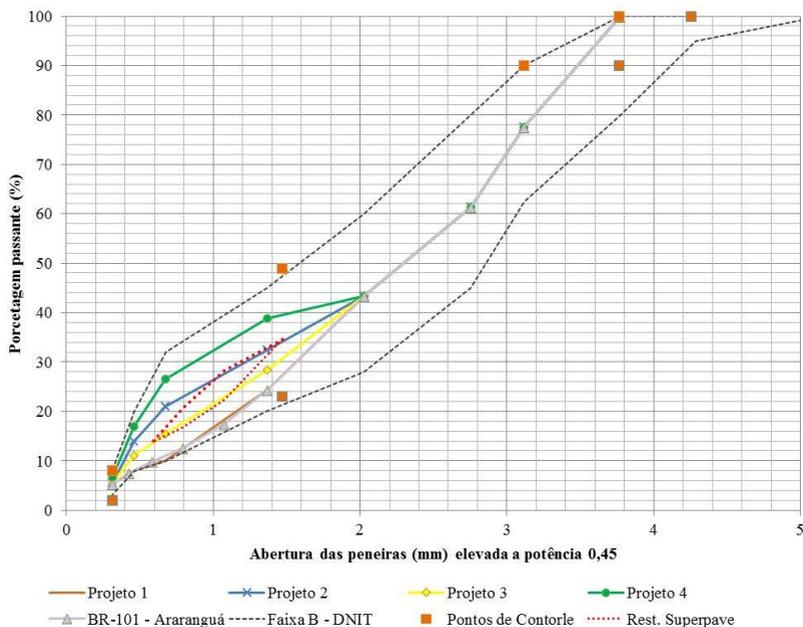
A partir das análises efetuadas sobre a influência da granulometria na caracterização da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas, foram realizados ensaios para verificação da

influência da variação do teor de finos em misturas enquadradas na Faixa B e C do DNIT.

#### 4.1.2.1 - Variação de finos em misturas da Faixa B do DNIT

Para verificação da influência do teor de finos em misturas asfálticas enquadradas na Faixa B do DNIT, foi moldado um conjunto de placas em laboratório a partir da granulometria exibida pela mistura asfáltica da Rodovia BR-101 – Trecho: Araranguá, utilizando o mesmo tipo e teor de ligante (4,35% de CAP 50/70) para diminuir a influência das variáveis, entretanto utilizando agregados de origem mineral granítica. A Figura 35 apresenta as curvas granulométricas das misturas asfálticas avaliadas em relação ao teor de finos (Projeo da mistura desenvolvido em 2012).

Figura 35 – Curvas granulométricas – Misturas asfálticas com variação no teor de finos – Faixa B DNIT



Na Figura 35, nota-se que a porcentagem de material passante até a peneira # n°4 é igual para todas as misturas asfálticas, estando idêntica

à curva de referência (BR-101 – Araranguá). Na Tabela 24, pode-se visualizar a porcentagem passante (em peso) dos materiais que compõe as misturas avaliadas.

Tabela 24 – Composição granulométrica das misturas enquadradas na Faixa B do DNIT

Peneira		Porcentagem passando, em peso				
ASTM	mm	BR-101 - Araranguá (DNIT, 2012)	Projeto 1 - 24,3% passante na #n°10	Projeto 2 - 32,5% passante na #n°10	Projeto 3 - 28,4% passante na #n°10	Projeto 4 - 38,8% passante na #n°10
3/4"	19,1	100	100	100	100	100
1/2"	12,5	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5
3/8"	9,5	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3
N°4	4,8	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3
N°10	2	24,3	24,3	32,5	28,4	38,75
N°40	0,42	10	10	21	15,5	26,5
N°80	0,18	8	8	14	11	17
N°200	0,075	5,4	5,4	5,5	5,45	6,75

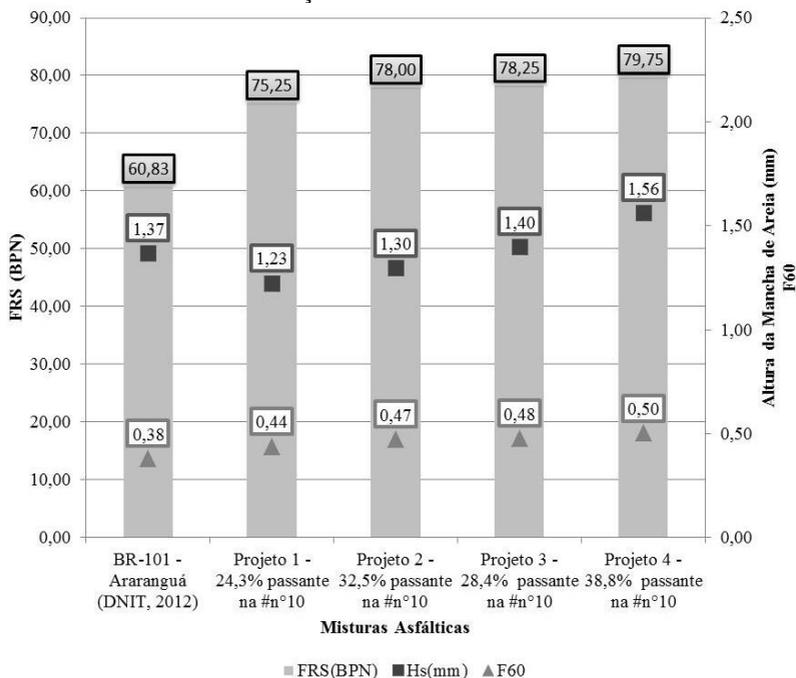
Os resultados referentes à macrotextura, microtextura e  $IFI - F_{60}$ , de todas as misturas estão apresentados na Tabela 25, inclusive os obtidos em laboratório da mistura da BR-101 – Araranguá.

Tabela 25 – Resumo dos resultados em laboratório das misturas asfálticas da Faixa B com variação do teor de finos

Número da Amostra	Faixa B - Variação de Finos							
	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
BR-101 - Araranguá (DNIT, 2012)	15,30	1,37	Muito grosseira ou aberta	60,83	7-Muito Rugosa	143,91	0,38	Ótimo
Projeto 1 - 24,3% passante na #n°10	14,28	1,56	Muito grosseira ou aberta	79,75	7-Muito Rugosa	165,99	0,50	Ótimo
Projeto 2 - 32,5% passante na #n°10	15,68	1,30	Muito grosseira ou aberta	78,00	7-Muito Rugosa	135,69	0,47	Ótimo
Projeto 3 - 28,4% passante na #n°10	15,10	1,40	Muito grosseira ou aberta	78,25	7-Muito Rugosa	147,34	0,48	Ótimo
Projeto 4 - 38,8% passante na #n°10	16,18	1,23	Muito grosseira ou aberta	75,25	7-Muito Rugosa	127,61	0,44	Ótimo

Para melhor entendimento das variações dos resultados obtidos, foi elaborada graficamente (Figura 36) uma comparação entre os principais fatores relacionados à aderência pneu-pavimento.

Figura 36 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x F60 das misturas asfálticas da Faixa B com variação do teor de finos



No gráfico apresentado na Figura 36, infere-se que a variação do teor de finos interferiu diretamente nas características da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas Projeto 1, 2, 3 e 4. Percebe-se que os valores de macrotextura e, conseqüentemente, do  $IFI - F_{60}$  crescem no sentido oposto ao aumento do teor de finos.

Em relação à microtextura das misturas asfálticas Projeto 1, 2 e 3, nota-se uma pequena diferença entre elas, contudo a maior diferença verificada foi em relação à mistura do Projeto 4. Contudo, isso pode estar associado ao maior teor de finos que acaba envolvendo os agregados graúdos e conseqüentemente diminuindo a aspereza da superfície.

Mesmo com a diferença de resultados observados pela variação de teor de finos na mistura, verificou-se que a classificação final do  $IFI - F_{60}$  não se alterou. De modo geral, as quatro misturas projetadas apresentam um potencial de terem um bom desempenho em campo.

Outra comparação que pode ser feita é em relação às misturas asfálticas com granulometrias equivalentes, no caso a da BR-101 – Araranguá e a Projeto 1, que também utilizaram o mesmo tipo (CAP 50/70) e teor de ligante (4,35%). Contudo, foram empregados agregados com origens minerais diferentes, respectivamente basalto e granito.

Considerando-se que foi utilizado o mesmo método para a compactação das placas em laboratório, a modificação da origem mineral do agregado alterou as condições de aderência pneu-pavimento. Em relação à macrotextura houve uma variação de 12%, e no caso da microtextura, característica fortemente relacionada com a origem mineral dos agregados, ocorreu uma diferença de 24%. Sendo assim, pode-se afirmar que os agregados provenientes da jazida de granito contribuíram para uma maior aspereza da superfície do pavimento do que os da jazida de basalto.

#### 4.1.2.2 - Variação de finos nas misturas da Faixa C

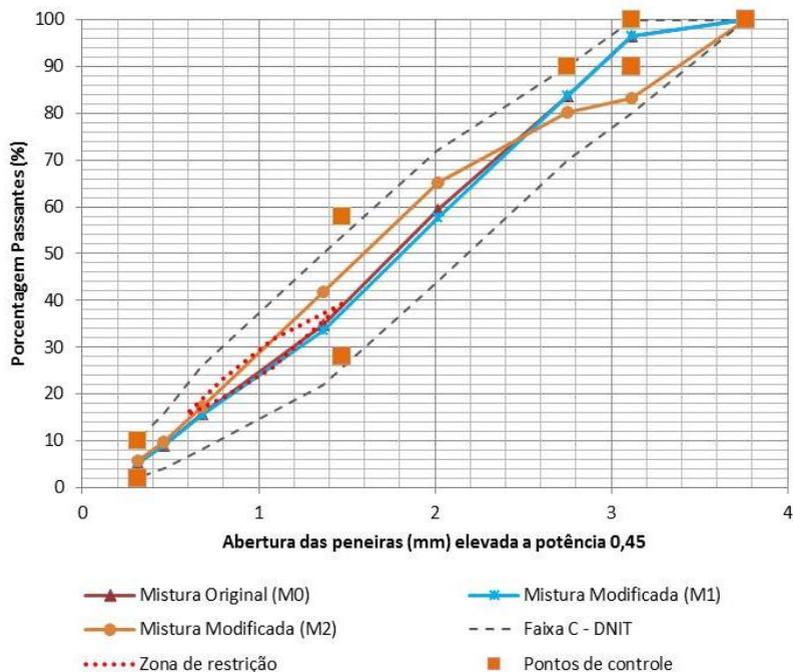
Para a avaliação do efeito da variação de finos das misturas enquadradas na Faixa C do DNIT, foram analisadas as modificações realizadas nas misturas asfálticas aplicadas em campo na rodovia BR-101 – Laguna (Tabela 26).

Tabela 26 – Granulometria das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos

Peneira		Porcentagem passando, em peso		
ASTM	mm	BR-101 - Laguna (M0) - 35% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	BR-101 - Laguna (M1) - 34% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	BR-101 - Laguna (M2) - 42% passante na #n°10 (DNIT, 2014)
3/4"	19,000	100	100	100
1/2"	12,500	97	97	83
3/8"	9,500	84	84	80
n°4	4,750	59	58	65
n°10	2,000	35	34	42
n°40	0,420	16	15	17
n°80	0,180	9	9	10
n°200	0,075	5	5	6

A Figura 37 apresenta as curvas granulométricas das três misturas asfálticas avaliadas em relação ao teor de finos, enquadradas na Faixa C do DNIT com diâmetro nominal máximo do agregado de 12,5mm.

Figura 37 – Curva granulométrica da mistura asfáltica da Rodovia BR-101 – Laguna



Na Figura 37, nota-se que a granulometria das misturas M0 e M1 se desenvolvem muito próximas, passando entre os pontos de controle definidos na dosagem Superpave.

Entretanto, a mistura M2 apresenta um menor teor de agregados graúdos, passando abaixo do ponto de controle da peneira #1/2" (12,5mm).

As medições das leituras referentes à aderência pneu-pavimento foram realizadas 15 dias após a execução da pavimentação da pista de rolamento, ou seja, o pavimento sofreu influência apenas da atuação do tráfego da obra.

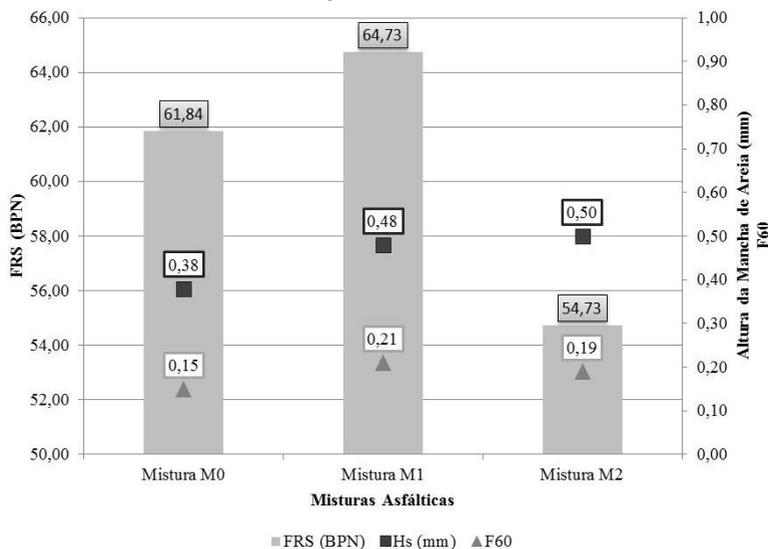
Os resultados referentes à macrotextura, microtextura e  $IFI - F_{60}$ , de todas as misturas estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Resumo dos resultados em laboratório das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos

Número da Amostra	Faixa C - Variação de Finos							
	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
BR-101 - Laguna (M0) - 35% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	29,03	0,38	Muito grosseira ou aberta	61,84	7-Muito Rugosa	31,42	0,15	Bom
BR-101 - Laguna (M1) - 34% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	25,73	0,48	Muito grosseira ou aberta	64,73	7-Muito Rugosa	43,29	0,21	Muito Bom
BR-101 - Laguna (M2) - 42% passante na #n°10 (DNIT, 2014)	25,42	0,50	Muito grosseira ou aberta	54,73	7-Muito Rugosa	45,17	0,19	Bom

Para melhor entendimento das variações dos resultados obtidos, foi elaborada graficamente (Figura 38) uma comparação entre os principais fatores relacionados à aderência pneu-pavimento.

Figura 38 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x F60 das misturas asfálticas da Faixa C com variação do teor de finos



A partir da Figura 38, tem-se o entendimento que a variação granulométrica das misturas influenciou diretamente no fator da macrotextura do pavimento, principalmente devido à variação do material passante na peneira #1/4". No caso, a diminuição da porceagem

da fração desse tamanho de agregado auxiliou na melhoria da macrotextura.

Essa tendência também é verificada para os parâmetros calculados de  $IFI - F_{60}$  os quais crescem no sentido oposto ao aumento do teor de finos, exceto para a mistura M2, que devido à sua rugosidade ser inferior as demais, não manteve a mesma progressão da curva da macrotextura.

Em relação à microtextura ocorreu uma variabilidade dos resultados. Isso pode estar associado ao próprio desenvolvimento da granulometria, mas, sobretudo ao tipo de agregado utilizado na mistura.

As misturas M0 e M1 que foram compactadas com as curvas granulométricas bem próximas, além de manter um equilíbrio entre a parte graúda e fina da mistura, também apresentam resultados bem próximos no quesito da rugosidade da superfície do pavimento. Entretanto, com o intuito de melhorar a macrotextura da Mistura M2, foi diminuído tanto o material passante na peneira # 1/4", como também a porcentagem do agregado graúdo aumentando a quantidade de pedrisco na mistura e diminuindo, a quantidade assim de arestas dos agregados graúdos na superfície. Consequentemente, a diminuição dessas arestas contribuiu para a diminuição da rugosidade superficial do pavimento.

Outro fator relacionado à variabilidade da microtextura foi que os agregados empregados na elaboração de todas as misturas asfálticas são provenientes de uma jazida de rocha granítica com muitos veios de diabásio e falhas com granito alterado. Fazendo assim, com que se tenha nas misturas uma combinação de agregados em que se têm grãos de granito são, granito alterado e diabásio.

Pela realização do ensaio de Abrasão Los Angeles que indica o potencial desgaste da rocha, foi obtido um índice de 29,20%. A falta de homogeneidade dos agregados pode ter influenciado diretamente a redução da rugosidade da superfície, principalmente quando comparadas a outras misturas constituídas com agregados de origem granítica os quais apresentaram uma maior aspereza.

#### **4.1.3 - Influência da origem mineral dos agregados na aderência pneu-pavimento**

A fim de avaliar a influência da origem mineral nas características relacionadas à aderência pneu-pavimento, os resultados referentes à macrotextura, microtextura e  $IFI - F_{60}$  das misturas asfálticas foram agrupados de acordo com a origem mineral dos

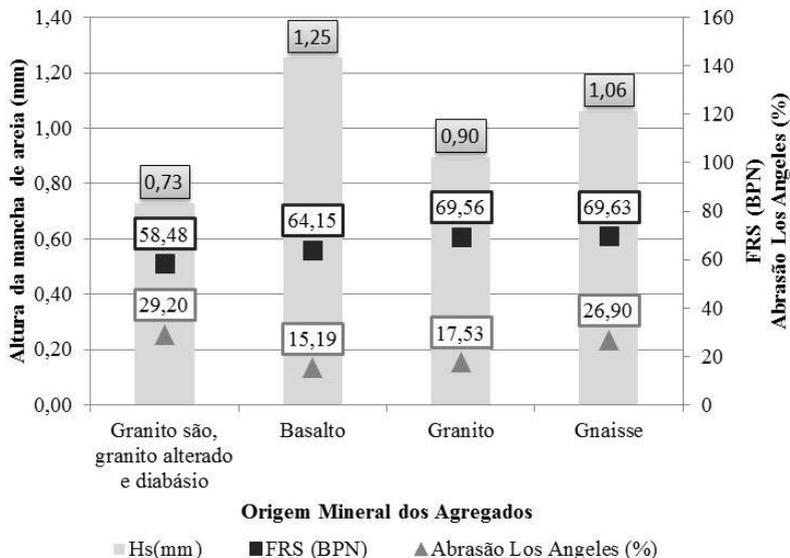
agregados utilizados. A Tabela 28 apresenta as médias dos resultados para os grupos de misturas compostas pelo mesmo mineral.

Tabela 28 – Resumo dos resultados médios em função da origem mineral dos agregados

Agregados		Macrotextura Altura de Areia - Hs (mm)		Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
Origem Mineral	Abrasão Los Angeles (%)	Hs (mm)	Classificação DNIT	Média FRS	Classificação DNIT	Sp	F60	Classificação
Basalto	15,19	1,06	Grosseira ou Aberta	64,15	6-Rugosa	108,86	0,36	Ótimo
Gnaisse	26,90	0,73	Média	69,63	6-Rugosa	71,20	0,32	Muito Bom
Granito	17,53	1,25	Muito grosseira ou aberta	69,56	6-Rugosa	130,85	0,41	Ótimo
Granito são, granito alterado e diabásio	29,20	0,90	Grosseira ou Aberta	58,48	6-Rugosa	90,17	0,31	Muito Bom

Com os resultados apresentados na Tabela 28, foi possível elaborar um gráfico (Figura 39) comparando os principais fatores relacionados à aderência pneu-pavimento em função do tipo de origem mineral dos agregados empregados nas misturas asfálticas.

Figura 39 – Comparação entre os valores de Hs x BPN x Abrasão Los Angeles em função da origem mineral dos agregados



O maior índice de microtextura foi obtido a partir da mistura asfáltica que utilizou material pétreo da jazida de gnaisse, seguido das que utilizaram granito na sua composição.

Também, pode-se inferir que a qualidade da jazida influencia na microtextura dos pavimentos, no caso, as misturas asfálticas provenientes da jazida de granito com alteração, apresentaram resultados inferiores aos daquelas que utilizaram granito são.

#### 4.1.4 - Influência do tipo e teor de ligante na aderência pneu-pavimento

Com o intuito de avaliar a influência do tipo e teor de ligante, as misturas asfálticas foram agrupadas de acordo com as faixas granulométricas pertencentes levando em consideração a variação do tipo e teor de ligante. A Tabela 29 apresenta as médias dos resultados para os grupos de misturas de acordo com o tipo e teor de ligante do projeto.

Tabela 29 – Resumo dos resultados médios em função do tipo e teor de ligante

Faixa Granulométrica	Ligante		Macrot textura Altura de Areia - Hs (mm)		Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Tipo	Teor (%)	Hs (mm)	Classificação DNIT	Média FRS	Classificação DNIT	Sp	F60	Classificação
Faixa B DNIT	CAP 10/20	5,10	1,15	Grosseira ou Aberta	64,17	6-Rugosa	118,84	0,37	Ótimo
	CAP 50/70	4,35	1,37	Muito grosseira ou aberta	74,77	6-Rugosa	144,11	0,45	Ótimo
Faixa C DNIT	CAP 50/70	5,20	1,07	Grosseira ou Aberta	54,88	5-Medianamente Rugosa	110,24	0,32	Muito Bom
		5,74	0,80	Grosseira ou Aberta	69,83	6-Rugosa	79,87	0,34	Muito Bom
	CAP 60/85-E	5,20	0,73	Média	58,31	6-Rugosa	71,10	0,27	Muito Bom
		5,35	1,10	Grosseira ou Aberta	57,63	6-Rugosa	112,85	0,34	Muito Bom
		5,40	0,86	Grosseira ou Aberta	59,50	6-Rugosa	86,55	0,31	Muito Bom
		FLEX PAVE 60/85	4,60	1,06	Grosseira ou Aberta	56,38	6-Rugosa	109,08	0,33

A partir dos tipos de misturas asfálticas moldadas em laboratório, verifica-se uma variabilidade aleatória dos resultados em função do tipo e teor de ligante (Tabela 29), impossibilitando assim, de fazer uma afirmação concreta em relação a sua influência.

## 4.2 - ETAPA 2 – CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS EM CAMPO

Na Etapa 2, para a avaliação de microtextura e macrotextura, bem como a determinação do *IFI* antes da abertura ao tráfego da rodovia, foram selecionados dois trechos da Rodovia BR-101 no estado de Santa Catarina:

- BR-101 – Trecho: Araranguá;
- BR-101 – Trecho: Laguna.

Os trechos rodoviários apresentam características distintas entre si, como o enquadramento nas faixas granulométricas do DNIT (Faixa B e C), a origem mineral dos agregados e o tipo e teor de ligante utilizado na elaboração das misturas asfálticas.

No trecho de Araranguá, também foi utilizado o equipamento *Grip Tester* para avaliação da microtextura, possibilitando assim, comparar os índices de *IFI* –  $F_{60}$  determinados pelos dois equipamentos, mantendo-se a textura analisada pelo ensaio de Mancha de Areia.

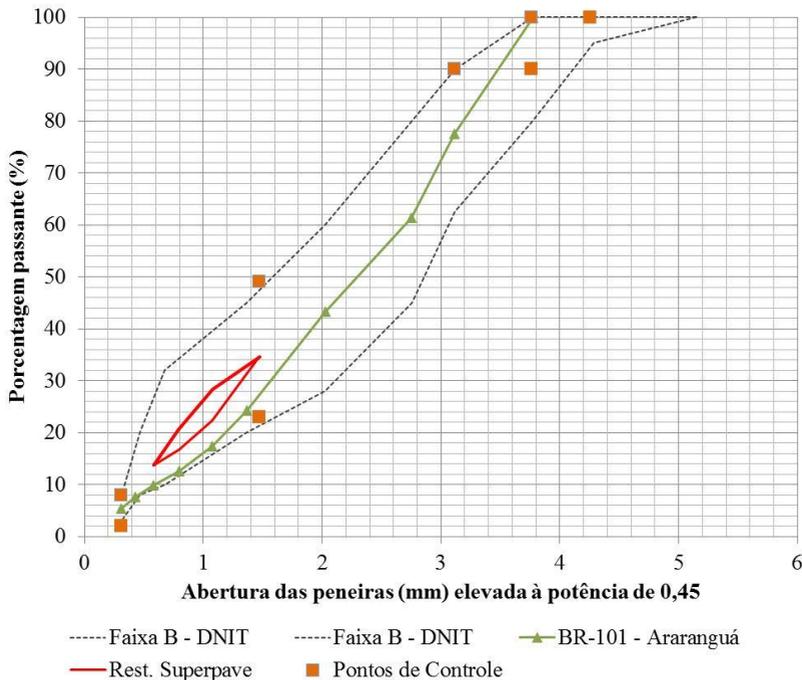
Após a coleta de dados, foi realizado um tratamento estatístico para verificação de valores espúrios pelo método estatístico do Teste *t-Student* para um intervalo de confiança de 95%. Os valores espúrios foram descartados do tamanho da amostra, permanecendo apenas os representativos para a determinação do *IFI* das misturas asfálticas avaliadas.

O resumo dos resultados de macrotextura, microtextura e do *IFI* das superfícies dos pavimentos dos trechos selecionados na Etapa 2 estão apresentados nos itens a seguir.

### 4.2.1 - BR-101 – Trecho: Araranguá – Resultados de campo

A mistura asfáltica aplicada na Rodovia BR-101 – Trecho: Araranguá tem sua curva granulométrica enquadrada na Faixa B do DNIT, respeitando a zona de restrição para o diâmetro máximo do agregado de 19mm especificada pela metodologia de dosagem Superpave (Figura 40).

Figura 40 – Curva granulométrica da mistura asfáltica da Rodovia BR-101 – Trecho de Araranguá



Na Figura 40, observa-se que a curva granulométrica, com diâmetro nominal máximo do agregado de 19mm, tem sua fração fina ocorrendo próxima ao limite inferior da Faixa B do DNIT, passando abaixo da zona de restrição indicada pela Superpave, e respeitando todos os pontos de controle.

A curva granulométrica do trecho de Araranguá é composta por 43% de brita 3/4"; 15,5% de pedrisco; 40% de pó de pedra; e 1,5% de cal.

Os agregados de origem basáltica apresentam baixo valor de Abrasão Los Angeles (11,58%).

Nesta mistura asfáltica foi utilizado um ligante convencional, CAP 50/70, com um teor de 4,35%.

Para execução dos ensaios de caracterização da aderência pneu-pavimento em campo, foram demarcados segmentos de 300m (com SIG).

As medições foram realizadas na trilha de roda externa, sendo que foram realizados 15 levantamentos de microtextura com o Pêndulo Britânico e 15 determinações de macrotextura com o ensaio da Mancha de Areia, e em toda extensão medições do coeficiente de atrito com o *Grip Tester*. Com isso foi possível caracterizar e comparar as medidas de atrito utilizando equipamentos diferentes e mantendo o ensaio de Mancha de Areia para avaliação da macrotextura.

As Tabela 30 e Tabela 31 mostram o resumo dos resultados obtidos e a determinação do *IFI*.

Tabela 30 – Caracterização da superfície da mistura de Araranguá – Mancha de Areia e Pêndulo Britânico (ano zero)

<b>Pêndulo Britânico e Ensaio de Mancha de Areia</b>								
Km	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
Sentido Norte/Sul	17,29	1,07	Grosseira ou Aberta	64,96	6-Rugosa	110,47	0,37	Ótimo
Sentido Sul/Norte	15,91	1,27	Muito grosseira ou aberta	64,06	6-Rugosa	132,71	0,39	Ótimo
Média		1,17		64,51		121,59	0,38	
Des. Padrão		0,14		0,64		15,72	0,01	

Tabela 31 – Caracterização da superfície da mistura de Araranguá – Mancha de Areia e *Grip Tester* (ano zero)

<b><i>Grip Tester</i> e Ensaio de Mancha de Areia</b>								
Km	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade (km/h)	Sp	F60	Classificação
Sentido Norte/Sul	17,29	1,07	Grosseira ou Aberta	0,72	0,00	110,47	0,55	Ótimo
Sentido Sul/Norte	16,00	1,25	Muito grosseira ou aberta	0,66	24,13	130,74	0,54	Ótimo
Média		1,16		0,69		120,61	0,55	
Des. Padrão		0,13		0,04		14,33	0,01	

A partir dos resultados apresentados nas Tabela 30 e Tabela 31, observa-se que a superfície do pavimento em relação à macrotextura é classificada como “grosseira” a “muito grosseira ou aberta”, atendendo às diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006).

Em relação à resistência à derrapagem, a mistura asfáltica aplicada no campo é classificada basicamente como “rugosa” pelo

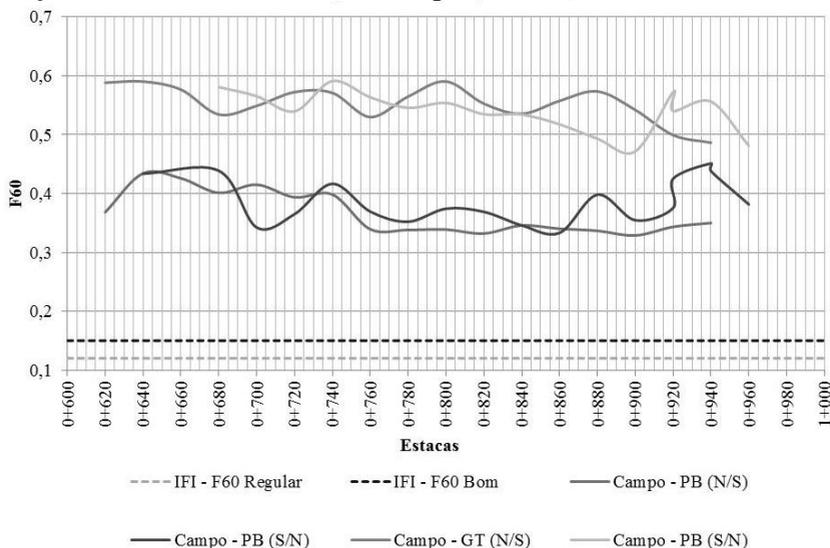
equipamento do Pêndulo Britânico, também atendendo às diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006), pois resultados indicaram um  $VRD > 55$ .

A classificação da superfície em termos de microtextura pelo equipamento *Grip Tester* não é possível, visto que as normas estabelecidas pelo DNIT, quanto à resistência à derrapagem, levam em consideração apenas os resultados obtidos pelo Pêndulo Britânico. Mas utilizando as diretrizes da ANAC (2012) como referência, nota-se que os resultados obtidos estão acima do nível exigido para manutenção das pistas dos aeródromos.

Em relação ao  $IFI - F_{60}$ , a mistura aplicada pode ser classificada como “ótima” (APS, 2006) pelos dois equipamentos que mediram a microtextura (Pêndulo Britânico e *Grip Tester*).

Para uma melhor análise dos dados apresentados nas tabelas anteriores, o gráfico apresentado na Figura 41 mostra uma diferença dos valores de  $F_{60}$  obtidos utilizando o Pêndulo Britânico e o *Grip Tester*.

Figura 41 – Comparação dos valores de  $F_{60}$  obtidos com o Pêndulo Britânico e *Grip Tester* – BR-101 – Trecho de Araranguá (ano zero)



Na Figura 41, verifica-se que os dois equipamentos traduzem o mesmo perfil de  $IFI - F_{60}$  da superfície do pavimento encontrado no trecho de Araranguá. Entretanto, os valores de  $IFI - F_{60}$  calculados pelo *Grip Tester* indicam uma situação mais favorável à superfície do pavimento no que diz respeito à aderência pneu-pavimento. Cabe

ressaltar que esse aparelho fornece a média a cada metro dos valores referentes ao coeficiente de atrito. Traduzindo assim, melhor as características da mistura aplicada. No entanto, o Pêndulo Britânico, fornece os valores de BPN para cada estaca e apenas um ponto representa as características da superfície entre elas. Portanto, o operador do equipamento deve analisar a superfície do pavimento antes de estabelecer os pontos de medida.

#### 4.2.2 - BR-101 – Trecho: Laguna – Resultados de Campo

A mistura asfáltica aplicada na Rodovia BR-101 – Trecho: Laguna tem sua curva granulométrica enquadrada na Faixa C do DNIT com diâmetro nominal máximo do agregado de 12,5mm (Figura 37). O revestimento da pista de rolamento deste trecho sofreu três modificações, principalmente no que diz respeito à granulometria. Com isso, foi possível avaliar a influência desta variação sobre as características de aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas executadas (Tabela 32).

Tabela 32 – Característica das misturas asfálticas aplicadas no trecho BR-101 - Laguna

MISTURAS	Local de Aplicação	Brita 3/4"	Pedrisco 3/8"	Pó 1/4" ao fundo	Cal CHI (Hidratado)	Teor de Ligante
Mistura Original (M0)	Estaca 23 ao 29 (N-S)	24,0%	17,0%	58,0%	1,0%	5,35%
Mistura Modificada (M1)	Estaca 11 ao 22 (N-S)	24,0%	19,0%	56,0%	1,0%	5,40%
Mistura Modificada (M2)	Estaca 01 ao 29 (S-N)	20,0%	25,0%	54,0%	1,0%	5,20%

Os levantamentos das características da superfície foram realizados entre as estacas 13 a 18 no sentido sul e 7 a 30 no sentido norte. No montante da medição, o revestimento havia sido executado há pelo menos 15 dias, e por isso recebeu somente à atuação do tráfego de obra.

Foram realizados ensaios de Mancha de Areia, para a avaliação da macrotextura, e ensaios com Pêndulo Britânico, para a avaliação da microtextura, sendo feitas duas leituras em cada estaca do segmento. Esses resultados estão apresentados nas Tabela 33, Tabela 34 e Tabela 35, e foram divididos de acordo com as granulometrias aplicadas.

Tabela 33 – Resultados da Mistura Original (M0) de Laguna

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
23	29,70	0,36	Fina ou fechada	61,75	6-Rugosa	29,41	0,14	Bom
24	27,60	0,42	Média	60,25	6-Rugosa	35,88	0,17	Bom
25	28,70	0,39	Fina ou fechada	63,00	6-Rugosa	32,39	0,16	Bom
26	28,60	0,39	Fina ou fechada	57,75	6-Rugosa	32,54	0,15	Bom
27	29,40	0,37	Fina ou fechada	67,75	6-Rugosa	30,32	0,15	Bom
28	29,10	0,38	Fina ou fechada	61,25	6-Rugosa	31,04	0,15	Bom
29	29,80	0,36	Fina ou fechada	55,75	6-Rugosa	29,27	0,13	Regular
30	29,30	0,37	Fina ou fechada	67,25	6-Rugosa	30,46	0,15	Bom
Média		0,38		61,84		31,42	0,15	
Des. Padrão		0,02		3,91		2,03	0,01	

Tabela 34 – Resultados da Mistura Modificada (M1) de Laguna

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
11	25,00	0,51	Média	70,00	6-Rugosa	46,27	0,24	Muito Bom
11	26,90	0,44	Média	75,25	7-Muito Rugosa	38,39	0,21	Muito Bom
12	25,00	0,51	Média	61,25	6-Rugosa	46,27	0,21	Muito Bom
12	25,60	0,49	Média	54,50	5-Medianamente Rugosa	43,59	0,19	Bom
13	24,60	0,53	Média	67,50	6-Rugosa	48,42	0,24	Muito Bom

Tabela 34 – Resultados da Mistura Modificada (M1) de Laguna (continuação)

Estaca	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
13	25,20	0,50	Média	67,00	6-Rugosa	45,59	0,23	Muito Bom
14	26,10	0,47	Média	70,75	6-Rugosa	41,60	0,22	Muito Bom
14	25,80	0,48	Média	58,50	6-Rugosa	42,85	0,19	Bom
15	25,50	0,49	Média	57,25	6-Rugosa	44,25	0,20	Bom
15	26,10	0,47	Média	62,25	6-Rugosa	41,50	0,20	Bom
16	27,70	0,42	Média	68,25	6-Rugosa	35,71	0,18	Bom
17	25,00	0,51	Média	64,50	6-Rugosa	46,27	0,22	Muito Bom
18	26,00	0,47	Média	64,50	6-Rugosa	42,01	0,20	Bom
Média		0,48		64,73		43,29	0,21	
Des. Padrão		0,03		5,67		3,38	0,02	

Tabela 35 – Resultados da Mistura Modificada (M2) de Laguna

Estaca	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
7	26,10	0,47	Média	50,75	5-Medianamente Rugosa	41,70	0,17	Bom
8	24,70	0,52	Média	56,75	6-Rugosa	47,57	0,21	Bom
10	26,70	0,45	Média	55,25	6-Rugosa	39,14	0,17	Bom
11	24,80	0,52	Média	56,25	6-Rugosa	47,33	0,20	Bom
12	24,60	0,53	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	48,42	0,19	Bom
13	29,10	0,38	Fina ou fechada	59,50	6-Rugosa	31,04	0,15	Bom
14	25,80	0,48	Média	52,50	5-Medianamente Rugosa	42,74	0,18	Bom
15	22,70	0,62	Média	57,00	6-Rugosa	58,44	0,24	Muito Bom
16	25,20	0,50	Média	56,75	6-Rugosa	45,59	0,20	Bom

Tabela 35 – Resultados da Mistura Modificada (M2) de Laguna (continuação)

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
17	24,70	0,52	Média	56,00	6-Rugosa	47,93	0,21	Bom
18	22,40	0,64	Média	52,25	5-Medianamente Rugosa	60,81	0,23	Muito Bom
19	26,50	0,45	Média	56,00	6-Rugosa	40,01	0,18	Bom
20	26,00	0,47	Média	54,50	5-Medianamente Rugosa	41,91	0,18	Bom
21	25,40	0,49	Média	52,50	5-Medianamente Rugosa	44,58	0,19	Bom
22	27,80	0,41	Média	55,50	6-Rugosa	35,29	0,16	Bom
23	24,20	0,54	Média	55,00	6-Rugosa	50,29	0,21	Muito Bom
Média		0,50		54,73		45,17	0,19	
Des. Padrão		0,06		2,56		7,35	0,02	

A partir dos dados contidos nas Tabela 33 a Tabela 35, foi possível realizar uma comparação entre as granulometrias aplicadas quanto à macrotextura (Figura 42), resistência à derrapagem (Figura 43) e ao *IFI* (Figura 44). Os limites apresentados nos gráficos estão de acordo com as recomendações do DNIT (BRASIL, 2006) e com a classificação do *IFI* proposta por APS (2006).

Figura 42 – Avaliação da macrotextura em função da granulometria aplicada

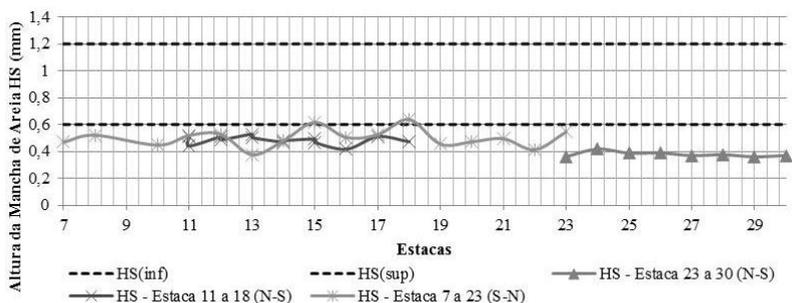


Figura 43 – Avaliação da resistência à derrapagem em função da granulometria aplicada

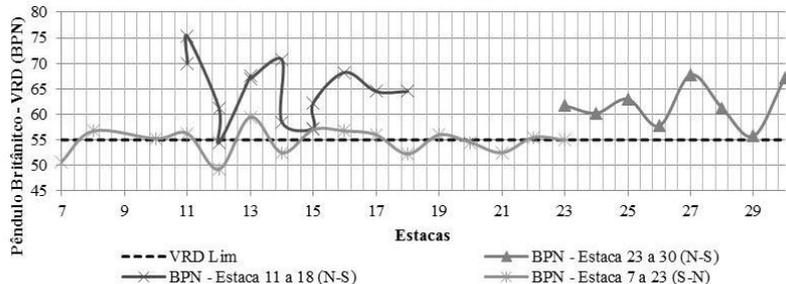
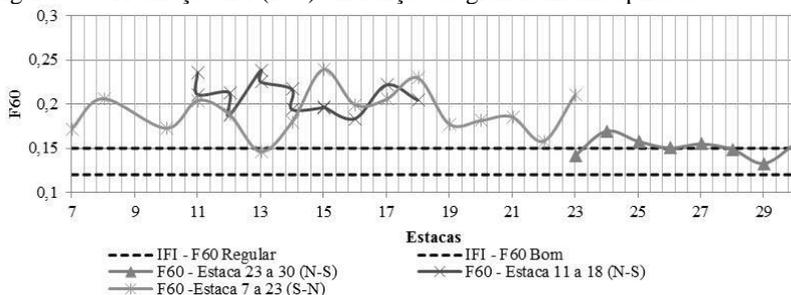


Figura 44 – Avaliação *IFI* ( $F_{60}$ ) em função da granulometria aplicada



Na Figura 42 a Figura 44, observa-se que entre as estacas 23 e 30 (N-S) a granulometria constituída com um teor de 58% de pó, apresentou uma macrotextura considerada “Fina ou Fechada”, não atendendo às diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006). Entretanto, quanto à resistência à derrapagem, a mistura foi considerada “rugosa”, e apresentou valores de  $VRD > 55$ , atendendo às recomendações do DNIT (BRASIL, 2006). Finalmente, em relação ao *IFI* –  $F_{60}$ , a mistura aplicada pode ser classificada como “regular” (APS, 2006).

Entre as estacas 11 e 18 (N-S): com a mudança da granulometria, retirando-se de 2% da fração pó e substituindo pela fração pedrisco, foi possível verificar uma melhora da macrotextura do pavimento, classificada como “média”. No entanto, ainda não atende às diretrizes recomendadas pelo DNIT (BRASIL, 2006). Em relação à resistência à derrapagem, a mistura varia de “mediamente rugosa” a “rugosa”, apresentando alguns valores de  $VRD$  abaixo de 55 (BPN), portanto, não atendendo às recomendações do DNIT (BRASIL, 2006). Em relação ao *IFI* –  $F_{60}$ , a mistura aplicada pode ser classificada como “boa” (APS, 2006).

Por último, entre as estacas 07 e 23 (S-N) a mistura modificada (M2) apresentou uma macrotextura considerada “média”, não atendendo às diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006). Quanto à resistência à derrapagem, a mistura oscilou entre “mediamente rugosa” a “rugosa”, apresentando alguns valores de VRD abaixo de 55, portanto não atendendo às recomendações do DNIT (BRASIL, 2006). No que diz respeito ao  $IFI - F_{60}$ , a mistura aplicada pode ser classificada como “boa”, e apenas em dois pontos se apresentou “regular” (APS, 2006).

De uma maneira geral, as variações de microtextura observadas nas misturas aplicadas, classificadas entre “mediamente rugosa” a “rugosa” (BRASIL, 2006), podem ser atribuídas pela diversidade do tipo de agregado dentro da mistura, que oscila entre granito, granito alterado e diabásio.

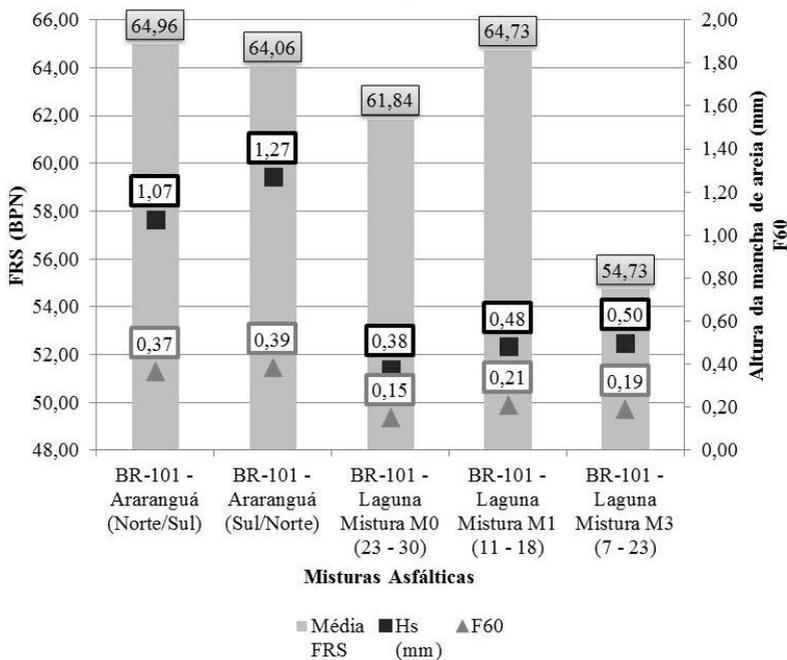
Os resultados encontrados neste estudo corroboram com o estudo de Pereira<sup>2</sup> *et al.* (2012), que analisando misturas asfálticas enquadradas na Faixa C do DNIT, obteve valores de altura de Mancha de Areia (mm) num intervalo de 0,32 a 0,84, e de BPN num intervalo de 40,2 a 52,6. Esses valores encontrados pelo autor também estão abaixo do recomendado pelas diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006).

Nota-se, ainda que, as estacas onde o pavimento foi classificado como “bom” em relação ao  $IFI - F_{60}$  (APS, 2006), na maioria dos casos são aquelas em que apresentaram melhores valores de macrotextura. Tal classificação por si só, não consegue traduzir os resultados quanto à microtextura do pavimento.

#### **4.2.3 - Análise comparativa entre as misturas aplicadas em campo**

A partir dos resultados coletados das misturas asfálticas aplicadas em campo, pode-se fazer uma avaliação entre elas em termos da caracterização da aderência pneu-pavimento apresentada (Figura 45).

Figura 45 – Comparação da aderência entre as misturas asfálticas aplicadas em campo



Na Figura 45, observa-se que a mistura asfáltica enquadrada na Faixa B do DNIT apresentou índices mais elevados do que as enquadradas na Faixa C do DNIT em termos de macrotextura, influenciando fortemente também na diferença entre as determinações do  $IFI - F_{60}$ .

Em relação à rugosidade do pavimento, visto que as origens minerais das misturas são diferentes, basalto em Araranguá e granito com alterações em Laguna, logo era esperada uma diferença em termos de microtextura. Contudo a mistura de Araranguá apresentou índices muito próximos aos obtidos da Mistura M1 do trecho de Laguna. Todavia, deve-se levar em consideração que mesmo o granito sendo uma rocha resistente ao desgaste, é possível que às alterações mineralógicas provenientes da jazida contribuísse para o aumento do polimento desses agregados.

### 4.3 - ETAPA 3 – AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EM LABORATÓRIO E APLICADAS EM CAMPO

Nesta Etapa 3, para possibilitar a avaliação das misturas asfálticas compactadas em laboratório e aplicadas em campo (a partir dos trechos rodoviários selecionados da Etapa 2) foram moldadas placas em laboratório com a mesma granulometria e teor de ligante da mistura asfáltica aplicada em campo.

A escolha foi baseada primeiramente por rodovias em que os resultados referentes de macrotextura e microtextura foram obtidos antes da abertura ao tráfego, permitindo assim, a comparação com as misturas compactadas em laboratório. Outro fator levado em consideração foi a possibilidade de obtenção dos mesmos materiais que compuseram a mistura aplicada em campo (agregados e ligante asfáltico). Portanto, as misturas que apresentam essas duas situações foram os trechos de Araranguá e de Laguna, ambos pertencentes à Rodovia BR-101.

Com o resultado das medições, foi efetuado um tratamento estatístico para verificação de valores espúrios pelo método estatístico do Teste *t-Student* para um intervalo de confiança de 95%. Os valores espúrios foram descartados do tamanho da amostra, permanecendo apenas os representativos para a determinação do *IFI* das misturas asfálticas avaliadas.

Os resultados de macrotextura, microtextura e do *IFI* da comparação dos valores obtidos em campo e laboratório serão apresentados nos itens que seguem de acordo com cada trecho.

#### **4.3.1 - BR-101 – Trecho: Araranguá – Comparação campo x laboratório**

A Tabela 36 apresenta os valores médios obtidos entre as leituras de macrotextura e microtextura realizadas em campo e em laboratório.

Tabela 36 – Comparação entre os resultados obtidos em campo e em laboratório – BR-101 – Trecho: Araranguá

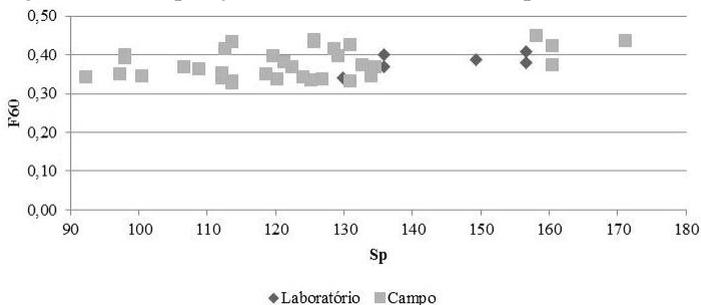
População Amostral	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
Laboratório (placa)	15,30	1,37	Muito grosseira ou aberta	60,83	6-Rugosa	143,91	0,38	Ótimo
Campo (pista)	16,58	1,17	Grosseira ou Aberta	64,50	6-Rugosa	121,91	0,38	Ótimo
Média		1,27		62,66		132,91	0,38	
Des. Padrão		0,14		2,59		15,56	0,00	

A partir dos resultados apresentados na Tabela 36, comparando-se os valores das placas moldadas em laboratório com a mesma mistura asfáltica aplicada em campo, observa-se que a superfície do pavimento é classificada em relação à macrotextura como “aberta”. E em relação à resistência a derrapagem é considerada “rugosa”. Sendo assim, atendendo as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006) nos dois parâmetros. No que diz respeito ao  $IFI - F_{60}$ , a mistura aplicada pode ser classificada como “ótima” (APS, 2006).

Ainda analisando os resultados exibidos na Tabela 36, verifica-se que as placas moldadas em laboratório mantem a tendência das características de microtextura e macrotextura da mistura asfáltica aplicada em campo. A pequena diferença observada entre os resultados encontrados podem estar associadas aos diferentes métodos de compactação utilizados em campo (rolo de pneu e rolo de chapa) e em laboratório (somene pneu).

A partir das medições realizadas em campo e em laboratório, foi possível fazer uma comparação entre os valores amostrais de  $IFI - F_{60}$  calculados para a mistura asfáltica aplicada em campo e a moldada em laboratório (Figura 46).

Figura 46 – Comparação dos valores de  $IFI$  do campo x laboratório



Na Figura 46, verifica-se que os valores de  $IFI - F_{60}$  calculados se apresentam na mesma nuvem de valores, sendo observada uma diferença mínima entre eles. O termo  $F_{60}$  é influenciado tanto pela macrotextura como pela microtextura da superfície do pavimento. Observou-se, portanto, uma pequena variação entre os valores calculados para mistura asfáltica aplicada em campo e aquela moldada em laboratório.

Em relação à microtextura, de um modo geral, os resultados referentes à comparação campo e laboratório se apresentaram bem próximos. Segundo Rodrigues (2013), a microtextura é mais relacionada à característica dos agregados (mineralogia e propriedades dos agregados) e menos suscetível a variações no coeficiente de atrito. Portanto, uma vez que os agregados utilizados são os mesmos, era esperado que os valores de microtextura ao longo da superfície da mistura fossem bem próximos. Essa análise corrobora com o estudo de Pereira<sup>1</sup> *et al.* (2012), que também observaram que os valores de coeficiente de atrito obtidos pelas misturas asfálticas compactadas em laboratório apresentam um padrão parecido com aquele encontrado em campo.

No que diz respeito à macrotextura, foi observada uma diferença entre os valores obtidos entre as placas moldadas em laboratório e a mistura aplicada em campo (Tabela 36). A diferença, de aproximadamente 16%, entre os valores de macrotextura pode ser explicada pelo fato de terem sido utilizados diferentes métodos de compactação na mistura aplicada em campo e a moldada em laboratório. Em campo foi utilizado o rolo com pneu e posteriormente o rolo liso de chapa para acabamento o que dá uma melhor acomodação nos agregados expostos da mistura. Entretanto, em laboratório, a placa moldada contou apenas com o trabalho da mesa compactadora com rolo de pneu. Essa diferença entre os valores de macrotextura devido à utilização de diferentes métodos de compactação também foi observada por Pereira<sup>2</sup> *et al.* (2012). Além disso, dados da literatura sugerem que a orientação dos agregados na superfície da mistura está fortemente ligada à compactação, sendo que no campo existe o processo de vibração, que pode levar ao tombamento dos agregados (NUNES *et al.*, 2008). Porém, em laboratório, com o passar do pneu da mesa compactadora, as partículas de agregado vão ficando cada vez mais salientes na superfície apresentando um falso ganho na medida de textura (PEREIRA<sup>2</sup> *et al.*, 2012). Adicionalmente, a macrotextura está fortemente ligada à curva granulométrica da mistura. Por isso, no momento da compactação, o rolo liso com função de acabamento da superfície pode densificar a

mistura da superfície proporcionando uma perda na macrotextura da mistura aplicada em campo (RODRIGUES, 2013).

De um modo geral, a partir da coleta de dados e análise dos resultados, verifica-se que os índices de  $IFI - F_{60}$  obtidos da mistura analisada em laboratório comprovou que pode proporcionar um bom desempenho em relação à aderência pneu-pavimento em campo.

### 4.3.2 - BR-101 – Trecho: Laguna – Comparação campo x laboratório

A Tabela 37 apresenta os valores médios obtidos para a macrotextura e microtextura realizadas em campo e em laboratório para as três variações de misturas asfálticas avaliadas.

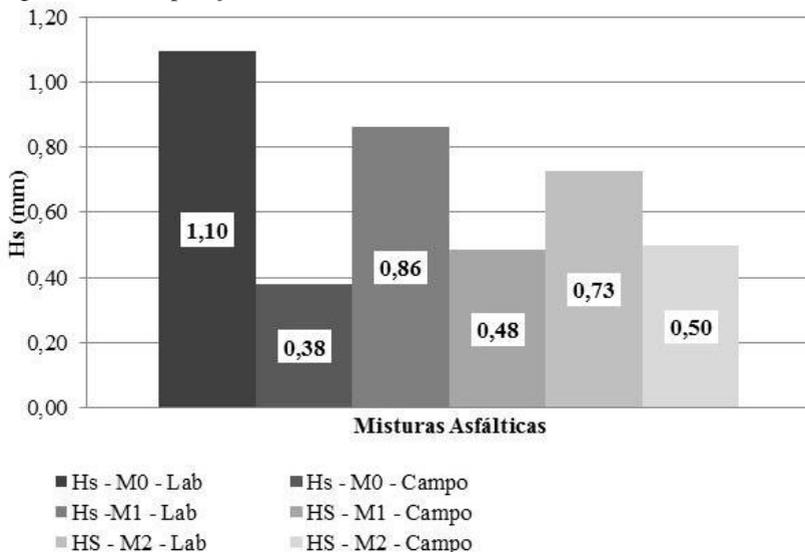
Tabela 37 – Comparação entre os resultados obtidos em campo e em laboratório – BR-101 – Trecho: Laguna

Caracterização das Misturas		M0		M1		M2	
		Laboratório	Campo	Laboratório	Campo	Laboratório	Campo
Ligante	Tipo	CAP 60/85-E		CAP 60/85-E		CAP 60/85-E	
	Teor (%)	5,35		5,40		5,20	
Mancha de Areia	HS (mm)	1,10	0,38	0,86	0,48	0,73	0,50
	Classificação (DNIT)	Grosseira ou Aberta	Fina ou Fechada	Grosseira ou Aberta	Média	Média	Média
Pêndulo Britânico	FRS (mm)	57,63	61,84	59,50	64,73	58,31	54,73
	Classificação (DNIT)	6 - Rugosa	6 - Rugosa	6 - Rugosa	6 - Rugosa	6 - Rugosa	5-Medianamente Rugosa
IFI	Sp	112,85	31,42	86,55	43,29	71,10	45,17
	F60	0,34	0,15	0,31	0,21	0,27	0,19
	Classificação (APS, 2006)	Muito Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom

A partir dos resultados apresentados na Tabela 37, verifica-se que as placas moldadas em laboratório apresentam uma superfície do pavimento classificada em relação à macrotextura como “grosseira ou aberta” para as misturas M0 e M1, e “média” para mistura M2. Entretanto, os resultados de macrotextura obtidos em campo apresentaram uma diferença significativa em relação ao laboratório, superior a 30% (Figura 47), a mistura asfáltica M0 foi classificada como

“fina” e as misturas M1 e M2 como “média” conforme as diretrizes do DNIT.

Figura 47 – Comparação dos valores de Mancha de Areia

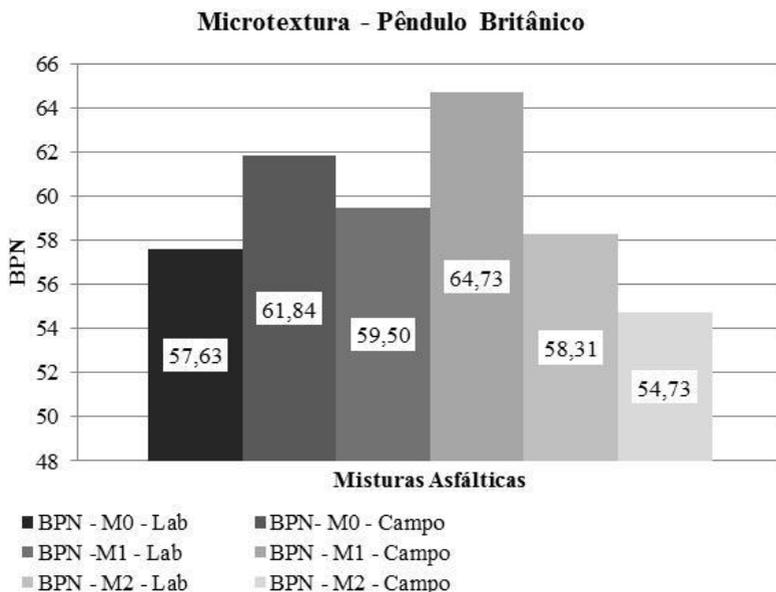


Além dos processos de compactação e execução das misturas asfálticas (Figura 47), verifica-se que a diferença entre a altura da macrotextura das misturas asfálticas moldadas em laboratório daquelas compactadas em campo diminui no mesmo sentido da redução de finos. Ou seja, a mistura M0 que tem na sua composição granulométrica 58% de finos, apresentou uma diferença entre campo-laboratório de aproximadamente 65%; porém a mistura M2 que possuiu 54% de teor de finos proporcionou uma diferença de aproximadamente 31%; e a mistura com teor de finos intermediário, M1 (56%), exibiu uma diferença de 44%.

Pode-se concluir que o aumento do teor de finos além de ocupar os espaços vazios da mistura asfáltica, auxilia a melhor acomodação dos agregados, e, conseqüentemente, diminuindo a macrotextura superficial do pavimento. Também, nota-se a importância da composição granulométrica, principalmente na parte dos agregados miúdos, visto que uma pequena diferença, no caso de 4%, pode melhorar a macrotextura em até 25%.

Em relação à resistência à derrapagem, em média tanto as misturas compactadas em laboratório como as em campo são classificadas como “rugosas”, de acordo com as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006), exceto a mistura M2 classificada como “mediamente rugosa”. A Figura 48 exibe os valores médios obtidos pelo ensaio do Pêndulo Britânico para os três tipos de misturas asfálticas para as duas condições de compactação.

Figura 48 – Comparação dos valores de Pêndulo Britânico



A variação da microtextura das misturas moldadas em laboratório das aplicadas em campo foi em média de 7% (Figura 48). Por esse parâmetro ser mais influenciado pela origem mineral do agregado, nota-se que as misturas asfálticas compactadas em laboratório apresentaram valores mais similares entre si (mesma amostra). Isso pode estar associado ao fato de terem sido utilizados agregados provenientes do mesmo lote da jazida para as três misturas. No caso em campo, a variabilidade foi maior, por conta de como se dá a exploração da bancada da pedreira, podendo ora entrar no sistema de britagem mais agregado são, ora mais veios de diabásio.

No tocante ao  $IFI - F_{60}$ , as misturas moldadas em laboratório foram classificadas em “muito boa” (APS, 2006). Entretanto, essa qualificação não pode ser expressa às misturas aplicadas em campo, em que mesmo apresentando uma macrotextura insuficiente ( $VRD < 55$ ), teve a sua classificação entre “muito boa” a “boa” em termos de aderência.

Desse modo, a partir da coleta de dados e análise dos resultados, pode-se verificar que a execução da forma de compactação das misturas em laboratório e campo influenciaram diretamente os fatores que contribuem para a aderência pneu-pavimento. Pois no laboratório, as misturas apresentaram resultados satisfatórios, o que não foi comprovado em campo. Isso pode estar relacionado à acomodação dos finos na mistura asfáltica em decorrência ao processo de compactação.

### **4.3.3 - Análise comparativa dos resultados obtidos em laboratório e em campo das misturas asfálticas da Etapa 3**

A partir dos resultados apresentados, verifica-se que a diferença entre os métodos de compactação utilizados em laboratório e em campo influenciaram diretamente os resultados referentes à macrotextura. Contudo, a partir da Figura 46, nota-se que a mistura asfáltica enquadrada na Faixa B do DNIT apresentou uma menor diferença campo-laboratório do que aquelas enquadradas na Faixa C do DNIT. Isso pode estar vinculado ao fato da acomodação de finos pela falta de vibração da mistura asfáltica em laboratório.

Em relação aos índices de microtextura, comparando os resultados de campo com os de laboratório, tanto a mistura do trecho de Araranguá quanto às do trecho de Laguna, mantiveram uma variação similar, respectivamente de 6% e 7%.

Neste contexto, verifica-se que para previsão dos parâmetros relacionados à aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas projetadas em laboratório, deve-se corrigir pelo menos os resultados referentes à macrotextura por meio da determinação de um fator campo-laboratório. Ou ainda, aperfeiçoar o processo de compactação em laboratório com o propósito de alcançar as características das misturas asfálticas compactadas em campo.

#### 4.4 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ATUAÇÃO DO TRÁFEGO NA ADERÊNCIA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS NA RODOVIA

Com o intuito de avaliar a influência da atuação do tráfego na aderência das misturas asfálticas aplicadas na rodovia, nesta Etapa 4, foram selecionados três trechos rodoviários localizados no estado de Santa Catarina:

- BR-101 – Araranguá;
- SC-439 – Urubici;
- SC-415 – Itapoá.

A seleção desses trechos ocorreu devido a eles estarem abertos ao tráfego no período de elaboração deste trabalho, possibilitando assim, a avaliação superficial da pista de rolamento em função do tempo de atuação do tráfego.

O trecho BR-101 – Araranguá, como mencionado nas etapas anteriores, tem sua mistura asfáltica composta por agregados de origem mineral basáltico e o ligante do tipo CAP-50/70 com teor de 4,35%.

A rodovia estadual SC-439 foi dividida em três segmentos de monitoramento com misturas asfálticas constituídas por agregados de mesma origem mineral (basalto), com algumas particularidades em relação à curva granulométrica e ao tipo e teor de ligante utilizado. Nos segmentos denominados Segmento 1 e Segmento 2 foram utilizados um teor de 5,8% de ligante CAPFLEX-B, e no Segmento 3 foi utilizado o ligante convencional CAP-50/70 com um teor de 5,74%.

O trecho da rodovia estadual SC-415 – Itapoá, tem na constituição da sua mistura asfáltica agregados provenientes de uma jazida de gnaiss e utiliza o ligante CAPFLEX-B com um teor de 6,10%.

Para a avaliação da aderência pneu-pavimento em todos os trechos, foram utilizados os mesmos equipamentos: o ensaio de Mancha de Areia, Pêndulo Britânico e *Grip Tester*. Entretanto, esse último equipamento foi utilizado apenas nas leituras iniciais de microtextura, e as leituras finais, após 1 ano de atuação do tráfego, foram feitas apenas com o Pêndulo Britânico.

Devido à falta de norma técnica dos órgãos rodoviários para avaliação da resistência à derrapagem dos valores medidos pelo *Grip Tester*, foram utilizados os indicadores da Resolução N° 236, de 5 de

junho de 2012 (avaliação dos resultados de atrito em pistas de pouso e decolagem de aeródromos) proposta pela ANAC (Tabela 38) que admite uma tolerância de 2,5% sobre os valores de coeficiente de atrito.

Tabela 38 – Parâmetros de coeficiente de atrito utilizando o *Grip Tester*

Velocidade do ensaio (km/h)	Espessura da lâmina de água simulada (mm)	Coeficiente de atrito	
		Nível de manutenção	Nível mínimo
65	1	0,53	0,43
95	1	0,36	0,24

Fonte: ANAC (2012).

Após a coleta de dados, foi realizado um tratamento estatístico para verificação de valores espúrios pelo método estatístico do Teste *t-Student* para um intervalo de confiança de 95%. Os valores espúrios foram descartados do tamanho da amostra, permanecendo apenas os representativos para a determinação do *IFI* das misturas asfálticas avaliadas.

O resumo dos resultados de macrotextura, microtextura e do *IFI* das misturas asfálticas aplicadas em campo selecionadas na Etapa 4 estão apresentados nos itens a seguir.

#### 4.4.1 - BR-101 – Trecho: Araranguá – Atuação do tráfego

Após um ano da abertura ao tráfego desse trecho rodoviário, foi realizado um segundo levantamento de dados por meio do ensaio de Mancha de Areia e do Pêndulo Britânico. Neste período o tráfego atuante estudado foi de  $N_{8,2t}$  igual a  $1,7 \times 10^7$  (USACE).

Os ensaios foram realizados apenas na pista no sentido Sul/Norte. Pois, no sentido oposto o DNIT aplicou uma camada de microrevestimento, modificando assim, as condições de textura da superfície. A Tabela 39 apresenta a média dos resultados obtidos nas Etapas 2 e 4 deste trabalho, no sentido Sul/Norte do trecho.

Tabela 39 – Comparação dos resultados obtidos após um ano de serviço - Araranguá (sentido Sul- Norte) – Mancha de Areia e Pêndulo Britânico

Pêndulo Britânico e Ensaio de Mancha de Areia								
Km	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
Ano 0	15,91	1,27	Muito grosseira ou	64,06	6-Rugosa	132,71	0,39	Ótimo
Ano 1	19,87	0,83	Grosseira ou Aberta	50,30	5-Medianamente Rugosa	82,90	0,26	Muito Bom

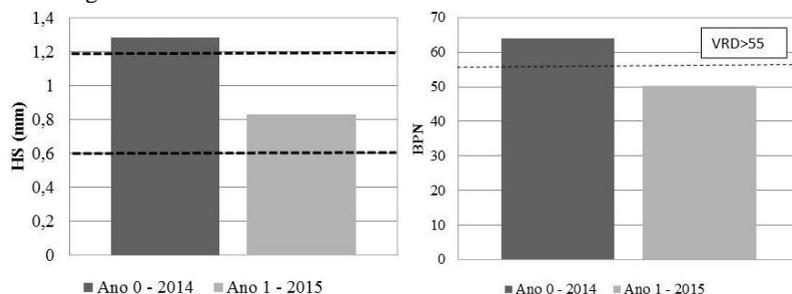
Em relação aos resultados obtidos nesse intervalo de tempo, nota-se que após um ano da abertura ao tráfego (Tabela 39), atendem em partes as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006).

Em relação à macrotextura no Ano 1, a mesma pode ser classificada como “grosseira ou aberta”, atendendo os requisitos normativos de  $H_s > 0,60\text{mm}$ . Entretanto, em relação à resistência à derrapagem, a superfície do pavimento não apresenta rugosidade suficientemente exigida pela norma do DNIT (BRASIL, 2006), visto que apresenta em média  $VRD < 55$ .

No entanto, no que diz respeito ao  $IFI - F_{60}$ , contrariando os índices obtidos pelos ensaios realizados, a mistura pode ser classificada como “muito boa” (APS, 2006).

A partir dos resultados, verifica-se que em média os valores de macrotextura diminuíram cerca de 35% (Figura 49). Para a microtextura, considerando apenas os resultados obtidos pelo Pêndulo Britânico, a redução do VRD foi de 21% (Figura 49). Os resultados pontuais de cada estaca estão apresentados no Apêndice A deste trabalho.

Figura 49 – Avaliação da macrotextura e microtextura após um ano da abertura do tráfego



Por meio dos resultados apresentados na Figura 49, infere-se que após a passagem do tráfego referente ao período de um ano, em geral a macrotextura continuou tendo um bom desempenho, garantindo uma boa drenabilidade da água que precipita na pista de rolamento.

Em relação à microtextura, nota-se que nesse período de um ano, a superfície do pavimento atingiu um grau de desgaste inferior ao exigido pelo DNIT ( $VRD \geq 55$ ), sendo necessária uma intervenção para garantir uma boa resistência à derrapagem aos veículos.

Por isso, mais uma vez se evidencia a preocupação da utilização do *IFI* como instrumento na gerência dos pavimentos, visto que a classificação qualitativa indica que a aderência pneu-pavimento pode ser considerada “muito boa” (APS, 2006), entretanto neutralizando os resultados não satisfatórios referentes à rugosidade do pavimento.

#### **4.4.2 - SC-439 – Trecho: Urubici – Atuação do tráfego**

A rodovia SC-439 foi aberta ao tráfego em janeiro de 2012, dimensionada para um tráfego previsto no período de projeto de  $3,71 \times 10^6$ . As primeiras medições para avaliação da aderência pneu-pavimento foram feitas em março de 2014, ou seja, depois de 2,2 anos da abertura ao tráfego. Estima-se que neste período tenha passado um tráfego equivalente a um  $N_{8,2t}$  igual a  $7,4 \times 10^5$  (USACE).

Naquele primeiro levantamento foram utilizados os métodos do ensaio de Mancha de Areia para verificação da macrotextura e o *Grip Tester* para estimativa da microtextura (Tabela 41).

No entanto, no segundo levantamento, foram utilizados o ensaio de Mancha de Areia e o Pêndulo Britânico (Tabela 42), sendo realizadas num intervalo de um ano após a primeira leitura, no caso em março de 2015, em que a rodovia recebia um tráfego estimado a um  $N_{8,2t}$  igual a  $1,0 \times 10^6$  (USACE).

Para possibilitar uma previsão da aderência pneu-pavimento no ano de abertura ao tráfego, foram moldadas placas em laboratório com as mesmas características da mistura asfáltica aplicada em campo. Devido os Segmentos 1 e 2 terem a mesma composição de mistura asfáltica, foram moldados um grupo de placas para esses dois segmentos e outro grupo para o Segmento 3. A Tabela 40 apresenta os valores médios das placas moldadas em laboratório de acordo com cada segmento.

Tabela 40 – Resultados obtidos em laboratório - SC-439 - Trecho de Urubici

Leituras - Laboratório								
Número da Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
Seg 1 e 2	17,83	1,00	Grosseira ou Aberta	69,56	6-Rugosa	102,57	0,38	Ótimo
Seg 3	19,98	0,80	Grosseira ou Aberta	69,83	6-Rugosa	79,87	0,34	Muito Bom

Os resultados obtidos em laboratório (Tabela 40) são considerados satisfatórios, visto que atendem as diretrizes do DNIT tanto em relação à macrotextura como em função da microtextura. No que diz respeito ao *IFI* –  $F_{60}$ , a mistura do Segmento 1 e 2 pode ser classificada como “ótima” e para o Segmento 3 como “muito boa” (APS, 2006).

O resumo da média dos resultados de campo obtidos nas leituras iniciais pode ser visualizado na Tabela 41, de acordo com o sentido do tráfego.

Tabela 41 – Resultados obtidos com o *Grip Tester* - SC-439 - Trecho de Urubici – Leituras Iniciais – Ano 2014 ( $N_{8,2t} = 7,4 \times 10^5$ )

Leituras Iniciais - Li								
Estacas	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade de (km/h)	Sp	F60	Classificação
Seg 1 - U/M (450 a 460)*	22,47	0,63	Média	0,54	23,81	60,04	0,35	Ótimo
Seg 1 - M/U (450 a 460)*	22,47	0,63	Média	0,55	24,50	60,04	0,36	Ótimo
Seg 2 - U/M (125 a 140)*	21,05	0,72	Média	0,55	24,25	70,52	0,38	Ótimo
Seg 2 - M/U (125 a 140)*	21,05	0,72	Média	0,55	24,19	70,52	0,38	Ótimo
Seg 3 - U/M (65 a 80)**	21,39	0,70	Média	0,48	23,81	67,70	0,33	Muito Bom
Seg 3 - M/U (65 a 80)**	21,39	0,70	Média	0,50	23,44	67,70	0,35	Muito Bom

(\*) Ligante CAPFLEX-B (asfalto borracha)

(\*\*) Ligante convencional CAP 50/70

A partir da Tabela 41, nota-se que os resultados obtidos em todos os segmentos, atendem as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006) em relação à macrotextura. Contudo, esperava-se que os resultados dos dois

primeiros segmentos fossem próximos, devida a mesma característica da mistura asfáltica (asfalto-borracha). Todavia, o Segmento 1 é o mais afastado do centro da cidade, onde o tráfego dessa região é mais intensificado por veículos agrícolas que utilizam a rodovia para se locomoverem entre as pequenas propriedades. Provocando, conseqüentemente, a colmatação dos vazios da mistura asfáltica devido à terra trazida pelos pneus dos tratores e caminhões.

Em relação à resistência à derrapagem, os coeficientes de atrito medidos com o *Grip Tester* apontam que os dois primeiros segmentos estão próximos do nível de manutenção, conforme referência da ANAC (2012), enquanto que, o terceiro segmento apresenta características de atrito entre o nível mínimo aceitável e o nível de manutenção.

Ainda em relação à diferença da microtextura dos Segmentos 1 e 2 em relação ao Segmento 3, visto que utilizaram agregados de mesma origem mineral e curvas granulométricas bem próximas, pode-se atribuir então, a diferença da rugosidade devido ao tipo de ligante utilizado. Pois nos dois primeiros segmentos foi utilizado asfalto-borracha (CAPFLEX-B) e no terceiro, asfalto convencional (CAP 50/70).

No que diz respeito ao  $IFI - F_{60}$ , as misturas aplicadas podem ser classificadas entre “muito boa” a “ótima” (APS, 2006). Contudo, verifica-se a necessidade de se avaliar os parâmetros individualmente referentes à macrotextura e microtextura do pavimento. Considerando que na rodovia houve a atuação de 2,2 anos do tráfego, o  $IFI - F_{60}$  calculado em laboratório, verifica-se uma diminuição em geral de apenas 2%. Um dos fatores que podem ter contribuído para esse bom desempenho, foi a utilização de agregados, de origem basáltica, que apresentaram uma resistência ao desgaste de Abrasão Los Angeles de 17% e 0,86% de perda de massa pelo ensaio de sanidade.

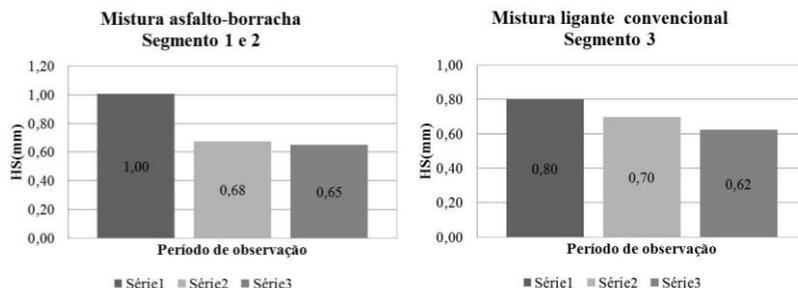
Após um ano da primeira leitura, foi realizada uma segunda medição, utilizando-se o Pêndulo Britânico para avaliação da microtextura. A Tabela 42 apresenta o resumo da média dos resultados obtidos na segunda leitura.

Tabela 42 – Resultados obtidos com o Pêndulo Britânico - SC-439 - Trecho de Urubici - Leituras Finais – Ano 2015 ( $N_{8,2r} = 1,0 \times 10^6$ )

Leituras Finais - Ano 2015								
Estacas	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
Seg 1 - U/M (450 a 460)	23,06	0,60	Média	49,00	5-Medianamente Rugosa	56,79	0,21	Bom
Seg 1 - M/U (450 a 460)	21,56	0,69	Média	54,85	5-Medianamente Rugosa	66,87	0,25	Muito Bom
Seg 2 - U/M (125 a 140)	22,35	0,64	Média	53,67	5-Medianamente Rugosa	60,96	0,23	Muito Bom
Seg 2 - M/U (125 a 140)	21,85	0,67	Média	51,75	5-Medianamente Rugosa	65,05	0,24	Muito Bom
Seg 3 - U/M (65 a 80)	23,66	0,57	Média	51,97	5-Medianamente Rugosa	53,38	0,21	Bom
Seg 3 - M/U (65 a 80)	21,70	0,68	Média	47,28	5-Medianamente Rugosa	65,46	0,22	Muito Bom

Por meio da Tabela 42, nota-se que, para todos os segmentos, os resultados obtidos referentes à macrotextura ainda atendem os limites definidos nas diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006), exceto o segmento 3 no sentido U/M (Urubici – Morro da Igreja). Contudo, após um ano da primeira avaliação, a macrotextura diminuiu pouco, em média 3% (Figura 50).

Figura 50 – Ensaio de Mancha de Areia das leituras finais da avaliação de macrotextura da rodovia SC-439 – Urubici



Em relação aos resultados referentes à microtextura, todos os segmentos apresentam a superfície excessivamente desgastada, visto que os valores de resistência à derrapagem estão abaixo dos recomendados ( $VRD > 55$ ) pelo DNIT (BRASIL, 2006). Além do mais, os segmentos que na primeira avaliação estavam iminentemente

indicados para manutenção, após um ano da segunda leitura, conclui-se que todos os segmentos estão indicados para uma intervenção.

Em relação ao  $IFI - F_{60}$ , as misturas aplicadas ainda podem ser classificadas entre “boa” a “muito boa” (APS, 2006). Entretanto, os valores de microtextura não correspondem a essa classificação, uma vez que as misturas apresentam rugosidade insuficiente. Novamente, confirma-se que o fator da macrotextura influencia diretamente na classificação do  $IFI - F_{60}$ , desconsiderando os resultados insatisfatórios referentes à microtextura.

As Figura 51, Figura 52 e Figura 53 apresentam como evoluiu o desempenho do  $IFI - F_{60}$  entre as duas medidas realizadas.

Figura 51 – Desempenho do Segmento 1 da rodovia SC-439 – Urubici

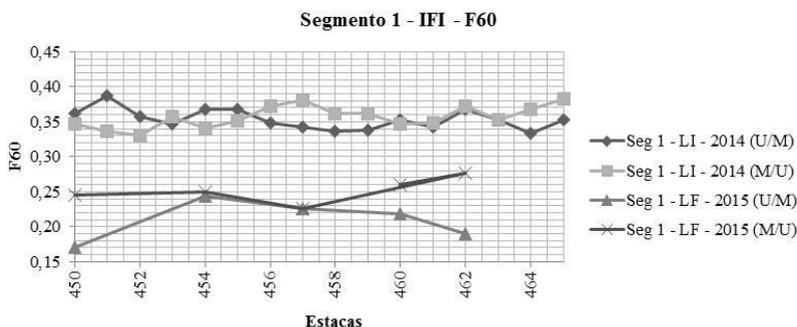


Figura 52 – Desempenho do Segmento 2 da rodovia SC-439 – Urubici

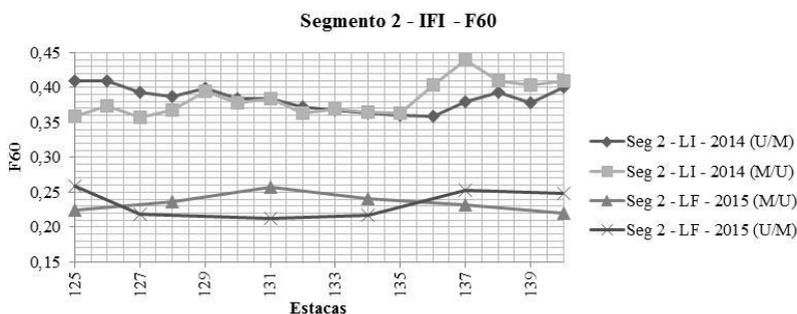
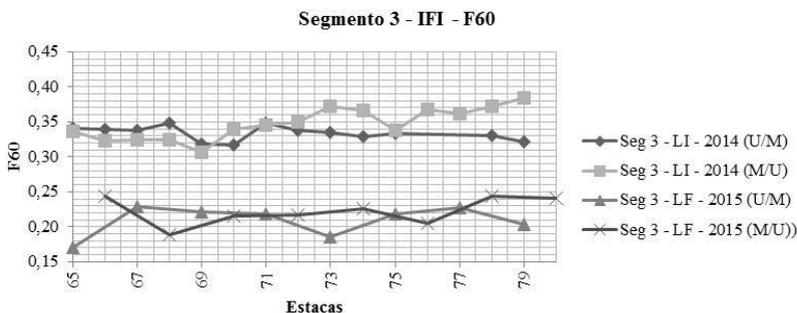


Figura 53 – Desempenho do Segmento 3 da rodovia SC-439 – Urubici



Mesmo que a classificação pelo  $IFI - F_{60}$  possa não traduzir a real situação da textura da superfície, todavia esse índice pode ser uma boa ferramenta para a análise e comparação de desempenho das misturas. Verifica-se por meio dos gráficos apresentados (Figura 51, Figura 52 e Figura 53) que a queda no desempenho das misturas quanto ao  $IFI - F_{60}$  é de até 40% de um ano para o outro.

#### 4.4.3 - SC-415 – Trecho: Itapoá – Atuação do Tráfego

O segmento de monitoramento compreendido entre as estacas 1172 a 1187 da rodovia estadual SC-415 foi aberto ao tráfego em dezembro de 2011. O tráfego previsto para o período de projeto foi de um  $N_{8,2t}$  igual a  $1,0 \times 10^7$ .

A mistura asfáltica se enquadra na Faixa C do DNIT é constituída por agregados provenientes de uma jazida de gnaisse e ligante CAPFLEX-B com teor de 6,10%.

Os resultados obtidos referentes à aderência pneu-pavimento da mistura asfáltica desse trecho foram coletados em três fases:

- Fase 1 – ensaios realizados em laboratório: foram utilizados o ensaio de Mancha de Areia e o Pêndulo Britânico para obtenção dos valores de  $IFI$  (Tabela 43). O objetivo desta fase foi de obter medidas para o ano zero de abertura ao tráfego, visto que na época da execução do pavimento ainda não se dispunha do equipamento de medição.
- Fase 2 – em março de 2014, após 2 anos e 3 meses da abertura da rodovia ao tráfego, foram realizadas medições com o *Grip Tester* e o ensaio de Mancha de Areia para obtenção dos valores

de *IFI* (Tabela 44). O tráfego estimado foi de um  $N_{8,2t} 2,0 \times 10^6$  (USACE).

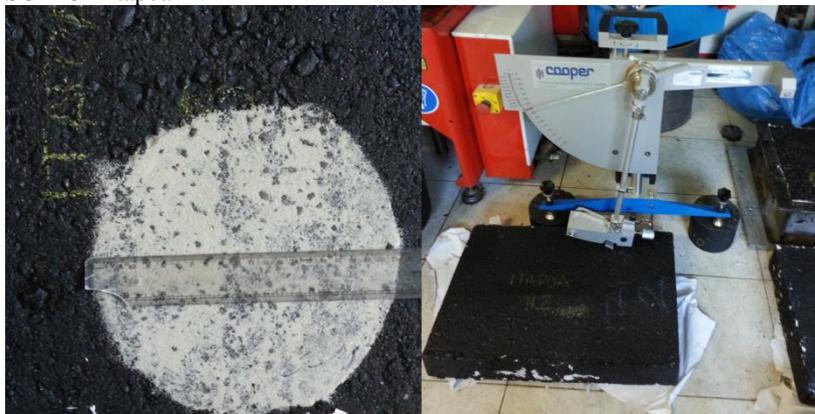
- Fase 3 – ocorreu em abril de 2015, após aproximadamente 1 ano das leituras da Fase 2, foram realizadas medições com o Pêndulo Britânico e o ensaio de Mancha de Areia para obtenção dos valores de *IFI* (Tabela 45). O tráfego atuante estimado foi de  $N_{8,2t} 3,0 \times 10^6$  (USACE).

Tabela 43 – Resultados Fase 1 – Medidas em Laboratório – Trecho de Itapoá

Número da Amostra	Macrot textura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	21,60	0,68	Média	62,00	6-Rugosa	66,11	0,28	Muito Bom
2	20,70	0,74	Média	68,75	6-Rugosa	72,61	0,32	Muito Bom
3	20,30	0,78	Média	73,50	6-Rugosa	76,61	0,35	Muito Bom
4	21,00	0,73	Média	73,25	6-Rugosa	70,81	0,33	Muito Bom
5	21,10	0,72	Média	72,75	6-Rugosa	70,03	0,33	Muito Bom
6	20,90	0,73	Média	67,50	6-Rugosa	71,01	0,31	Muito Bom
Média		0,73		69,63		71,20	0,32	
Des. Padrão		0,03		4,50		3,43	0,02	

Em relação aos resultados obtidos na Fase 1, realizado em placas moldadas em laboratório (Tabela 43), verifica-se que os resultados atendem as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006) tanto em relação à macrotextura (média –  $Hs_{\text{médio}} = 0,73$ ) quanto à resistência à derrapagem (rugosa –  $VRD_{\text{médio}} = 69,63$ ). No que diz respeito ao *IFI* –  $F_{60}$ , a mistura pode ser classificada como “ótima” (APS, 2006). A Figura 54 apresenta a realização dos ensaios em laboratório.

Figura 54 – Fase 1 – ensaios realizados em laboratório da mistura asfáltica da SC-415 – Itapoá



Os resultados obtidos na segunda fase de análise da aderência pneu-pavimento estão apresentados na Tabela.

Tabela 44 – Resultados Fase 2 – Medidas em Campo – *Grip Tester* – Trecho de Itapoá (2014)

Leituras Iniciais - Li - 2014								
Estacas	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade de	Sp	F60	Classificação
G/I (Garuva - Itapoá)	25,61	0,49	Média	0,54	24,14	43,71	0,30	Muito Bom
I/G (Itapoá - Garuva)	25,61	0,49	Média	0,64	24,14	43,71	0,34	Muito Bom

Na Fase 2, verifica-se que a macrotextura (Tabela 44), classificada como “média” ( $Hs_{\text{médio}} = 0,49$ ), não atende às diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006).

Comparando esses valores de macrotextura da Fase 2 com os obtidos em laboratório, constata-se uma queda em torno de 33%. Considerando-se que as misturas asfálticas foram concebidas por diferentes métodos de compactação, e que as leituras da Fase 2 foram realizadas depois de 2,3 anos de auação do tráfego, pode-se admitir que a macrotextura sofreu pouca alteração.

Em relação à resistência à derrapagem, nota-se que há uma diferença de resultados em função do sentido da rodovia. Os

coeficientes de atrito provenientes do *Grip Tester* apontam que no sentido Garuva/Itapoá a superfície do pavimento está próximo do nível de manutenção, conforme referência da ANAC (2012). Ressalta-se que neste sentido, tem-se uma atuação do tráfego com os caminhões carregados no sentido do porto de Itapoá, enquanto que no sentido Itapoá/Garuva, uma boa parcela dos caminhões transportam containers vazios.

De maneira geral, nessa Fase 2, observa-se que a microtextura do pavimento teve um bom desempenho quanto aos esforços do tráfego durante esse período de 2,3 anos, mesmo os agregados apresentando um desgaste de 26,90% no ensaio de Abrasão Los Angeles. Outro fator que deve ser correlacionado aos bons resultados é o ensaio de sanidade que apresentou apenas 0,78% de perda de massa.

Por último, as médias dos resultados provenientes das medições realizadas na Fase 3 estão exibidas na Tabela 45.

Tabela 45 – Resultados Fase 3 – Medidas de Campo – Pêndulo Britânico – Trecho de Itapoá (2015)

Estacas	Leituras Finais - LF - 2015							
	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
G/I (Garuva - Itapoá)	26,73	0,45	Média	60,58	6-Rugosa	39,16	0,18	Bom
I/G (Itapoá - Garuva)	25,38	0,50	Média	63,38	6-Rugosa	44,94	0,21	Muito Bom

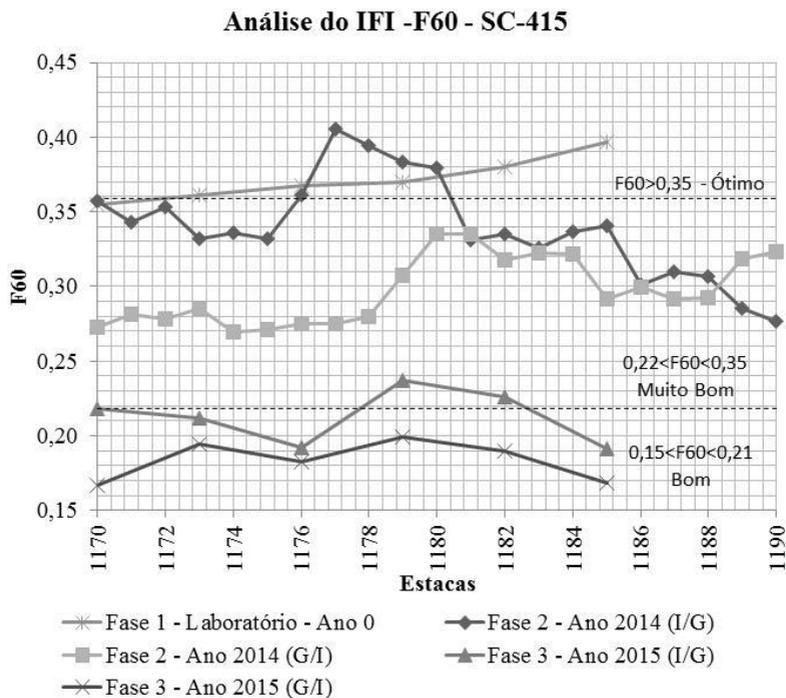
A partir dos resultados apresentados na Tabela 45, referentes à Fase 3 e realizados um ano depois da Fase 2, verifica-se que a macrotextura é classificada como “média”, não atendendo as diretrizes do DNIT (BRASIL, 2006). No entanto, no sentido Itapoá-Garuva, a macrotextura permaneceu basicamente inalterada, porém no outro sentido ocorreu uma diminuição de 8%. Cabe ressaltar, que no sentido Garuva/Itapoá, o carregamento dos caminhões tendem a ser maior, provocando, consequentemente, um maior desgaste na superfície.

Em relação à resistência à derrapagem avaliada na Fase 3, observa-se que há uma diferença de resultados em função do sentido da rodovia, embora ambas sejam classificadas como “rugosa”. No sentido Garuva/Itapoá a resistência à derrapagem foi de  $VRD_{\text{médio}} = 60,5$ , e no sentido Itapoá/Garuva o valor foi de  $VRD_{\text{médio}} = 63,3$ . Esses valores de microtextura inferidos na Fase 3, mesmo após 3,3 anos de abertura ao tráfego, podem estar associados à remoção do ligante da superfície pela

passagem do tráfego e pelas boas características tecnológicas dos agregados.

Ao longo da realização dos ensaios para verificação das características de aderência pneu-pavimento no decorrer das Fases 1, 2 e 3, elaborou-se um gráfico para comparação do  $IFI - F_{60}$  entre elas (Figura 55) para possibilitar a visualização da diminuição do desempenho ao longo do tempo.

Figura 55 – Avaliação do  $IFI$  em função das fases de medições



Por meio do gráfico apresentado na Figura 55, verifica-se que  $IFI - F_{60}$  alterou ao longo do tempo, variando de “ótimo” a “bom”, de acordo com a classificação proposta por Aps (2006). Observa-se que da Fase 1 para a Fase 2 há um decréscimo em média do  $IFI - F_{60}$  em torno de 10%, e para a Fase 3, em média de 40%. Entre as Fases 2 e 3, visualiza-se um decréscimo de 30%, descrevendo assim, uma tendência que a mistura tem em diminuir suas características de aderência ao longo do tempo.

Tanto na Fase 2 como também na Fase 3, apesar de que em ambos os sentidos foram utilizados o mesmo tipo de mistura asfáltica, mesmo teor de ligante e agregado de mesma origem mineral, observou-se valores diferentes em relação à resistência à derrapagem que acabaram influenciando os valores de  $IFI - F_{60}$ . Como já enfatizado, há uma tendência de que no sentido Garuva/Itapoá, os caminhões trafegam carregados e no retorno, muitos deles transportam containers vazios.

#### 4.4.4 - Análise comparativa entre os resultados obtidos do desempenho das misturas asfálticas da Etapa 4

A partir dos resultados coletados das misturas asfálticas no intervalo de tempo de observação, pode-se fazer uma avaliação entre elas em termos do desempenho quanto à aderência pneu-pavimento.

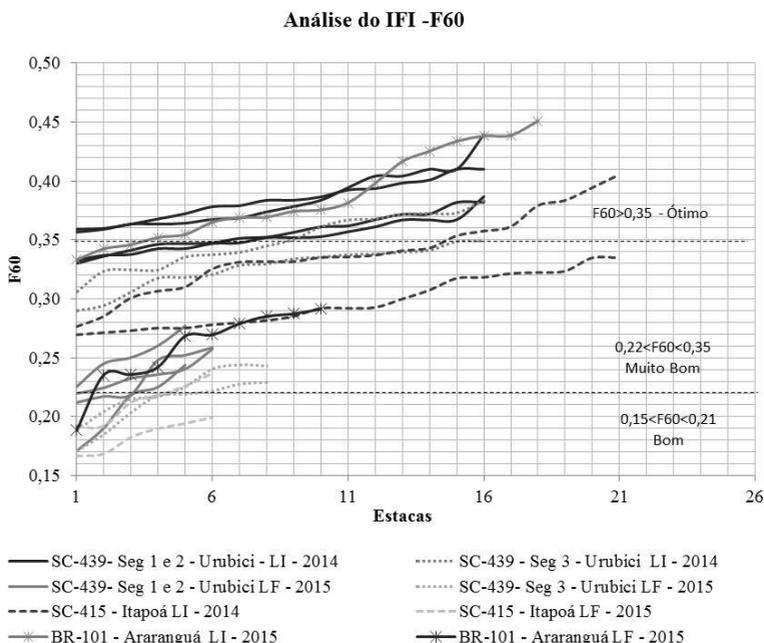
A Tabela 46 apresenta os índices de  $IFI - F_{60}$  referente às determinações feitas para todas as amostras das três rodovias analisadas. Também foi possível fazer uma comparação gráfica (Figura 56) da queda de desempenho da aderência pneu-pavimento do período de observação.

Tabela 46 – Análise do volume de tráfego dos trechos de monitoramento

Trechos	Volume de Tráfego			Aderência pneu-pavimento		
	$N_{8,2t}$ previsto	$N_{8,2t}$ 2014	$N_{8,2t}$ 2015	IFI ( $F_{60}$ médio) 2014	IFI ( $F_{60}$ médio) 2015	IFI ( $F_{60}$ médio) Diminuição (%)
Araranguá	$1,6 \times 10^8$	$0,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$	0,39	0,26	33,3%
Itapoá	$1,0 \times 10^7$	$2,0 \times 10^6$	$3,0 \times 10^6$	0,34	0,18	47,1%
Urubici - Seg 1	$3,7 \times 10^6$	$7,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	0,35	0,23	34,3%
Urubici - Seg 2	$3,7 \times 10^6$	$7,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	0,38	0,23	39,5%
Urubici - Seg 3	$3,7 \times 10^6$	$7,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	0,34	0,22	35,3%

Na Tabela 46, observa-se que as misturas partem de  $IFI - F_{60}$  quase que de mesma ordem de grandeza e apresentam praticamente a mesma porcentagem de diminuição desse índice, embora o tráfego atuante no período em cada trecho seja muito diferente (dez vezes maior na comparação entre Araranguá e Urubici).

Figura 56 – Comparação do desempenho quanto à aderência pneu-pavimento



Em relação aos resultados obtidos, cabe ressaltar que a primeira leitura do trecho de Araranguá foi realizada antes da abertura ao tráfego e nos demais trechos foram realizados depois de aproximadamente 2 anos da passagem do tráfego pela rodovia.

Devido à diferença de tráfego atuante nos trechos avaliados, como por exemplo, o tráfego atuante no segmento de Araranguá foi de cerca de 10 vezes maior em relação ao atuante nos segmentos de Urubici. Pode-se concluir que as misturas de Urubici apresentam um maior tendência ao polimento.

No caso da mistura de Araranguá, verifica-se que em apenas um ano da passagem do tráfego a sua queda de desempenho alcançou parâmetros de aderência pneu-pavimento próximo das misturas que tiveram uma maior exposição ao tráfego. A partir disso, pode-se observar que a ação do intemperismo (tempo de exposição) seria tão ou mais influente na queda da aderência no tempo do que a própria intensidade do tráfego.



## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo realizado neste trabalho foi possível verificar algumas das variáveis que influenciam na caracterização da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas, tanto as compactadas em campo como as compactadas em laboratório.

As variáveis estudadas neste trabalho foram a granulometria, a origem mineral dos agregados e o tipo de ligante, teor de ligante e tráfego atuante.

Com relação à granulometria, pode-se inferir que influenciou principalmente os resultados de macrotextura, induzindo não só diretamente na determinação dos valores de  $IFI - F_{60}$ , como também na macrotextura da superfície dos pavimentos.

Outro fator que se deve levar em consideração quanto à granulometria das misturas asfálticas é que o aumento do teor de finos contribuiu para a diminuição dos índices de macrotextura e conseqüentemente do  $IFI - F_{60}$ . Ademais, notou-se que também influenciou na diminuição dos índices de microtextura, pois o aumento de teor de finos na mistura asfáltica contribuiu para um maior envolvimento nos agregados graúdos de tal maneira a reduzir a aspereza da superfície.

Por meio das medidas realizadas com os diferentes equipamentos ficou demonstrado que as misturas asfálticas enquadradas na Faixa B do DNIT apresentam maiores índices de aderência pneu-pavimento em comparação com as misturas enquadradas na Faixa C.

Avaliando também, a influência da origem mineral dos agregados utilizados nas misturas asfálticas, a modificação da origem mineral do agregado aplicado às mesmas condições de granulometria, tipo e teor de ligante, alterou as condições de aderência pneu-pavimento. Ainda, pode-se inferir que a qualidade da jazida influencia na microtextura dos pavimentos, como foi o caso das misturas asfálticas provenientes da jazida de granito com alteração em que apresentaram resultados inferiores aos daquelas que utilizaram granito são.

Ficou evidenciado que a diferença entre os métodos de compactação utilizados em laboratório e em campo influenciaram diretamente os resultados referentes à macrotextura e minimamente a microtextura. Particularmente para este estudo em que as misturas asfálticas foram compactadas em laboratório somente pela ação de pneus, essas apresentam um nível de macrotextura superior quando comparadas com as aplicadas em campo, destacando-se assim, a influência dos diferentes processos de compactação utilizados.

Neste contexto, verifica-se a necessidade de aplicação de um fator campo laboratório para corrigir os resultados de macrotextura obtidos em laboratório a fim de prever esses resultados em campo, ou ainda, aperfeiçoar o processo de compactação em laboratório com o propósito de alcançar as características das misturas asfálticas compactadas em campo.

Em relação aos resultados de microtextura, uma vez que foram utilizados agregados de mesma origem mineral tanto em campo como em laboratório, verificou-se que os resultados da resistência à derrapagem, provenientes do Pêndulo Britânico, se apresentaram similares.

Os métodos utilizados para medir os parâmetros de microtextura, verifica-se que o Pêndulo Britânico e o *Grip Tester* traduzem o mesmo perfil da superfície do pavimento.

Sobre o Pêndulo Britânico, nota-se que foi muito eficiente nas medições realizadas em laboratório, entretanto apresentou uma baixa produtividade em campo, em média vinte determinações por dia com o auxílio de dois operadores. Além do mais o Pêndulo Britânico, fornece os valores de BPN para cada estaca, sendo assim apenas um ponto representa as características da superfície entre elas.

Em relação ao *Grip Tester* utilizado apenas nas medições realizadas em campo, observou-se uma produtividade muito superior ao Pêndulo Britânico, visto que para um trecho de quinze estacas (300m) finalizou as medições em dez minutos, depois da calibração e montagem do equipamento. Cabe ressaltar que esse aparelho fornece a média por metro dos valores referentes ao coeficiente de atrito, sendo assim, traduz melhor as características da mistura aplicada. Entretanto os órgãos rodoviários não têm diretrizes paramétricas sobre resultados esperados de resistência à derrapagem proveniente do *Grip Tester*.

Em relação aos resultados coletados das misturas asfálticas no intervalo de tempo de observação, verificou-se uma queda do desempenho quanto à aderência pneu-pavimento. Entretanto, observou-se que nos segmentos as misturas apresentaram uma queda na aderência pneu-pavimento muito parecida no período de aproximadamente um ano. Por exemplo, o tráfego atuante no segmento de Araranguá foi de cerca de 10 vezes maior em relação ao atuante nos segmentos de Urubici.

Por fim, verifica-se que a análise qualitativa dos índices de  $IFI - F_{60}$  para gerência viária deve ser feita com certa cautela, pois mesmo que em um segmento os valores de  $IFI - F_{60}$  apresentem uma classificação

satisfatória, pode ocorrer que os valores de macrotextura ou de microtextura atinjam as especificações dos órgãos reguladores.

Isto porque o Índice Internacional de Atrito é apresentado como  $IFI_{60}(F(60)_{calibrado}, S_p)$ , em que a parcela de  $S_p$  é proveniente das medidas de macrotextura e a parcela de  $F_{60}$  é influenciada tanto pelas medidas de microtextura, como também, exponencialmente pelas de macrotextura. Desta forma, quando se tem bons índices de macrotextura, obtém-se, geralmente, uma boa classificação para o  $IFI - F_{60}$ , mesmo quando os valores de resistência à derrapagem não sejam bons ( $VRD < 55$ ).

Portanto, visto o grau de importância que esse fator tem relacionado à segurança viária, espera-se que este trabalho seja utilizado principalmente como instrumento pelos órgãos gestores. Tanto para auxiliar na tomada de decisão em relação à aderência pneu-pavimento, como também na elaboração de normas e especificações técnicas que estabeleçam parâmetros a serem alcançados pelas misturas asfálticas desde a fase de concepção até a aplicação, operação e monitoramento delas em campo.

Recomenda-se para trabalhos futuros a análise dos seguintes fatores:

- A influência do tipo e teor de ligante na aderência pneu-pavimento, visto que nessa pesquisa não conseguiu chegar a uma conclusão ou tendência de comportamento;
- A influência da temperatura na obtenção das medições dos equipamentos, de modo a realizar periodicamente as leituras em placas moldadas em laboratório e expostas as condições climáticas ao ar livre;
- Propor uma classificação dos parâmetros de coeficiente de atrito obtidos pelo *Grip Tester* ou outros equipamentos de alta produtividade que meçam indiretamente a microtextura aos órgãos rodoviários;
- Analisar a macrotextura dos pavimentos com equipamentos de alta produtividade e comparar com os resultados obtidos pelo ensaio de mancha de areia;
- A partir das variáveis que influenciam na aderência pneu-pavimento, dimensionar uma mistura asfáltica que sirva de camada de sacrifício e atenda os requisitos de segurança;
- Estabelecer um fator campo-laboratório para previsão da aderência pneu-pavimento das misturas asfálticas caracterizadas

em laboratório, considerando o processo de compactação da mistura em laboratório.

## 6 - REFERÊNCIAS

ABPAT – Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito, 2013. **Caracterização dos acidentes de trânsito em rodovias de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://vias-seguras.com>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

AC 150/5320-12C - **Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces Document Information**. Washington, DC , 2007.

APS, Márcia. **Classificação da Aderência pneu-pavimento pelo índice combinado *IFI* – *international friction index* para revestimentos asfálticos**. 2006. 208p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. RESOLUÇÃO Nº 236, DE 5 DE JUNHO DE 2012: **Estabelece requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem**. In: Diário Oficial da União, Brasília, 2012. 6p.

\_\_\_\_\_. ASTM E274 / E274M - 11– ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E274M - 11**: Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire. West Conshohocken, PA, 2011. 6p.

\_\_\_\_\_. ASTM E303 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E303 – 93 (Reapproved 20013)**: Standard test method for: Measuring surface frictional properties using the british pendulum tester. West Conshohocken, PA, 2013. 5p.

\_\_\_\_\_. ASTM E524 – 08 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E524 – 08**: Standard Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Tests. West Conshohocken, PA, 2008. 3p.

\_\_\_\_\_. ASTM E670 – 09 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E670 - 09**: Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter. West Conshohocken, PA, 2015. 12p.

\_\_\_\_\_. ASTM E965 – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E965 – 96 (Reapproved 2006)**: Standard test method for: Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique. West Conshohocken, PA, 2006. 4p.

\_\_\_\_\_. ASTM E1551 - 08– ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E1551 - 08**: Standard Specification for Special Purpose, Smooth–Tread Tire,

Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment. West Conshohocken, PA, 2008. 5p.

\_\_\_\_\_. ASTM E1844 – 96 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E1844 – 96**: Standard Specification for A Size 10 x 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire. West Conshohocken, PA, 1996. 4p.

\_\_\_\_\_. ASTM E1845 – 15 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E1845 – 15**: Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth. West Conshohocken, PA, 2015. 4p.

\_\_\_\_\_. ASTM E1911 - 09ae1 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E1911 - 09ae1**: Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester. West Conshohocken, PA, 2009. 5p.

\_\_\_\_\_. ASTM E1960 – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E1960-07 (Reapproved 2011)**: Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement. West Conshohocken, PA, 2011. 4p.

\_\_\_\_\_. ASTM E2157 – 09 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E2157 – 09**: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter. West Conshohocken, PA, 2009. 5p.

\_\_\_\_\_. ASTM E2380 – ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **E2380M – 15**: Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter. West Conshohocken, PA, 2015. 4p.

AUSSEDAT, Georges. **Aide au choix des couches de roulement vis-à-vis de l'adhérence**. Arquivo: CFTR-info – Comité français pour les techniques routières, França, n. 7, pg 1-4, 2002.

BACKMAN, Christer ; HOBEDA, Peet. **Comportement de granulats en enduits superficiels soumis à l'action de penus à crampons**. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur. Paris, n.30, pg. 1-6, 1984.

BERNUCCI, Liedi Maria; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica - formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Petrobrás ABEDA, 2008.

BOEING (2008). **Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations**. 1959-2008. Disponível em: <<http://www.boeing.com>>. Acesso em: 15 mai. 2013.

- BPMRV – Batalhão da Polícia Militar Rodoviária – **Relatório Estatístico Anual**. Secretária de Segurança Pública. Florianópolis, 2014.
- BRASIL – DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 313p.
- BROWN, E.R.; MALLICK, R.B.; HADDOCK, J.E.; BUKOWSKI, J. **Performance of stone matrix asphalt (SMA) mixtures in the United States**. National Center for Asphalt Technology. NCAT Report No. 97-1. Alabama: Auburn University; 1997.
- \_\_\_\_\_. BS 7941-1:2006 – BRITISH ENGINEERING STANDARDS ASSOCIATION . **BS 7941-1**: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Sideway-force coefficient routine investigation machine. Reino Unido, 2013. 20p.
- \_\_\_\_\_. BS 7941-2:2000 – BRITISH ENGINEERING STANDARDS ASSOCIATION . **BS 7941-2**: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device. Reino Unido, 2000. 14p.
- CAIRNEY, Peter. **Macrotexture and Crash Risk – Some recent findings from Australia and their implications**. In: 22<sup>nd</sup> ARRB Conference – Research into Practice, 2008, Canberra, Australia, **Anais...** Canberra: ARRB, 2006.
- CAIRNEY, P.; BENNET, P.; **Relationship between road surface characteristic and crashes on Victorian rural roads**. In: 23rd ARRB Conference, Research Partnering with Practitioners, 2008, Adelaide Australia, **Anais...** Australia: ARRB, 2008.
- CASTELLAR. **Projeto de Traço de Dosagem Adequado para a BR-163/PR. Trecho: Barracão a Marmelandia**. Castellar Engenharia Ltda. Barracão/ PR, 2014.
- CHUNG, Y.; SONG, T; **How to Safely Operate Roadway Network and Vehicles during Winter?** In: 93rd TRB Annual Meeting, 2014, Washington, D.C., **Anais...** Washington: TRB, 2014.
- CHEN, C.; HUNG, C.; CHIANG, Z.; LIN, J.; **The Predicted Model of International Roughness Index for Drainage Asphalt Pavement**. In: ICIC, 2008, [...], LNCS 5226, pp. 937 – 945, 2008.
- COUCHINHO, Rui Pedro dos Santos. **Medição do coeficiente de atrito da superfície de pavimentos: Estudo do equipamento GripTester**. 2011. 116p. Dissertação (mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2011.

- CNT – **Pesquisa Rodoviária 2014: Relatório Gerencial**. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF, 2013.
- \_\_\_\_\_. DCE-C - Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina. **DCE-C: Diretrizes para a Concepção de Estradas**. Florianópolis, 2000. 70p.
- \_\_\_\_\_. DEINFRA - DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRA-ESTRUTURA DE SANTA CATARINA. **DEINFRA-SC-ES-P-05/92 – Especificação de serviço para camadas de misturas asfálticas usinadas a quente**. Florianópolis, 1992. 14p.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 086/94 – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 086: Agregado – determinação do índice de forma**. Rio de Janeiro, 1994. 5p.
- \_\_\_\_\_. DPP - DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT 031/2006 - ES – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006. 14p.
- DO, Minh-Tan ; ROE, Peter G. **WP2 Harmonisation of skid-resistance methods and choice of reference surfaces**. Publicado por FEHRL Strategic Research Programme “SERRP IV”. Austria, 2008.
- DO, M.-T. ; TANG, Z. ; KANE, M.; LARRAD, F. de. **Evolution of road-surface skid-resistance and texture due to polishing**. Journal Wear, [...], vol.266, pg 574-577, 2009.
- DOOKEERAM, V.; NATAADMADJA, A. D.; WILSON, D. J.; BLACK, P. M.; **The skid resistance performance of diferente New Zealand Aggregate Types**. In: IPENZ Transportation Group Conference, 2014, Wellington, **Anais...** Wellington: IPENZ, 2014.
- DYNATEST. São Paulo: Dynatest Engenharia Ltda. **Grip Tester**. Disponível em: <<http://www.dynatest.com>>. Acesso em: 11 out. 2013.
- ELÉSPURU, Giuliana Barraza. **Resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: propuesta de norma peruana**. 2004. 81P. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, 2004.
- ERGUN, M.; IYINAM, S.; IYINAM, A. F.; **Prediction of Road Surface Friction Coefficient Using Only Macro- and Microtexture Measurements**. Journal of Transportation Engineering, [...], n.131, pg 311-319, 2005.
- FERREIRA, P. N.; **Avaliação da Macrotextura de Trechos Pavimentados de Rodovias Estaduais Situadas na Região Insular do Município de Florianópolis**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2002.

- FLINTSCH, G.W., LUO, Y., and AL-QADI, I.L. 2005. **Analysis of the Effect of Pavement Temperature on the Frictional Properties of Flexible Pavement Surfaces**. In: 84th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- FONTES, L. P. T. L.; **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. 2009. 588p. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2009.
- FUENTES, L. G.; **Investigation of the Factors Influencing Skid Resistance and the International Friction Index**. 2009. 120p. Tese (Pós-Doutorado) – University of South Florida, Florida, 2009.
- FWA, T. F.; ASCE, M.; CHOO, Y. S.; LIU, Y.; **Effect of Aggregate Spacing on Skid Resistance of Asphalt Pavement**. Journal of Transportations Engineering. [...], n. 129, pg. 420-426, 2013.
- GALLAWAY, B.M.; IVEY, D.L. et al.; **Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning**, FHWA-RD-79-31, FHWA, Department of Transportation, Estados Unidos, 1979.
- GEORGIU, Panos; LOIZOS, Andreas. **A laboratory compaction approach to characterize asphalt pavement surface friction performance**. Wear. Paris, n.311, pg. 114-122, 2014.
- GIANCARLO, B.; BARROS, A. J. D.. **Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados**. Rev Saúde Pública, vol. 45(5), pg. 949-963, 2011.
- GUNARATNE, M.; BANDARA, N; MEDZORIAN, J.; CHAWLA, M.; ULRICH, P.; **Correlation of tire wear and friction to texture of concrete pavements**. Journal of Materials in Civil Engineering, [...], vol.12, n.1, pg 46-54, 2000.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Tradução de Flávio Menezes de Aguiar e José Wellington Rocha Tabosa. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LCT – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2006.
- HAAS R., HUDSON R., ZANIEWSKI J. **Modern pavement management**. Malabar, FL, USA: Krieger Publishing Company; 1994.
- HAMLAT, Smail. **Étude de la résistance des revêtements routiers aus sollicitations tangentielles**. 2007. 178p. Tese de Doutorado – École Doctorale Mécanique, Thermique et Génie Civil, Laboratoire Central des Ponts et Chaussée de Nantes. Nantes, 2007.
- IBRAHIM, M.A.. **Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes**. Building and Environment, Vol. 42, 2007, pg. 325–329.

- \_\_\_\_\_. ISO 13473-1:1997 – International Organization for Standardization. **ISO 13473-1**: Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth. Genebra, Suíça, 2013.19p.
- \_\_\_\_\_. ISO 13473-2:2002 – International Organization for Standardization. **ISO 13473-2**: Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis. Genebra, Suíça, 2013.17p.
- \_\_\_\_\_. ISO 13473-3:2002 – International Organization for Standardization. **ISO 13473-3**: Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 3: Specification and classification of profilometers. Genebra, Suíça, 2013.12p.
- KANE, M.; ARTAMENDI, I.; SCARPAS, T.; **Long-term skid resistance of asphalt surfacings : Correlation between Wehner-Schulze friction values and the mineralogical composition of the aggregates.** *Wear*. Paris, n.303, pg. 235-243, 2013.
- KHASAWNEH, M. A.; LIANG, R. Y. **Temperature Effect on Frictional Properties of HMA at Different Polishing Stages.** *Jordan Journal of Civil Engineering*. Jondan, Vol. 6, n. 1, pg. 39-53, 2012.
- LEE, Shu Han. **Introdução ao Projeto Geométrico de rodovias.** 1. ed. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2008.
- LIMA, M. S. S. **Avaliação do comportamento à deformação permanente de misturas asfálticas constituídas de lama vermelha como filer.** 2014. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015
- LINDENMANN, H. P. **Is the Correlation between Pavement Skid Resistance and Acciden Frequency Significant?** In: TRB 83rd Annual Meeting, Washington, DC. 2004.
- LOPES, Luiz Gaggini Rodrigues; FORTES, Rita Moura. **Estudo da Aderência Pneu-Pavimento para Diferentes Tipos de Texturas de Pavimentos em pistas de Kartódromos.** In: CONINFRA – Congresso de Infra-estrutura de Transportes, 2., 2008, São Paulo, SP, **Anais...** São Paulo: ANDIT, 2008. Ref. 02-043.
- LUCAS, J. et BEGOU, P.-A. **Description de la Macrotextura et de la Microtexture.** In : Bulletin des Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées - n° 185, Campagne , France : 1993, pp. 63-70.
- LUONG, J.; BUENO, M.; VÁZQUEZ, V.F.; VINUELA, U.; PAJE, S.E.. **Effect of pavement temperature on the macrotexture of a semidense asphalt surfasse.** In: Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference. **Anais...** Nantes, France: 2012. pg. 23-27.

- MASAD, E., REZAI, A., CHOWDHURY, A. and HARRIS, P.. 2009. **Predicting asphalt mixture skid resistance based on aggregate characteristics**. Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration.
- MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. 2009. 139p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2010. **Plano Nacional de redução de acidentes e segurança viária para década de 2011-2020**. Brasília/DF, 2010.
- MIAO, Y.; CAO, D.; LIU, Q.; **Evaluating the Relationship of Asphalt Pavement Skid Resistance to Slip Speed Using Dynamic Friction Tester Measurements**. In: ICCTP – Integrated Transportation Systems, 2010, United States, **Anais...** United States: ICCTP, 2010.
- MOMM, Leto. **Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico**. 1998. 289p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- MOMM, L.; THIVES, L. P.; **Avaliação do coeficiente de atrito utilizado no cálculo da distância de visibilidade de parada em relação à textura do pavimento**. In: RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, 40ª, 2010, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...** Rio de Janeiro: RAPv, 2010.
- \_\_\_\_\_. NCHRP – W108 – National Cooperative Highway Research Program web-only document 108: **Guide for Pavement Friction**. Transportation Research Board of the National academies, [...], 2009. 257p.
- NEA – Núcleo de Estudos sobre Acidentes de Tráfego em Rodovias. **Influência da aderência entre pneu e pavimento na segurança viária**. Disponível em: < <http://www.labtrans.ufsc.br> >. Acesso em: 12 nov. 2014. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis (2011).
- NODARI, C.T. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- NUNES, P. M.; Y. BROUSSEAUD; M. DO; P. MARSAC; L. L. B. BERNUCCI; J. A. QUINTANILHA (2008). **Characterization of in Laboratory and in Situ Macrotexture of a BBTM 06/ Mixture and**

- Description of its Indicators.** International Journal of Pavements, v. 7, p. 76–87.
- ONG, G. P.; FWA, T. F. **Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: modelling.** Journal of Transportation Engineering, [...], n.133, pg 590-598, 2007.
- OLIVEIRA, F. H. L.. **Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: Estudo de caso do aeroporto internacional de Fortaleza.** 203p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/ CE, 2009.
- PASQUET, A.; BERTHIER, J., 1966. **Recherces Relatives à la Glissance Routière - Conséquences sur la Conception des Revêtements Routiers.** In: Spécial F - Ministère de l'Équipement - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1966.
- PARDILLO M. J. M.; PINA, R. J. **An Assessment of the Skid Resistance Effect on Traffic Safety under Wet-Pavement Conditions.** Accident Analysis and Prevention, Vol. 41, No. 4, 25 2009, pp. 881–886.
- PEREIRA<sup>1</sup>, C. A.; SOARES, J. B.; PONTES FILHO, I. D. S.; BRANCO, V. T. F. C.; **Análise da aderência pneu-pavimento em pontos de ocorrência de acidentes.** TRANSPORTES v. 20, n. 2, p. 65–74, 2012.
- PEREIRA<sup>2</sup>, C. A.; SOARES, J. B.; PONTES FILHO, I. D. S.; BRANCO, V. T. F. C.; **Análise das correlações existentes entre as medidas de aderência pneu-pavimento avaliadas em campo e em laboratório.** TRANSPORTES v. 20, n. 4, p. 44–53, 2012.
- PULUGURTHA, S.; **Relationship between pavement macrotexture and crash incidences on North Carolina roads.** Research and Analysis Group of North Carolina Department of Transportation. Raleigh, North Carolina, 2008.
- PRF – Polícia Rodoviária Federal. **Balanco de Atividades de 2015.** In: Assessoria de Comunicação Social da Polícia Rodoviária Federal. Florianópolis, 2015.
- QUINTERO, Carlos Fernando Quintero. **Estudo de misturas asfálticas com ligantes de consistência elevada – Formulação e comportamento mecânico.** 2011. 229p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/ SC, 2011.
- RAMOS, Kleberon de Oliveira. **Estudo sobre mistura asfáltica tipo stone matrix asphalt (sma) para pavimento aeroportuário.** 2012. 197p. Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro , 2012.

- REZAEI, A.; MASAD, E., F.ASCE, P.E.; CHOWDHURY, A.; **Development of a Model for Asphalt Pavement Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics and Gradation.** Journal of Transportation Engineering, [...], n.137, pg 863-873, 2011.
- RIZENBERGS, R., BURCHEIT J. C, WARREN L. A. **Relation of Accidents and Pavement Friction on Rural, two-lane-roads.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 633, Transportation Research Board of the National 41 Academies, Washington, D.C., 1977, pp.21-27.
- ROA, J. A.; **Evaluation of international friction index and highfriction surfaces.** 2008. 79p. Dissertação (Mestrado) – Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, 2008.
- RODRIGUES, A. C.. 2013. Avaliação da influência da granulometria na aderência pneu-pavimento. 99p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/ CE, 2013.
- SAITO, Kazuo, KAMEYAMA, Shuichi, TAMAI, Akinori, NISIYAMA, SHU. **Development of testes for measuring skid resistance and texture of paved surfaces, and their applications for determinations of the international friction index (IFI).** Journal of the Eastern Asia Society for Transportations Studies, [...], vol.4, n.1, pg 397-411, 2001.
- SILVA, João Paulo Souza. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários.** 2008. 153p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2008.
- SENGOZ, Burak; ONSORI, Amir; TOPAL, Ali. **Effect of Aggregate Shape on the Surface Properties of Flexible Pavement.** In: Korean Society of Civil Engineers. DOI 10.1007/s12205-014-0516-0, Seoul, Korea, 2014.
- TOURENQ , C; FOURMAINTRAUX, D. **Propriétés des granulats et glissance routière.** Arquivo: Bull Liaison Labo. P. et Ch., Réf. 1006, n. 51, pg. 61-69, 1971.
- TREMBLAY, Guy; POULIOT Nadia; DUFOUR, Yves; FLEURY, Danielle. **Adhérence des chaussées en enrobe.** Arquivo: InfoDLC – Diretoria do laboratório de pavimentação, Québec, v. 12, n. 2, pg 1-3, 2007.
- TRICHÊS, G. **Mesa-compactadora-LCPC.** Disponível em: < <http://rodoviasverdes.ufsc.br> >. Acesso em: 01 mar. 2014. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis (2010).

- \_\_\_\_\_. TNZ – Transit New Zealand. (2002). **Specification for Skid Resistance Deficiency Investigation and Treatment Selection**. TNZ T/10 Transit New Zealand, Wellington, New Zealand.
- VAIANA, R.; CAPILUPPI, G.F.; GALLELLI, V.; IUELE T.; MINANI, V. **Pavement surface performances evolution: an experimental application**. In: SIIV – 5th International Congress – Sustainability of road infrastructures, 5., 2012, Cosenza, Italy, **Anais...** Procedia - Social and Behavioral Sciences 53 (2012 ) 1151 – 1162.
- WALLMAN, C-G.; ASTRÖM, H.; **Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety**. In: Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI meddelande 911A, Swedwn, 2001.
- WAMBOLD<sup>1</sup>, James C.; DESCORNET, Guy; BOULET, Michel. International Experiment: to compare and to harmonize the pavement texture and skid resistance measurement Methods. In: XXth Road World Congress, Montreal, 1995. **Anais...** PIARC - Routes Roads, n° 288, pg 22-37, 1995
- WAMBOLD<sup>2</sup>, James C.; ANTLE, Charles E.; HENRY, J.J.; RADO, Zoltan. **International PIARC Experiment to compare and to harmonize texture and skid resistance measurements**. PIARC: PIARC Technical Committee on Surface Characteristics.[...], 1995. 346p.
- WAMBOLD<sup>3</sup>, J.C.; ANDRESEN, A.; The Measurement and Theory of Tire Friction on Contaminated Surfaces. In: Transportation Conferece Proceedings, 1998. **Anais...** TRB, .[...], pg 94-98, 1998.
- WAMBOLD, J.C.; HENRY, J.J. **NASA Wallops Tie/Runway Friction: Workshops 1993-2002**. Montreal: TDC, 155p. (Publication, TP14190E), 2002.
- WILSON, D.J., DUNN, R.C.M. (2005). **Polishing aggregates to equilibrium Skid Resistance**. ARRB Road & Transport Research Journal, 14(2), 17.
- World Health Organization - WHO. **Global Status Report on Road Safety – Time for action**. Luxembourg; 2013
- WU, H.; ZHANG, Z.; LONG, K.; MURPHY, M. R.; Considering Safety Impacts of Skid Resistance in Decision-making Processes for Pavement Management. In: 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, **Anais...** TRB, 2014.
- WUTTKE, E. Emprego do Pêndulo Britânico para Medir o Coeficiente de Atrito em Pavimentos Asfálticos. **Anais...** XVIII Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. 2003.

**APÊNDICE A – DADOS BRUTOS COLETADOS**

Tabela A- 1 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura EME

Número Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação DNIT	Média FRS	Classificação DNIT	Sp	F60	Classificação
1	16,30	1,19	Grosseira ou Aberta	65,33	6-Rugosa	123,98	0,39	Ótimo
2	16,30	1,19	Grosseira ou Aberta	66,67	6-Rugosa	123,98	0,39	Ótimo
3	16,70	1,15	Grosseira ou Aberta	62,00	6-Rugosa	118,62	0,36	Ótimo
4	17,30	1,06	Grosseira ou Aberta	62,67	6-Rugosa	108,79	0,36	Ótimo
Média		1,15		64,17		118,84	0,37	
Des. Padrão		0,06		2,20		7,16	0,02	

Tabela A- 2 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura com teor de 7% de Lama Vermelha

Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	20,30	0,78	Média	54,25	5-Medianamente Rugosa	76,61	0,27	Muito Bom
2	18,00	0,98	Grosseira ou Aberta	49,50	5-Medianamente Rugosa	100,04	0,28	Muito Bom
3	17,30	1,07	Grosseira ou Aberta	64,00	6-Rugosa	109,96	0,36	Ótimo
4	18,30	0,96	Grosseira ou Aberta	48,50	5-Medianamente Rugosa	97,00	0,28	Muito Bom
Média		0,95		54,06		95,90	0,30	
Des. Padrão		0,12		7,08		14,00	0,04	

Tabela A- 3 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura com teor de 5% de Lama Vermelha

Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	16,50	1,17	Grosseira ou Aberta	59,50	6-Rugosa	121,26	0,35	Ótimo
2	16,90	1,12	Grosseira ou Aberta	61,75	6-Rugosa	115,42	0,36	Ótimo
3	16,10	1,23	Muito grosseira ou aberta	52,25	5-Medianamente Rugosa	128,38	0,32	Muito Bom
4	15,80	1,28	Muito grosseira ou aberta	49,25	5-Medianamente Rugosa	133,29	0,31	Muito Bom
Média		1,20		55,69		124,59	0,34	
Des. Padrão		0,07		5,90		7,86	0,02	

Tabela A- 4 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-163 - Barracão

Número da Amostra	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	18,00	0,98	Grosseira ou Aberta	55,50	6-Rugosa	100,04	0,31	Muito Bom
2	16,60	1,15	Grosseira ou Aberta	58,50	6-Rugosa	119,27	0,35	Muito Bom
3	17,90	1,00	Grosseira ou Aberta	59,00	6-Rugosa	101,61	0,33	Muito Bom
4	16,90	1,12	Grosseira ou Aberta	52,50	5-Medianamente Rugosa	115,42	0,31	Muito Bom
Média		1,06		56,38		109,08	0,33	
Des. Padrão		0,09		3,01		9,69	0,02	

Tabela A- 5 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Araranguá

Número da Amostra	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	15,70	1,30	Muito grosseira ou aberta	59,67	6-Rugosa	135,77	0,37	Ótimo
2	15,00	1,41	Muito grosseira ou aberta	61,33	6-Rugosa	149,16	0,39	Ótimo
3	14,70	1,48	Muito grosseira ou aberta	58,67	6-Rugosa	156,55	0,38	Ótimo
4	15,70	1,30	Muito grosseira ou aberta	65,67	6-Rugosa	135,77	0,40	Ótimo
5	16,00	1,24	Muito grosseira ou aberta	55,33	6-Rugosa	129,69	0,34	Muito Bom
6	14,70	1,48	Muito grosseira ou aberta	64,33	6-Rugosa	156,55	0,41	Ótimo
Média		1,37		60,83		143,91	0,38	
Des. Padrão		0,10		3,80		11,68	0,02	

Tabela A- 6 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Araranguá – Placas extraídas em campo

Km	Camada Extraída	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
		Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
0+840	1	17,50	1,04	Grosseira ou Aberta	80,00	7-Muito Rugosa	106,51	0,43	Ótimo
0+720	1	19,50	0,84	Grosseira ou Aberta	80,33	7-Muito Rugosa	83,52	0,39	Ótimo
0+680	3	15,30	1,35	Muito grosseira ou aberta	64,67	6-Rugosa	142,25	0,40	Ótimo
0+820	3	16,70	1,15	Grosseira ou Aberta	84,33	7-Muito Rugosa	118,62	0,47	Ótimo
0+940	2	16,80	1,12	Grosseira ou Aberta	75,67	7-Muito Rugosa	116,05	0,43	Ótimo
0+861	2	16,80	1,12	Grosseira ou Aberta	79,33	7-Muito Rugosa	116,05	0,45	Ótimo
0+680	3	15,20	1,38	Muito grosseira ou aberta	68,67	6-Rugosa	145,65	0,42	Ótimo
0+680	3	16,80	1,12	Grosseira ou Aberta	83,00	7-Muito Rugosa	116,05	0,46	Ótimo
Média			1,14		77,00		118,09	0,43	
Des. Padrão			0,17		6,96		19,58	0,03	

Legenda: (1) amostra extraída da camada de revestimento; (2) amostra extraída da camada intermediária; (3) amostra extraída da primeira camada aplicada.

Tabela A- 7 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Norte-Sul) – Pêndulo Britânico

BR-101 - Sentido Norte/sul								
Km	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Micro textura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
0+620	17,50	1,04	Grosseira ou Aberta	66,00	6-Rugosa	106,51	0,37	Ótimo
0+640	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	77,67	7-Muito Rugosa	113,56	0,43	Ótimo
0+660	15,90	1,25	Muito grosseira ou aberta	71,67	6-Rugosa	130,88	0,43	Ótimo
0+680	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	76,00	7-Muito Rugosa	98,00	0,40	Ótimo
0+700	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	74,00	6-Rugosa	112,58	0,42	Ótimo
0+720	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	74,33	6-Rugosa	98,00	0,39	Ótimo
0+740	16,00	1,24	Muito grosseira ou aberta	66,67	6-Rugosa	129,11	0,40	Ótimo
0+760	19,00	0,88	Grosseira ou Aberta	66,00	6-Rugosa	88,25	0,34	Muito Bom
0+780	16,20	1,22	Muito grosseira ou aberta	55,33	6-Rugosa	126,79	0,34	Muito Bom
0+800	16,60	1,16	Grosseira ou Aberta	56,67	6-Rugosa	120,19	0,34	Muito Bom
0+820	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	56,67	6-Rugosa	113,56	0,33	Muito Bom
0+840	18,00	0,99	Grosseira ou Aberta	63,00	6-Rugosa	100,45	0,35	Muito Bom
0+860	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	58,67	6-Rugosa	112,10	0,34	Muito Bom
0+880	16,30	1,20	Muito grosseira ou aberta	55,33	6-Rugosa	125,10	0,34	Muito Bom
0+900	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	56,00	6-Rugosa	113,56	0,33	Muito Bom
0+920	18,70	0,91	Grosseira ou Aberta	65,33	6-Rugosa	92,21	0,34	Muito Bom
0+940	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	65,00	6-Rugosa	97,20	0,35	Ótimo
Média		1,07		64,96		110,47	0,37	
Des. Padrão		0,12		7,70		13,24	0,04	

Tabela A- 8 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Sul-Norte) – Pêndulo Britânico

BR-101 - Sentido Sul/Norte								
Km	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
0+640	16,20	1,21	Muito grosseira ou aberta	74,33	6-Rugosa	125,66	0,43	Ótimo
0+680	16,20	1,21	Muito grosseira ou aberta	75,33	7-Muito Rugosa	125,66	0,44	Ótimo
0+700	16,30	1,19	Grosseira ou Aberta	56,67	6-Rugosa	123,98	0,34	Muito Bom
0+720	17,30	1,06	Grosseira ou Aberta	64,67	6-Rugosa	108,79	0,37	Ótimo
0+740	16,10	1,23	Muito grosseira ou aberta	70,33	6-Rugosa	128,52	0,42	Ótimo
0+760	16,40	1,18	Grosseira ou Aberta	62,33	6-Rugosa	122,34	0,37	Ótimo
0+780	16,70	1,15	Grosseira ou Aberta	59,67	6-Rugosa	118,62	0,35	Ótimo
0+800	15,80	1,27	Muito grosseira ou aberta	61,33	6-Rugosa	132,68	0,37	Ótimo
0+820	15,70	1,29	Muito grosseira ou aberta	60,00	6-Rugosa	134,52	0,37	Ótimo
0+840	15,80	1,28	Muito grosseira ou aberta	55,67	6-Rugosa	133,91	0,35	Muito Bom
0+860	15,90	1,25	Muito grosseira ou aberta	53,67	5- Medianament e Rugosa	130,88	0,33	Muito Bom
0+880	16,60	1,16	Grosseira ou Aberta	68,67	6-Rugosa	119,66	0,40	Ótimo
0+900	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	61,67	6-Rugosa	112,10	0,35	Ótimo
0+920	14,50	1,51	Muito grosseira ou aberta	57,67	6-Rugosa	160,44	0,38	Ótimo
0+920	14,50	1,51	Muito grosseira ou aberta	66,67	6-Rugosa	160,44	0,43	Ótimo
0+940	14,60	1,49	Muito grosseira ou aberta	71,67	6-Rugosa	158,09	0,45	Ótimo
0+940	14,10	1,61	Muito grosseira ou aberta	67,67	6-Rugosa	171,20	0,44	Ótimo
0+960	16,50	1,17	Grosseira ou Aberta	65,00	6-Rugosa	121,26	0,38	Ótimo
Média		1,27		64,06		132,71	0,39	
Des. Padrão		0,16		6,41		17,94	0,04	

Tabela A- 9 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Norte-Sul) – *Grip Tester*

BR-101 - Sentido Norte/sul								
Km	Macrot textura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade (km/h)	Sp	F60	Classificação
0+620	17,50	1,04	Grosseira ou Aberta	0,78	24	106,51	0,59	Ótimo
0+640	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	0,76	25	113,56	0,59	Ótimo
0+660	15,90	1,25	Muito grosseira ou aberta	0,71	25	130,88	0,58	Ótimo
0+680	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	0,71	25	98,00	0,53	Ótimo
0+700	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	0,70	25	112,58	0,55	Ótimo
0+720	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	0,77	25	98,00	0,57	Ótimo
0+740	16,00	1,24	Muito grosseira ou aberta	0,71	24	129,11	0,57	Ótimo
0+760	19,00	0,88	Grosseira ou Aberta	0,74	24	88,25	0,53	Ótimo
0+780	16,20	1,22	Muito grosseira ou aberta	0,71	23	126,79	0,56	Ótimo
0+800	16,60	1,16	Grosseira ou Aberta	0,76	23	120,19	0,59	Ótimo
0+820	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	0,71	24	113,56	0,55	Ótimo
0+840	18,00	0,99	Grosseira ou Aberta	0,72	23	100,45	0,54	Ótimo
0+860	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	0,72	24	112,10	0,56	Ótimo
0+880	16,30	1,20	Muito grosseira ou aberta	0,72	24	125,10	0,57	Ótimo
0+900	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	0,70	23	113,56	0,54	Ótimo
0+920	18,70	0,91	Grosseira ou Aberta	0,67	25	92,21	0,50	Ótimo
0+940	18,20	0,96	Grosseira ou Aberta	0,65	23	97,20	0,49	Ótimo
Média		1,07		0,72		110,47	0,55	
Des. Padrão		0,12		0,03		13,24	0,03	

Tabela A- 10 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura BR-101 – Araranguá (sentido Sul-Norte) – *Grip Tester*

BR-101 - Sentido Sul/Norte								
Km	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade (km/h)	Sp	F60	Classificação
0+680	16,20	1,21	Muito grosseira ou aberta	0,73	24,00	125,66	0,58	Ótimo
0+700	16,30	1,19	Grosseira ou Aberta	0,71	24,00	123,98	0,57	Ótimo
0+720	17,30	1,06	Grosseira ou Aberta	0,70	24,00	108,79	0,54	Ótimo
0+740	16,10	1,23	Muito grosseira ou aberta	0,74	24,00	128,52	0,59	Ótimo
0+760	16,40	1,18	Grosseira ou Aberta	0,71	24,00	122,34	0,56	Ótimo
0+780	16,70	1,15	Grosseira ou Aberta	0,69	24,00	118,62	0,55	Ótimo
0+800	15,80	1,27	Muito grosseira ou aberta	0,68	24,00	132,68	0,55	Ótimo
0+820	15,70	1,29	Muito grosseira ou aberta	0,65	24,00	134,52	0,53	Ótimo
0+840	15,80	1,28	Muito grosseira ou aberta	0,65	24,00	133,91	0,53	Ótimo
0+860	15,90	1,25	Muito grosseira ou aberta	0,63	24,00	130,88	0,52	Ótimo
0+880	16,60	1,16	Grosseira ou Aberta	0,61	24,00	119,66	0,49	Ótimo
0+900	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	0,59	24,00	112,10	0,47	Ótimo
0+920	14,50	1,51	Muito grosseira ou aberta	0,67	25,00	160,44	0,57	Ótimo
0+920	14,50	1,51	Muito grosseira ou aberta	0,63	24,00	160,44	0,54	Ótimo
0+940	14,60	1,49	Muito grosseira ou aberta	0,65	25,00	158,09	0,56	Ótimo
0+960	16,50	1,17	Grosseira ou Aberta	0,59	24,00	121,26	0,48	Ótimo
Média		1,25		0,66		130,74	0,54	
Des. Padrão		0,14		0,05		16,07	0,03	

Tabela A- 11 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura BR-101 – Araranguá – Pêndulo Britânico

BR-101 - Sentido Sul/norte								
Km	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
413+020	21,80	0,67	Média	66,50	6-Rugosa	64,34	0,29	Muito Bom
412+980	24,10	0,55	Média	46,75	4-Insuficientemente Rugosa	50,81	0,19	Bom
412+940	20,80	0,74	Média	56,00	6-Rugosa	72,41	0,27	Muito Bom
412+900	19,20	0,86	Grosseira ou Aberta	42,25	4-Insuficientemente Rugosa	86,52	0,24	Muito Bom
412+860	19,40	0,85	Grosseira ou Aberta	56,00	6-Rugosa	85,00	0,29	Muito Bom
412+820	19,50	0,84	Grosseira ou Aberta	55,00	6-Rugosa	83,77	0,29	Muito Bom
412+780	16,70	1,14	Grosseira ou Aberta	45,00	4-Insuficientemente Rugosa	118,10	0,28	Muito Bom
412+740	17,60	1,03	Grosseira ou Aberta	45,25	4-Insuficientemente Rugosa	105,84	0,27	Muito Bom
412+700	19,00	0,88	Grosseira ou Aberta	41,75	4-Insuficientemente Rugosa	88,60	0,24	Muito Bom
412+660	20,60	0,75	Média	48,50	5-Medianamente Rugosa	73,64	0,24	Muito Bom
Média		0,83		50,30		82,90	0,26	
Des. Padrão		0,17		7,87		19,40	0,03	

Tabela A- 12 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura BR-101 – Laguna

Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
M1	19,80	0,82	Grosseira ou Aberta	55,50	6-Rugosa	81,13	0,28	Muito Bom
M1	17,90	1,00	Grosseira ou Aberta	57,75	6-Rugosa	101,61	0,32	Muito Bom
M1	19,60	0,83	Grosseira ou Aberta	62,25	6-Rugosa	82,32	0,31	Muito Bom
M1	19,80	0,82	Grosseira ou Aberta	62,50	6-Rugosa	81,13	0,31	Muito Bom
I	18,10	0,97	Grosseira ou Aberta	60,00	6-Rugosa	98,50	0,33	Muito Bom
I	18,90	0,89	Grosseira ou Aberta	59,00	6-Rugosa	89,93	0,31	Muito Bom
I	18,60	0,92	Grosseira ou Aberta	55,00	6-Rugosa	92,67	0,30	Muito Bom
I	18,10	0,97	Grosseira ou Aberta	56,75	6-Rugosa	98,50	0,31	Muito Bom
M0	17,00	1,10	Grosseira ou Aberta	59,75	6-Rugosa	113,56	0,35	Muito Bom
M0	17,60	1,02	Grosseira ou Aberta	54,75	5-Medianamente Rugosa	104,84	0,31	Muito Bom
M0	17,10	1,09	Grosseira ou Aberta	58,75	6-Rugosa	111,74	0,34	Muito Bom
M0	16,50	1,17	Grosseira ou Aberta	57,25	6-Rugosa	121,26	0,34	Muito Bom
M3	20,60	0,75	Média	60,50	6-Rugosa	73,43	0,29	Muito Bom
M3	21,90	0,67	Média	66,25	6-Rugosa	63,99	0,29	Muito Bom
M3	20,00	0,80	Média	54,25	5-Medianamente Rugosa	79,05	0,27	Muito Bom
M3	21,30	0,70	Média	52,25	5-Medianamente Rugosa	67,94	0,25	Muito Bom
Média		0,91		58,28		91,35	0,31	
Des. Padrão		0,14		3,49		16,31	0,03	

Legenda: (I) Camada intermediária – Faixa D do DNIT

Tabela A- 13 – Resultados obtidos em campo – Mistura Original (M0) BR-101 –Laguna

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
23	29,70	0,36	Fina ou fechada	61,75	6-Rugosa	29,41	0,14	Bom
24	27,60	0,42	Média	60,25	6-Rugosa	35,88	0,17	Bom
25	28,70	0,39	Fina ou fechada	63,00	6-Rugosa	32,39	0,16	Bom
26	28,60	0,39	Fina ou fechada	57,75	6-Rugosa	32,54	0,15	Bom
27	29,40	0,37	Fina ou fechada	67,75	6-Rugosa	30,32	0,15	Bom
28	29,10	0,38	Fina ou fechada	61,25	6-Rugosa	31,04	0,15	Bom
29	29,80	0,36	Fina ou fechada	55,75	6-Rugosa	29,27	0,13	Regular
30	29,30	0,37	Fina ou fechada	67,25	6-Rugosa	30,46	0,15	Bom
Média		0,38		61,84		31,42	0,15	
Des. Padrão		0,02		3,91		2,03	0,01	

Tabela A- 14 – Resultados obtidos em campo – Mistura Modificada (M1) BR-101 – Laguna

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
11	25,00	0,51	Média	70,00	6-Rugosa	46,27	0,24	Muito Bom
11	26,90	0,44	Média	75,25	7-Muito Rugosa	38,39	0,21	Muito Bom
12	25,00	0,51	Média	61,25	6-Rugosa	46,27	0,21	Muito Bom
12	25,60	0,49	Média	54,50	5-Medianamente Rugosa	43,59	0,19	Bom
13	24,60	0,53	Média	67,50	6-Rugosa	48,42	0,24	Muito Bom
13	25,20	0,50	Média	67,00	6-Rugosa	45,59	0,23	Muito Bom
14	26,10	0,47	Média	70,75	6-Rugosa	41,60	0,22	Muito Bom
14	25,80	0,48	Média	58,50	6-Rugosa	42,85	0,19	Bom
15	25,50	0,49	Média	57,25	6-Rugosa	44,25	0,20	Bom
15	26,10	0,47	Média	62,25	6-Rugosa	41,50	0,20	Bom
16	27,70	0,42	Média	68,25	6-Rugosa	35,71	0,18	Bom
17	25,00	0,51	Média	64,50	6-Rugosa	46,27	0,22	Muito Bom
18	26,00	0,47	Média	64,50	6-Rugosa	42,01	0,20	Bom
Média		0,48		64,73		43,29	0,21	
Des. Padrão		0,03		5,67		3,38	0,02	

Tabela A- 15 – Resultados obtidos em campo – Mistura Modificada (M2) BR-101 – Laguna

Estaca	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
7	26,10	0,47	Média	50,75	5-Medianamente Rugosa	41,70	0,17	Bom
8	24,70	0,52	Média	56,75	6-Rugosa	47,57	0,21	Bom
10	26,70	0,45	Média	55,25	6-Rugosa	39,14	0,17	Bom
11	24,80	0,52	Média	56,25	6-Rugosa	47,33	0,20	Bom
12	24,60	0,53	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	48,42	0,19	Bom
13	29,10	0,38	Fina ou fechada	59,50	6-Rugosa	31,04	0,15	Bom
14	25,80	0,48	Média	52,50	5-Medianamente Rugosa	42,74	0,18	Bom
15	22,70	0,62	Média	57,00	6-Rugosa	58,44	0,24	Muito Bom
16	25,20	0,50	Média	56,75	6-Rugosa	45,59	0,20	Bom
17	24,70	0,52	Média	56,00	6-Rugosa	47,93	0,21	Bom
18	22,40	0,64	Média	52,25	5-Medianamente Rugosa	60,81	0,23	Muito Bom
19	26,50	0,45	Média	56,00	6-Rugosa	40,01	0,18	Bom
20	26,00	0,47	Média	54,50	5-Medianamente Rugosa	41,91	0,18	Bom
21	25,40	0,49	Média	52,50	5-Medianamente Rugosa	44,58	0,19	Bom
22	27,80	0,41	Média	55,50	6-Rugosa	35,29	0,16	Bom
23	24,20	0,54	Média	55,00	6-Rugosa	50,29	0,21	Muito Bom
Média		0,50		54,73		45,17	0,19	
Des. Padrão		0,06		2,56		7,35	0,02	

Tabela A- 16 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 1 e Segmento 2)

SC-439 - Segmento 1 (Estaca 450 a 465) e Segmento 2 (Estaca 125 a 140)								
Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	18,00	0,99	Grosseira ou Aberta	67,75	6-Rugosa	100,66	0,37	Ótimo
2	18,20	0,97	Grosseira ou Aberta	70,75	6-Rugosa	98,20	0,38	Ótimo
3	17,70	1,01	Grosseira ou Aberta	72,50	6-Rugosa	103,53	0,39	Ótimo
4	17,40	1,05	Grosseira ou Aberta	67,25	6-Rugosa	107,87	0,38	Ótimo
Média		1,00		69,56		102,57	0,38	
Des. Padrão		0,04		2,49		4,15	0,01	

Tabela A- 17 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3)

SC-439 - Segmento 3 (Estaca 65 a 80)								
Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	21,90	0,66	Média	69,25	6-Rugosa	63,65	0,29	Muito Bom
2	21,20	0,71	Média	76,25	7-Muito Rugosa	68,88	0,34	Muito Bom
3	18,90	0,89	Grosseira ou Aberta	73,00	6-Rugosa	89,66	0,37	Ótimo
4	18,70	0,91	Grosseira ou Aberta	66,50	6-Rugosa	91,84	0,35	Muito Bom
5	20,10	0,79	Média	66,75	6-Rugosa	77,93	0,32	Muito Bom
6	19,10	0,87	Grosseira ou Aberta	67,25	6-Rugosa	87,29	0,34	Muito Bom
Média		0,80		69,83		79,87	0,34	
Des. Padrão		0,10		3,97		11,68	0,03	

Tabela A- 18 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici - Morro da Igreja – Segmento 1 – 450-460) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 1 - Estaca 450 a 465 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
450	22,47	0,63	Média	0,54	26	60,04	0,36	Ótimo
451	22,47	0,63	Média	0,58	27	60,04	0,39	Ótimo
452	22,47	0,63	Média	0,55	24	60,04	0,36	Ótimo
453	22,47	0,63	Média	0,53	24	60,04	0,35	Muito Bom
454	22,47	0,63	Média	0,57	24	60,04	0,37	Ótimo
455	22,47	0,63	Média	0,58	23	60,04	0,37	Ótimo
456	22,47	0,63	Média	0,54	23	60,04	0,35	Muito Bom
457	22,47	0,63	Média	0,53	23	60,04	0,34	Muito Bom
458	22,47	0,63	Média	0,51	24	60,04	0,34	Muito Bom
459	22,47	0,63	Média	0,52	23	60,04	0,34	Muito Bom
460	22,47	0,63	Média	0,54	24	60,04	0,35	Ótimo
461	22,47	0,63	Média	0,53	23	60,04	0,34	Muito Bom
462	22,47	0,63	Média	0,57	24	60,04	0,37	Ótimo
463	22,47	0,63	Média	0,54	24	60,04	0,35	Ótimo
464	22,47	0,63	Média	0,51	23	60,04	0,33	Muito Bom
465	22,47	0,63	Média	0,56	22	60,04	0,35	Ótimo
Média		0,63		0,54		60,04	0,35	
Des. Padrão		0,00		0,02		0,00	0,01	

Tabela A- 19 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja - Urubici – Segmento 1 – 450-460) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 1 - Estaca 450 a 465 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
450	22,47	0,63	Média	0,52	25,00	60,04	0,35	Muito Bom
451	22,47	0,63	Média	0,50	25,00	60,04	0,34	Muito Bom
452	22,47	0,63	Média	0,48	26,00	60,04	0,33	Muito Bom
453	22,47	0,63	Média	0,54	25,00	60,04	0,36	Ótimo
454	22,47	0,63	Média	0,51	25,00	60,04	0,34	Muito Bom
455	22,47	0,63	Média	0,53	25,00	60,04	0,35	Ótimo
456	22,47	0,63	Média	0,57	25,00	60,04	0,37	Ótimo
457	22,47	0,63	Média	0,58	26,00	60,04	0,38	Ótimo
458	22,47	0,63	Média	0,54	26,00	60,04	0,36	Ótimo
459	22,47	0,63	Média	0,56	24,00	60,04	0,36	Ótimo
460	22,47	0,63	Média	0,53	24,00	60,04	0,35	Muito Bom
461	22,47	0,63	Média	0,54	23,00	60,04	0,35	Muito Bom
462	22,47	0,63	Média	0,59	23,00	60,04	0,37	Ótimo
463	22,47	0,63	Média	0,55	23,00	60,04	0,35	Ótimo
464	22,47	0,63	Média	0,58	23,00	60,04	0,37	Ótimo
465	22,47	0,63	Média	0,60	24,00	60,04	0,38	Ótimo
Média		0,63		0,55		60,04	0,36	
Des. Padrão		0,00		0,03		0,00	0,02	

Tabela A- 20 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici - Morro da Igreja – Segmento 2 – 125-140) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 2 - Estaca 125 a 140 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
140	21,50	0,69	Média	0,61	23	66,65	0,40	Ótimo
139	21,50	0,69	Média	0,55	25	66,65	0,38	Ótimo
138	21,50	0,69	Média	0,57	26	66,65	0,39	Ótimo
137	21,50	0,69	Média	0,56	24	66,65	0,38	Ótimo
136	21,50	0,69	Média	0,53	23	66,65	0,36	Ótimo
135	21,80	0,67	Média	0,55	22	64,51	0,36	Ótimo
134	21,80	0,67	Média	0,54	24	64,51	0,36	Ótimo
133	21,80	0,67	Média	0,54	25	64,51	0,37	Ótimo
132	21,80	0,67	Média	0,54	26	64,51	0,37	Ótimo
131	21,80	0,67	Média	0,57	25	64,51	0,38	Ótimo
130	21,80	0,67	Média	0,57	25	64,51	0,38	Ótimo
129	19,70	0,82	Grosseira ou Aberta	0,54	24	81,60	0,40	Ótimo
128	19,70	0,82	Grosseira ou Aberta	0,52	24	81,60	0,39	Ótimo
127	19,70	0,82	Grosseira ou Aberta	0,53	24	81,60	0,39	Ótimo
126	19,70	0,82	Grosseira ou Aberta	0,56	24	81,60	0,41	Ótimo
125	19,70	0,82	Grosseira ou Aberta	0,56	24	81,60	0,41	Ótimo
Média		0,72		0,55		70,52	0,38	
Des. Padrão		0,07		0,02		7,77	0,02	

Tabela A- 21 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 2 – 125-140) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 3 - Estaca 65 a 80 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade (km/h)	Sp	F60	Classificação
65	22,30	0,64	Média	0,51	23,00	61,14	0,34	Muito Bom
66	22,30	0,64	Média	0,47	25,00	61,14	0,32	Muito Bom
67	22,30	0,64	Média	0,48	24,00	61,14	0,32	Muito Bom
68	22,30	0,64	Média	0,48	24,00	61,14	0,32	Muito Bom
69	22,30	0,64	Média	0,45	23,00	61,14	0,31	Muito Bom
70	20,70	0,74	Média	0,47	23,00	72,82	0,34	Muito Bom
71	20,70	0,74	Média	0,48	23,00	72,82	0,34	Muito Bom
72	20,70	0,74	Média	0,49	23,00	72,82	0,35	Ótimo
73	20,70	0,74	Média	0,53	23,00	72,82	0,37	Ótimo
74	20,70	0,74	Média	0,52	23,00	72,82	0,37	Ótimo
75	20,70	0,74	Média	0,46	24,00	72,82	0,34	Muito Bom
76	21,30	0,70	Média	0,54	23,00	68,13	0,37	Ótimo
77	21,30	0,70	Média	0,52	24,00	68,13	0,36	Ótimo
78	21,30	0,70	Média	0,54	24,00	68,13	0,37	Ótimo
79	21,30	0,70	Média	0,57	23,00	68,13	0,38	Ótimo
80	21,30	0,70	Média	0,55	23,00	68,13	0,37	Ótimo
Média	21,39	0,70		0,50	23,44	67,70	0,35	
Des. Padrão	0,68	0,04		0,04	0,63	4,99	0,02	

Tabela A- 22 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3 – 65-80) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 3 - Estaca 65 a 80 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
80	22,30	0,64	Média	0,42	24	61,14	0,29	Muito Bom
79	22,30	0,64	Média	0,48	23	61,14	0,32	Muito Bom
78	22,30	0,64	Média	0,49	24	61,14	0,33	Muito Bom
77	22,30	0,64	Média	0,42	24	61,14	0,29	Muito Bom
76	22,30	0,64	Média	0,70	23	61,14	0,31	Muito Bom
75	20,70	0,74	Média	0,46	23	72,82	0,33	Muito Bom
74	20,70	0,74	Média	0,45	23	72,82	0,33	Muito Bom
73	20,70	0,74	Média	0,45	25	72,82	0,34	Muito Bom
72	20,70	0,74	Média	0,46	24	72,82	0,34	Muito Bom
71	20,70	0,74	Média	0,48	24	72,82	0,35	Muito Bom
70	20,70	0,74	Média	0,43	23	72,82	0,32	Muito Bom
69	21,30	0,70	Média	0,44	24	68,13	0,32	Muito Bom
68	21,30	0,70	Média	0,49	25	68,13	0,35	Muito Bom
67	21,30	0,70	Média	0,47	25	68,13	0,34	Muito Bom
66	21,30	0,70	Média	0,48	24	68,13	0,34	Muito Bom
65	21,30	0,70	Média	0,49	23	68,13	0,34	Muito Bom
Média		0,70		0,48		67,70	0,33	
Des. Padrão		0,04		0,06		4,99	0,02	

Tabela A- 23 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 3 – 65-80) – *Grip Tester*

SC-439 - Segmento 3 - Estaca 65 a 80 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocidade (km/h)	Sp	F60	Classificação
65	22,30	0,64	Média	0,51	23,00	61,14	0,34	Muito Bom
66	22,30	0,64	Média	0,47	25,00	61,14	0,32	Muito Bom
67	22,30	0,64	Média	0,48	24,00	61,14	0,32	Muito Bom
68	22,30	0,64	Média	0,48	24,00	61,14	0,32	Muito Bom
69	22,30	0,64	Média	0,45	23,00	61,14	0,31	Muito Bom
70	20,70	0,74	Média	0,47	23,00	72,82	0,34	Muito Bom
71	20,70	0,74	Média	0,48	23,00	72,82	0,34	Muito Bom
72	20,70	0,74	Média	0,49	23,00	72,82	0,35	Ótimo
73	20,70	0,74	Média	0,53	23,00	72,82	0,37	Ótimo
74	20,70	0,74	Média	0,52	23,00	72,82	0,37	Ótimo
75	20,70	0,74	Média	0,46	24,00	72,82	0,34	Muito Bom
76	21,30	0,70	Média	0,54	23,00	68,13	0,37	Ótimo
77	21,30	0,70	Média	0,52	24,00	68,13	0,36	Ótimo
78	21,30	0,70	Média	0,54	24,00	68,13	0,37	Ótimo
79	21,30	0,70	Média	0,57	23,00	68,13	0,38	Ótimo
80	21,30	0,70	Média	0,88	23,00	68,13	0,55	Ótimo
Média		0,70		0,52		67,70	0,36	
Des. Padrão		0,04		0,10		4,99	0,05	

Tabela A- 24 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 1 – 450-460) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 1 - Estaca 450 a 465 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
450	24,20	0,54	Média	41,00	4-Insuficientemente Rugosa	50,29	0,17	Bom
454	22,70	0,62	Média	58,00	6-Rugosa	58,91	0,24	Muito Bom
457	23,50	0,58	Média	56,25	6-Rugosa	54,18	0,23	Muito Bom
462	21,80	0,67	Média	46,50	4-Insuficientemente Rugosa	64,51	0,22	Muito Bom
460	23,10	0,60	Média	43,25	4-Insuficientemente Rugosa	56,04	0,19	Bom
Média		0,60		49,00		56,79	0,21	
Des. Padrão		0,05		7,70		5,33	0,03	

Tabela A- 25 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 1 – 450-460) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 1 - Estaca 450 a 465 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
460	21,30	0,70	Média	56,00	6-Rugosa	68,50	0,26	Muito Bom
462	21,10	0,72	Média	59,75	6-Rugosa	69,84	0,28	Muito Bom
457	23,20	0,59	Média	54,75	5-Medianamente Rugosa	55,89	0,23	Muito Bom
454	20,50	0,76	Média	50,00	5-Medianamente Rugosa	74,89	0,25	Muito Bom
450	21,70	0,68	Média	53,75	5-Medianamente Rugosa	65,21	0,25	Muito Bom
Média		0,69		54,85		66,87	0,25	
Des. Padrão		0,06		3,54		7,05	0,02	

Tabela A- 26 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 2 – 125-140) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 2 - Estaca 125 a 140 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
125	21,90	0,67	Média	58,50	6-Rugosa	63,99	0,26	Muito Bom
127	22,40	0,63	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	60,33	0,22	Muito Bom
131	23,50	0,58	Média	52,00	5-Medianamente Rugosa	54,04	0,21	Muito Bom
134	22,00	0,66	Média	47,00	5-Medianamente Rugosa	63,13	0,22	Muito Bom
137	21,50	0,69	Média	55,00	6-Rugosa	66,47	0,25	Muito Bom
140	22,80	0,61	Média	60,25	6-Rugosa	57,83	0,25	Muito Bom
Média		0,64		53,67		60,96	0,23	
Des. Padrão		0,04		5,20		4,52	0,02	

Tabela A- 27 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 2 – 125-140) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 2 - Estaca 125 a 140 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
140	23,70	0,57	Média	55,75	6-Rugosa	52,80	0,22	Muito Bom
137	22,70	0,62	Média	54,50	5-Medianamente Rugosa	58,91	0,23	Muito Bom
134	21,90	0,67	Média	53,25	5-Medianamente Rugosa	63,99	0,24	Muito Bom
131	19,60	0,83	Grosseira ou Aberta	48,75	5-Medianamente Rugosa	82,56	0,26	Muito Bom
128	21,20	0,71	Média	49,00	5-Medianamente Rugosa	69,07	0,24	Muito Bom
125	22,00	0,66	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	62,96	0,22	Muito Bom
Média		0,67		51,75		65,05	0,24	
Des. Padrão		0,09		3,12		10,16	0,01	

Tabela A- 28 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Urubici-Morro da Igreja – Segmento 3 – 65-80) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 3 - Estaca 65 a 80 - Urubici - Morro da Igreja								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
65	25,90	0,48	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	42,43	0,17	Bom
67	22,00	0,66	Média	50,50	5-Medianamente Rugosa	63,13	0,23	Muito Bom
69	23,80	0,56	Média	56,75	6-Rugosa	52,53	0,22	Muito Bom
71	23,90	0,56	Média	56,25	6-Rugosa	51,72	0,22	Muito Bom
73	23,40	0,58	Média	42,75	4-Insuficientemente Rugosa	54,32	0,18	Bom
75	23,90	0,56	Média	56,50	6-Rugosa	51,86	0,22	Muito Bom
77	23,30	0,59	Média	56,25	6-Rugosa	55,03	0,23	Muito Bom
79	23,10	0,60	Média	47,50	5-Medianamente Rugosa	56,04	0,20	Bom
Média		0,57		51,97		53,38	0,21	
Des. Padrão		0,05		5,27		5,75	0,02	

Tabela A- 29 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-439 – Urubici (sentido Morro da Igreja-Urubici – Segmento 3 – 65-80) – Pêndulo Britânico

SC-439 - Segmento 3 - Estaca 65 a 80 - Morro da Igreja - Urubici								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
80	22,20	0,65	Média	54,75	5-Medianamente Rugosa	61,79	0,24	Muito Bom
78	21,40	0,69	Média	52,25	5-Medianamente Rugosa	67,20	0,24	Muito Bom
76	21,60	0,68	Média	41,75	4-Insuficientemente Rugosa	66,11	0,20	Bom
74	21,50	0,69	Média	47,25	5-Medianamente Rugosa	66,83	0,23	Muito Bom
72	22,60	0,63	Média	49,25	5-Medianamente Rugosa	59,53	0,22	Muito Bom
70	21,50	0,69	Média	44,25	4-Insuficientemente Rugosa	67,02	0,21	Muito Bom
68	21,10	0,71	Média	35,75	3-Lisa	69,65	0,19	Bom
66	21,70	0,68	Média	53,00	5-Medianamente Rugosa	65,57	0,24	Muito Bom
Média		0,68		47,28		65,46	0,22	
Des. Padrão		0,03		6,43		3,25	0,02	

Tabela A- 30 – Resultados obtidos em laboratório – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá)

SC-415 - Laboratório								
Número da Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	21,60	0,68	Média	62,00	6-Rugosa	66,11	0,28	Muito Bom
2	20,70	0,74	Média	68,75	6-Rugosa	72,61	0,32	Muito Bom
3	20,30	0,78	Média	73,50	6-Rugosa	76,61	0,35	Muito Bom
4	21,00	0,73	Média	73,25	6-Rugosa	70,81	0,33	Muito Bom
5	21,10	0,72	Média	72,75	6-Rugosa	70,03	0,33	Muito Bom
6	20,90	0,73	Média	67,50	6-Rugosa	71,01	0,31	Muito Bom
Média		0,73		69,63		71,20	0,32	
Des. Padrão		0,03		4,50		3,43	0,02	

Tabela A- 31 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá) – Grip Tester

SC-415 - Sentido Garuva/Itapoá								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
1190	25,40	0,49	Média	0,57	26,00	44,47	0,32	Muito Bom
1189	25,40	0,49	Média	0,57	25,00	44,47	0,32	Muito Bom
1188	25,40	0,49	Média	0,52	24,00	44,47	0,29	Muito Bom
1187	25,40	0,49	Média	0,53	23,00	44,47	0,29	Muito Bom
1186	25,40	0,49	Média	0,55	23,00	44,47	0,30	Muito Bom
1185	25,40	0,49	Média	0,53	23,00	44,47	0,29	Muito Bom
1184	24,50	0,53	Média	0,54	25,00	48,66	0,32	Muito Bom
1183	24,50	0,53	Média	0,52	27,00	48,66	0,32	Muito Bom
1182	24,50	0,53	Média	0,52	26,00	48,66	0,32	Muito Bom
1181	24,50	0,53	Média	0,57	25,00	48,66	0,33	Muito Bom
1180	24,50	0,53	Média	0,57	25,00	48,66	0,33	Muito Bom
1179	25,70	0,48	Média	0,57	24,00	43,16	0,31	Muito Bom
1178	25,70	0,48	Média	0,50	24,00	43,16	0,28	Muito Bom
1177	25,70	0,48	Média	0,50	23,00	43,16	0,28	Muito Bom
1176	25,70	0,48	Média	0,50	23,00	43,16	0,28	Muito Bom
1175	25,70	0,48	Média	0,49	23,00	43,16	0,27	Muito Bom
1174	26,90	0,44	Média	0,54	23,00	38,39	0,27	Muito Bom
1173	26,90	0,44	Média	0,57	24,00	38,39	0,29	Muito Bom
1172	26,90	0,44	Média	0,55	24,00	38,39	0,28	Muito Bom
1171	26,90	0,44	Média	0,56	24,00	38,39	0,28	Muito Bom
1170	26,90	0,44	Média	0,55	23,00	38,39	0,27	Muito Bom
Média	25,61	0,49		0,54	24,14	43,71	0,30	
Des. Padrão	0,86	0,03		0,03	1,20	3,67	0,02	

Tabela 47 – Resultados obtidos em campo – Ano 2014 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Itapoá - Garuva) – Grip Tester

SC-415 - Sentido Itapoá/Garuva								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Grip Tester		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Velocida de (km/h)	Sp	F60	Classificação
1170	25,40	0,49	Média	0,65	26	44,47	0,36	Ótimo
1171	25,40	0,49	Média	0,63	25	44,47	0,34	Muito Bom
1172	25,40	0,49	Média	0,67	24	44,47	0,35	Ótimo
1173	25,40	0,49	Média	0,63	23	44,47	0,33	Muito Bom
1174	25,40	0,49	Média	0,64	23	44,47	0,34	Muito Bom
1175	25,40	0,49	Média	0,63	23	44,47	0,33	Muito Bom
1176	24,50	0,53	Média	0,63	25	48,66	0,36	Ótimo
1177	24,50	0,53	Média	0,70	27	48,66	0,41	Ótimo
1178	24,50	0,53	Média	0,69	26	48,66	0,39	Ótimo
1179	24,50	0,53	Média	0,68	25	48,66	0,38	Ótimo
1180	24,50	0,53	Média	0,67	25	48,66	0,38	Ótimo
1181	25,70	0,48	Média	0,63	24	43,16	0,33	Muito Bom
1182	25,70	0,48	Média	0,64	24	43,16	0,34	Muito Bom
1183	25,70	0,48	Média	0,63	23	43,16	0,33	Muito Bom
1184	25,70	0,48	Média	0,66	23	43,16	0,34	Muito Bom
1185	25,70	0,48	Média	0,67	23	43,16	0,34	Muito Bom
1186	26,90	0,44	Média	0,63	23	38,39	0,30	Muito Bom
1187	26,90	0,44	Média	0,64	24	38,39	0,31	Muito Bom
1188	26,90	0,44	Média	0,63	24	38,39	0,31	Muito Bom
1189	26,90	0,44	Média	0,57	24	38,39	0,29	Muito Bom
1190	26,90	0,44	Média	0,56	23	38,39	0,28	Muito Bom
Média	25,61	0,49		0,64	24,14	43,71	0,34	
Des. Padrão	0,86	0,03		0,03	1,20	3,67	0,03	

Tabela A- 32 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Garuva - Itapoá) – Pêndulo Britânico

SC-415 - Sentido Garuva/Itapoá								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1170	27,90	0,41	Média	61,50	6-Rugosa	34,79	0,17	Bom
1173	26,60	0,45	Média	64,50	6-Rugosa	39,62	0,19	Bom
1176	26,70	0,45	Média	59,75	6-Rugosa	39,23	0,18	Bom
1179	25,70	0,48	Média	60,00	6-Rugosa	43,38	0,20	Bom
1182	26,00	0,47	Média	58,50	6-Rugosa	41,81	0,19	Bom
1185	27,50	0,42	Média	59,25	6-Rugosa	36,14	0,17	Bom
Média		0,45		60,58		39,16	0,18	
Des. Padrão		0,03		2,16		3,26	0,01	

Tabela A- 33 – Resultados obtidos em campo – Ano 2015 – Mistura SC-415 – Itapoá (sentido Itapoá - Garuva) – Pêndulo Britânico

SC-415 - Sentido Itapoá/Garuva								
Estacas	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1185	26,80	0,44	Média	64,50	6-Rugosa	38,95	0,19	Bom
1182	25,20	0,50	Média	67,25	6-Rugosa	45,59	0,23	Muito Bom
1179	24,20	0,54	Média	64,75	6-Rugosa	50,16	0,24	Muito Bom
1176	26,60	0,45	Média	63,50	6-Rugosa	39,62	0,19	Bom
1173	25,10	0,51	Média	61,25	6-Rugosa	45,93	0,21	Muito Bom
1170	24,40	0,54	Média	59,00	6-Rugosa	49,41	0,22	Muito Bom
Média		0,50		63,38		44,94	0,21	
Des. Padrão		0,04		2,89		4,75	0,02	

Tabela A- 34 – Resultados obtidos em laboratório – Projeto 1 – Variação do teor de finos 24,3% – Faixa B do DNIT

Projeto 1 - 24,3% passante na #n°10 - Faixa B								
Número da Amostra	Macrotextura Altura de Areia Hs (mm)			Microtextura Pêndulo Britânico		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	14,50	1,51	Muito grosseira ou aberta	75,00	6-Rugosa	160,44	0,47	Ótimo
2	14,30	1,56	Muito grosseira ou aberta	79,00	7-Muito Rugosa	165,28	0,50	Ótimo
3	14,30	1,56	Muito grosseira ou aberta	81,00	7-Muito Rugosa	165,28	0,51	Ótimo
4	14,00	1,62	Muito grosseira ou aberta	84,00	7-Muito Rugosa	172,94	0,53	Ótimo
Média	14,28	1,56		79,75		165,99	0,50	
Des. Padr	0,21	0,05		3,77		5,17	0,03	

Tabela A- 35– Resultados obtidos em laboratório – Projeto 2 – Variação do teor de finos 32,5% – Faixa B do DNIT

Projeto 2 - 32,5% passante na #n°10 - Faixa B								
Número da Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	15,70	1,29	Muito grosseira ou aberta	78,00	7-Muito Rugosa	135,14	0,46	Ótimo
2	15,50	1,32	Muito grosseira ou aberta	78,00	7-Muito Rugosa	138,95	0,47	Ótimo
3	15,50	1,32	Muito grosseira ou aberta	80,00	7-Muito Rugosa	138,95	0,48	Ótimo
4	16,00	1,24	Muito grosseira ou aberta	76,00	7-Muito Rugosa	129,69	0,48	Ótimo
Média	15,68	1,30		78,00		135,69	0,47	
Des. Padr	0,24	0,04		1,63		4,38	0,01	

Tabela A- 36– Resultados obtidos em laboratório – Projeto 3 – Variação do teor de finos 28,4% – Faixa B do DNIT

Projeto 3 - 28,4% passante na #n°10 - Faixa B								
Número da Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	15,60	1,31	Muito grosseira ou aberta	76,00	7-Muito Rugosa	137,03	0,46	Ótimo
2	15,30	1,36	Muito grosseira ou aberta	77,00	7-Muito Rugosa	142,92	0,47	Ótimo
3	14,90	1,43	Muito grosseira ou aberta	80,00	7-Muito Rugosa	151,32	0,49	Ótimo
4	14,60	1,49	Muito grosseira ou aberta	80,00	7-Muito Rugosa	158,09	0,50	Ótimo
Média	15,10	1,40		78,25		147,34	0,48	
Des. Padr	0,44	0,08		2,06		9,26	0,02	

Tabela A- 37 – Resultados obtidos em laboratório – Projeto 4 – Variação do teor de finos 38,8% – Faixa B do DNIT

Projeto 4 - 38,8% passante na #n°10 - Faixa B								
Número da Amostra	Macrotextura			Microtextura		IFI		
	Dméd (cm)	Hs (mm)	Classificação	Média FRS	Classificação	Sp	F60	Classificação
1	16,90	1,11	Grosseira ou Aberta	75,00	6-Rugosa	115,04	0,42	Ótimo
2	16,80	1,13	Grosseira ou Aberta	75,00	6-Rugosa	116,56	0,43	Ótimo
3	16,00	1,24	Muito grosseira ou aberta	76,00	7-Muito Rugosa	129,69	0,45	Ótimo
4	15,00	1,41	Muito grosseira ou aberta	75,00	6-Rugosa	149,16	0,46	Ótimo
Média	16,18	1,23		75,25		127,61	0,44	
Des. Padr	0,88	0,14		0,50		15,80	0,02	