

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARLON ALEXANDRE DE PEDER

**AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO DE
UM TRECHO DE RODOVIA LOCALIZADA NO NOROESTE DO
ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2017

MARLON ALEXANDRE DE PEDER

**AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO DE
UM TRECHO DE RODOVIA LOCALIZADA NO NOROESTE DO
ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Msc. Adalberto L. R. de Oliveira.

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO DE UM TRECHO DE RODOVIA
LOCALIZADA NO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

por

Marlon Alexandre de Peder

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h 30min do dia 10 de Fevereiro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof^a. Dr^a. Darlene Lopes do Amaral de
Oliveira**
(UTFPR)

Prof. Esp. Sérgio Oberhauser Q. Braga
(UTFPR)

Prof. Msc. Adalberto Luiz Rodrigues de Oliveira
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me acompanhar e me guiar em toda essa jornada. Que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de toda minha vida, e não somente nestes anos como universitário. Por ter me dado forças para vencer cada dificuldade encontrada, a distância de casa e a saudade da família.

Aos meus pais, Márcio e Égele, que apesar de todas as dificuldades me ajudaram a fortalecer e que para mim foi muito importante. Agradeço por ter me concedido a dádiva da vida, por me guiarem até eu poder caminhar sozinho, por mesmo que fosse difícil, mas por acreditarem no meu sonho e fazerem dele parte dos seus.

Ao meu orientador, Prof. Me. Adalberto R. de Oliveira, por sua disponibilidade em me atender e suas correções. E principalmente por acreditar em meu trabalho e não medir esforços para que esse trabalho fosse concluído no prazo.

A D. Maria, que por muito tempo fez parte dessa minha trajetória, que me acolheu em sua família, por ter sido em vários momentos como uma mãe, em especial ao Sr. Durvalino, que me ensinou o caráter de um homem e como um pai de família honrado e honesto deve pautar suas escolhas, me ensinou como tem que ser o relacionamento de pai e filho. Eu nunca me esquecerei de vocês e nunca abandonarei vocês do meu coração.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem os valiosos conhecimentos, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. Terão sempre os meus eternos agradecimentos.

À minha madrinha Angelina, que foi mais uma mãe pra mim, nunca se esqueceu de mim, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos de minha vida, por rezar por mim inúmeras vezes, por ser essa pessoa de fé que me inspira, por ser tão dedicada no trabalho de madrinha.

Agradeço aos meus amigos e aos colegas de república Henrique Orzenn, Matheus Marini, Matheus Martelo, Victor Augusto que considero como minha segunda família, por me aguentarem na chatice, por me apoiarem no momento que mais precisei na vida. Por estarem sempre comigo nessa vida acadêmica, nas horas de estudo e também de descontração.

Ao meu grande incentivador Vagner Nogueira, talvez se não fosse pelos conselhos dele eu não teria alcançado esse sonho que por uma começou sendo mais dele do que meu, foi a primeira pessoa que me incentivou e por um bom tempo a única. Por dedicar tempo, cada ensinamento e lição que contribuíram para que esse sonho fosse realizado.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

PEDER, M. A. **Avaliação da Macrotextura do Pavimento Asfáltico de um Trecho de Rodovia Localizada no Noroeste do Paraná.** 2017. 47 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

A capacidade de drenagem superficial de um pavimento asfáltico tem importância fundamental em uma rodovia, ela abrange diversos aspectos relacionados ao conforto e a segurança dos usuários, sendo os principais: o efeito de espelho noturno, a aderência entre o pneu e o pavimento, a hidroplanagem, o ruído e o spray. Por tanto se torna indispensável determinar quais são as condições da macrotextura do revestimento, que é uma das propriedades responsável por formar canais de escoamento no pavimento, expulsando a água depositada na pista. Neste trabalho foi realizada uma avaliação da macrotextura da camada de rolamento de um trecho recém-implantado de Rodovia, localizado entre as cidades de Tuneiras do Oeste e Campo Mourão. Por ser um revestimento novo, ainda não estudado, não se tinha informações das condições da eficiência quanto a capacidade de escoamento superficial da pista de rolamento. Logo a avaliação consistiu em identificar quais são as condições da superfície do revestimento através da mensuração de sua macrotextura. Por tanto, para o levantamento dos dados nos pontos a serem estudados, adotou-se do método que é comumente utilizado no Brasil, e de fácil aplicação, que é o ensaio Mancha de Areia. Os resultados obtidos nesse estudo indicaram que esse segmento da rodovia está atendendo a velocidade diretriz segundo as especificações da American Society for Testing and Materials, porém em desconformidade a instruções de serviço do Department of Infrastructure and Transport.

Palavras-chave: Pavimentos asfálticos. Mancha de areia. Drenagem superficial.

ABSTRACT

PEDER, M. A. **Evaluation of Macrotexture of Asphalt Pavement of A Road Track Located in The Northwest of The State of Paraná.** 2017. 47 pages. Course Completion Work (Bachelor's Degree) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

The surface drainage capacity of an asphalt pavement is of fundamental importance in a highway, it covers several aspects related to the comfort and safety of users, being the main ones: the effect of night mirror, the adhesion between the tire and the pavement, hydroplaning, Noise and spray. Therefore, it is essential to determine the conditions of the macrotexture of the coating, which is one of the properties responsible for forming runoff channels in the pavement, expelling the water deposited in the runway. In this work a macrotexture evaluation of the rolling layer of a recently implanted section of the Highway was carried out, located between the cities of Tuneiras do Oeste and Campo Mourão. As a new coating, not yet studied, there was no information on the efficiency conditions as to the runoff capacity of the runway. Therefore the evaluation consisted of identifying the conditions of the surface of the coating by measuring its macrotexture. Therefore, for the survey of the data in the points to be studied, a method that is commonly used in Brazil, and of easy application, which is the Sand Stain test, was adopted. The results obtained in this study indicated that this segment of the highway is meeting the guiding speed according to American Society for Testing and Materials specifications, but in disregard of DNIT service instructions.

Keywords: Asphalt pavements. Sand patch. Surface drainage.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Esforços na camada do pavimento	18
Figura 2 - Camadas constituintes do pavimento	18
Figura 3 - Comparação entre microtextura e macrotextura do pavimento	20
Figura 4 - Tipos de superfície possíveis em função da micro e macrotextura.....	21
Figura 5 - Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.....	23
Figura 6 - Zonas de contato entre pneu e o pavimento.....	23
Figura 7 – escoamento de água e reflexão luminosa	26
Figura 8 - Diferença entre as texturas do pavimento.....	30
Figura 9 - Representação convencional de curvas granulométricas.	32
Figura 10 - Identificação dos pontos de ensaios.	33
Figura 11 - Microesfera de vidro utilizadas do ensaio (aumento de 25X).....	34
Figura 12 - Esquema representativo do ensaio de Mancha de Areia.....	35
Figura 13 – Processo do ensaio de Mancha de Areia.....	36
Figura 14 - Comparação dos valores de HS por ponto – Faixa leste.....	40

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da textura de um pavimento.....	25
Tabela 2 - Tabela de Classificação Granulométrica.....	34
Tabela 3 – Valores de macrotextura obtidos nos levantamentos.....	37
Tabela 4 – Valores de macrotextura obtidos nos levantamentos.....	38
Tabela 5 - Classe de macrotextura (ABPv, 1990).....	39
Tabela 6 - Aplicação dos revestimentos em função da altura média de areia-HS. ...	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 CONDIÇÕES DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO	14
4.2 HIDROPLANAGEM	14
4.3 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	15
4.4 CAMADAS DOS PAVIMENTOS	17
4.5 TIPOS DE REVESTIMENTOS	19
4.6 TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS	20
4.7 MACROTEXTURA	25
4.7.1 Classificação da macrotextura	38
4.8 INFLUÊNCIAS DO TIPO DE REVESTIMENTO NA TEXTURA SUPERFICIAL ..	30
4.8.1 Graduação de misturas asfálticas usinadas	31
5 METODOLOGIA	33
5.1 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DA MACROTEXTURA	33
5.1.1 Distribuição dos pontos de coleta de dados	33
5.1.2 Ensaio de Mancha de Areia	33
6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	37
6.1 LEVANTAMENTO DOS VALORES DE MACROTEXTURA	37
6.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE MACRO TEXTURA	38
7 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento da frota nacional e por consequência aumentando o número de veículos trafegando em rodovias, é de suma importância que se tenha um controle da qualidade dos pavimentos na sua construção e na sua manutenção, em decorrência disso, a textura do revestimento se torna fundamental na estrutura das rodovias quando se fala em segurança.

Para avaliar um pavimento, a primeira ideia é que os procedimentos a serem adotados sejam apenas a consideração quanto às irregularidades e patologias, assim como, panelas (buracos), trincas e fissuras, visto que estas são as que trazem desconforto visual ao usuário da via, mas salientando que fatores menos aparentes, como a textura superficial de um revestimento, tem relevante importância na avaliação do pavimento, uma vez que este é responsável por garantir uma superfície mais aderente e segura, reduzindo a ocorrência de acidentes.

A superfície do pavimento é o meio pelo qual ocorre a interação direta entre o pneu e o pavimento, sendo de fundamental importância para se caracterizar o desempenho da infraestrutura das rodovias. As condições da superfície de um revestimento asfáltico influenciam aspectos como segurança e eficiência viária, resistência à derrapagem, consumo de combustível, geração de ruídos e desgaste de pneus.

A aderência na interface pneu-pavimento é a que certifica a segurança do usuário para frear, acelerar e fazer manobras. Porém, a construção de um pavimento que possibilite a máxima aderência entre o pneu e o pavimento, pode caracterizar um pavimento excessivamente abrasivo, que venha produzir ruídos desagradáveis, elevando também o custo operacional do veículo fomentado pelo desgaste dos pneus ou mesmo um consumo de combustível mais elevado, ainda pode levar a uma deterioração precoce do pavimento (MONN, 1988).

O conhecimento da textura de um pavimento levanta elementos importantes para seu total entendimento, a macrotextura do revestimento é responsável pela drenagem superficial do pavimento, criando canais que garantem a capacidade do revestimento escoar a água acumulada na superfície da pista.

Segundo o “Manual de restauração de pavimentos asfálticos” do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2006) o ensaio mancha de areia avalia a macrotextura e caracteriza a superfície do pavimento quanto a sua capacidade de escoamento da água confinada entre o pneu e o pavimento, e quantifica a densidade, ou seja, a distância média entre os agregados aflorados na superfície do revestimento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAL

Avaliar a macrotextura do pavimento flexível por meio do ensaio mancha de areia, em função da segurança de um segmento de rodovia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar ensaio de mancha de areia, para a verificação da macrotextura do revestimento asfáltico.
- b) Classificar a via segundo a sua capacidade de escoamento superficial.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Bernucci et al (2008), quando se quer avaliar um pavimento quanto a sua segurança, existem alguns aspectos a serem levados em consideração, como a irregularidade superficial, geometria, comportamento humano e a sinalização viária. Portanto é indispensável a avaliação do atrito pneu-pavimento, principalmente nos dias chuvosos, sendo que, envolve diretamente a mensuração da resistência a derrapagem, essa resistência é a função da aderência.

De acordo com Balbo (2007), no decorrer da sua vida útil, um material de construção, apresenta processos de degradação e danificação, que acabam sendo inevitáveis, e ao transcorrer do tempo provocam algumas alterações em suas propriedades mecânicas. Essas avarias leva a perda das propriedades estruturais e funcionais dos pavimentos.

Por esta razão, a macrotextura é uma característica importante para a camada superficial do pavimento, em razão de oferecer maior segurança e conforto aos usuários em seu trajeto. Assim sendo, apresentar uma superfície de rolamento de qualidade traz consigo uma melhoria em função dos altos índices de acidentes de trânsito, além do mais, fatores combinados como: velocidade permitida de cada via, pneus com seus sulcos íntegros, e cuidados quanto à imprudência e negligência, acarretam na diminuição dos mesmos.

Conforme Mattos (2009), a aderência pneu-pavimento indica o desempenho operacional do revestimento, essa interação entre ambos, também com a ajuda de uma boa textura e drenagem superficial eficiente, garantem boas condições em relação a frenagens de emergência e trajetórias desejadas.

Portanto a pesquisa objetiva verificar qual a condição da textura superficial da de um segmento novo de uma rodovia no noroeste do Paraná a qual foi implantado recentemente. A avaliação das condições de segurança dessa rodovia se mostra de suma importância, pois o fluxo veicular será intenso, e identificar se o novo revestimento implantado atende as mínimas condições de segurança referente a rugosidade só pode contribuir a segurança e conforto do usuário.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CONDIÇÕES DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

Em se tratando de segurança, a propriedade fundamental de um pavimento é assegurar satisfatoriamente a perfeita aderência e atrito entre a superfície e os pneus dos veículos, independentemente de qualquer das condições em planta, perfil e seção transversal da via (DNIT, 2006).

Os trechos com baixa aderência e/ou altos índices de acidentes devem ser identificados. Tal amostragem dá condições ao órgão rodoviário de elaborar um diagnóstico mais preciso, assim podendo analisar e planejar quais são as medidas necessárias de correção, caso a caso.

Para misturas betuminosas, atualmente o DNIT especifica um método simples para avaliação das condições de macrotextura, a saber: Association Française de Normalisation – AFNBR NF-216-7 – Método da Mancha de areia.

Os aparelhos citados pelo DNIT tem uma grande vantagem por serem portáteis, são equipamentos de fácil manuseio e de valor econômico baixo, porém suas informações sobre o coeficiente de atrito e a macro textura do pavimento é bastante precisas e confiáveis.

O ensaio de mancha de areia além de avaliar a macrotextura ele define algumas características da superfície do pavimento, características importantes como: a capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento e a distância média entre grânulos individuais de agregados aflorados na superfície do revestimento.

4.2 HIDROPLANAGEM

A hidroplanagem é um fenômeno que ocorre pela falta de aderência entre o pneu do veículo e a superfície do pavimento, fenômeno este causado pela existência de uma lâmina d'água com espessura tal que proporcione a falta de contato. Em resumo, o pneu flutua sobre a água, tirando completamente do motorista o controle do veículo.

Segundo Mounce *et al.* (1993), a ocorrência de hidroplanagem pode se dar pela existência de quatro fatores principais:

- a) Pneus: pressão de insuflagem, área de contato;
- b) Pavimento: textura do revestimento, geometria;
- c) Chuvas: intensidade, drenagem;
- d) Motorista: velocidade, habilidade.

A probabilidade de ocorrência de hidroplanagem é pequena. Observações tem demonstrado que, para pneus muito degradados, em péssimas condições (muito lisos) e superfícies de revestimento pouco rugosas, o fenômeno ocorre quando a lâmina d'água tem espessuras superiores a 0,76 mm (MOUNCE *et al.*, 1993).

4.3 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Os pavimentos são formados por camadas sobrepostas horizontalmente, que por sua vez, tem função de suportar as ações emitidas pelos veículos, redistribuindo as tensões, fazendo com que as camadas proporcionem uma superfície mais confortável e segura.

Segundo Bernucci *et al* (2008), pavimento é constituído estruturalmente por múltiplas camadas com espessuras finitas, implantada logo após da superfície final de terraplenagem, destinada a resistir aos esforços resultantes do clima, tráfego viário, proporcionando condições de rodagem com economia, segurança e garantindo o conforto.

Ao disponibilizar meios para que uma via tenha uma qualidade melhor de rolamento, também se garante aos condutores uma importante redução nos custos operacionais, sendo que o custo de manutenção e de operação dos veículos está associado as condições que se encontra a superfície do pavimento. Uma superfície, regularizada e pavimentada viabiliza um deslocamento com uma velocidade maior que por um lado, representa maior consumo de combustível, mas por outro proporciona uma economia de tempo nos períodos de viagem (BALBO, 2007).

A pavimentação de vias já vem sendo executado desde a segunda metade do século XX, E o principal revestimento utilizado é o pavimento asfáltico, que já é uma prática de estrutura vastamente utilizada em todos os países (ABEDA, 2010).

Segundo Bernucci *et al* (2008), em grande parte dos pavimentos nacionais usa-se como revestimento misturas de agregado minerais diversos com granulometria variada e várias fontes com ligantes asfálticos, que de maneira devidamente equilibrada e processada dão condições para que o pavimento executado atinja exigências de flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade, estabilidade, resistência a derrapagem, resistência a fadiga e resistência a fratura na tração térmica, de maneira que atenda o clima e o tráfego existente no local.

Portanto o pavimento deve resistir aos esforços vindos do tráfego em que se sujeita, não importando se foi executado com variados tipos de misturas. O revestimento asfáltico deve ter por obrigação suportar as deformações e a peculiaridade de cada local, não deve deixar de trazer o conforto no percurso transitado pelo usuário.

Conforme Mattos (2009), referente a segurança de via rodoviárias, uma das características com grande relevância é a aderência, que ocorre através do contato entre o pneu do veículo em circulação e o revestimento. Por isso é fundamental que a camada final de revestimento garanta segurança operacional, mesmo em condições adversas causadas por qualquer motivo, como por exemplo o clima.

O atrito causado entre o pneu e o pavimento é fundamental para garantir que o veículo mantenha sua trajetória, as condições ambientais interferem fortemente nesse ponto, a chuva e o excesso de umidade na superfície do revestimento também são fatores relevantes a se considerar (SPECHT *et al.* 2007).

Uma forma de buscar melhorias na superfície do pavimento, é o monitoramento dos valores de textura superficial do revestimento, com isso consegue-se moldar ferramentas, para que se consiga intervir, visando baixar os índices de acidentes causados pela falta de aderência, com o intuito de se implantar uma análise constante da textura dos pavimentos (MATTOS *et al.* 2010).

De acordo com Specht *et al.* (2007), as condições de conservação dos pneumáticos, com evidência a profundidade de seus sulcos, e a textura e a declividade transversal da pista, beneficiam na remoção da água superficial e melhora o contato pneu-pavimento.

Segundo Bernucci (2008), em dias de chuva com a pista molhada, existem diversos motivos que atuam para contribuir com a aderência pneu-pavimento, um deles é a textura em que se encontra a camada superficial da via, e referente aos pneus, considera-se os sulcos, a pressão de calibragem e as dimensões, também

leva-se em consideração a habilidade do condutor e a geometria da via. “A segurança em pistas molhadas pode ser considerada como um dos aspectos funcionais de um pavimento, muito embora haja pouca tradição no país de sua avaliação ou média em rodovias, sendo mais usual em aeroportos” [...].

Caso a pista tenha escoamento superficial insuficiente para o pavimento utilizado, pode ocorrer um acúmulo de água na superfície do revestimento com isso ocasionando-se uma lamina d’água, o pneu em contato com essa lamina d’água pode sofrer um fenômeno denominado hidroplanagem. De forma resumida esse fenômeno nada mais é do que a perda do contato do pneu com a superfície do pavimento, deixando o veículo totalmente sem aderência e causando a perda imediata do controle do veículo (MATTOS *et al.* 2010).

De acordo com Mattos (2009), pelo mesmo motivo é de suma importância que se tenha um conhecimento mais profundo dos mecanismos de aderência pneu pavimento.

4.4 CAMADAS DOS PAVIMENTOS

Segundo Balbo (2007), a estrutura do pavimento não é eterna, contém em sua composição diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, ele é adaptado para responder estruturalmente e de maneira funcional ao tráfego, sendo assim durável e de baixo custo, considerando que os serviços de manutenção preventiva, de reabilitação e de correção sejam executados como uma forma de conservação da via.

Este autor argumentou ainda, diz que o projeto do pavimento é constituído, de uma forma estrutural, para suportar e distribuir os esforços de modo que reduza as forças sobre as camadas inferiores, que por sua vez possui uma condição menor de resistência (figura 1). Para que o procedimento transcorra de forma ideal, todos os elementos que compõem devem atender as deformações de forma compatível a sua natureza e capacidade de suporte, ou seja, de forma que não aconteçam rupturas e deterioração prematura e precipitada nos elementos que compõem as camadas do revestimento.

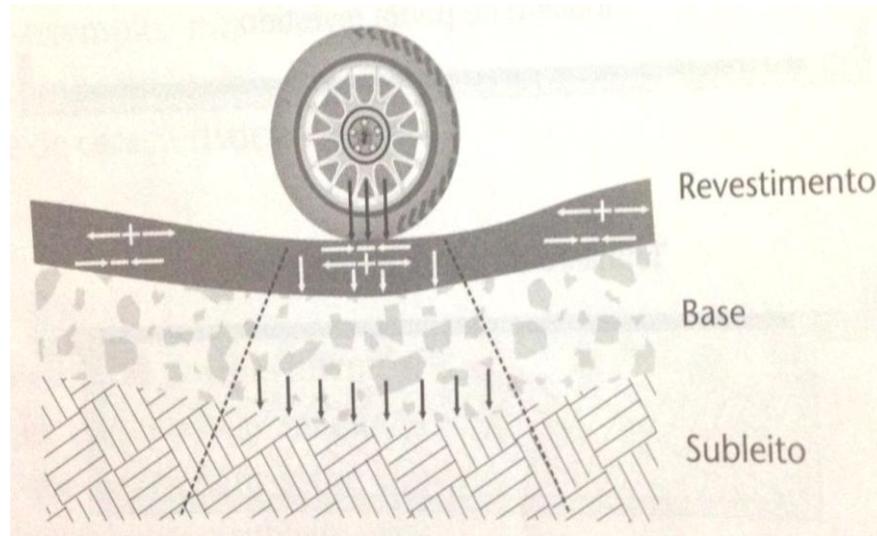


Figura 1 - Esforços na camada do pavimento
Fonte: BALBO (2007).

De forma global, de acordo com Balbo (2007), as camadas (Figura 2) que integram o pavimento podem ser descritas como:

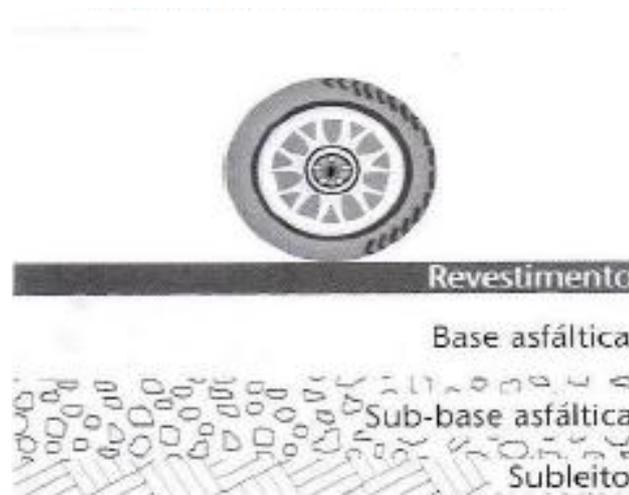


Figura 2 - Camadas constituintes do pavimento
Fonte: Balbo (2007).

Revestimento asfáltico: é a camada responsável por suportar os esforços advindos dos veículos e a transferindo de forma reduzida essa tensão resultante as camadas inferiores.

Base e Sub-base: essas camadas tem objetivo de resistir a energia aplicada pela circulação do tráfego e repassando a mesma ao subleito. Na prática as duas camadas estruturalmente tem as mesmas finalidades, mas com condições diferentes de composição.

Reforço do subleito: tem a função de resistir às tensões com maior ordem de grandeza, colaborando com o papel do subleito, no entanto exigindo camadas menos espessas da base e sub-base sobre si, em tese diminuindo os custos, visando como objetivo ter uma aplicação melhor de solos de reforço, ao invés de ter camadas granulares ou cimentadas com grandes espessuras.

4.5 TIPOS DE REVESTIMENTOS

Segundo Bernucci *et al* (2008), “o material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais)”. É possível classificar as misturas usinadas quanto à distribuição granulométrica, estas sendo contínuas, descontínuas, abertas e densas. O tipo de ligante utilizado na composição da mistura é também, uma outra forma de identificar os pavimentos, são eles:

- À quente com o uso de CAP, ou;
- À frio com o uso de EAP.

De acordo com Echeverria (2014), as camadas de revestimento se dividem em determinados tipos:

- Areia- Asfalto a Quente (AAUQ)
- Concreto Asfáltico Denso (CA) – CBUQ
- Concreto Asfáltico Modificado com Borracha (CAMB)
- Concreto Asfáltico Modificado com Polímeros (CAMP)
- *Cape Seal*
- Camada Porosa de Atrito (CPA)
- *Gap- graded*
- Lama Asfáltica (LA)
- Micro Revestimento Asfáltico
- Misturas Asfálticas Mornas
- Pré- Misturado a Quente (PMQ)
- Pré- Misturado a Frio (PMF)
- *Stone Matrix Asphalt* (SMA)
- Tratamentos Superficiais (TS)

4.6 TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS

“As texturas das misturas asfálticas empregadas nas camadas de rolamento interferem diretamente no atrito, na interface pneu-pavimento e consecutivamente, na resistência á derrapagem proporcionada aos veículos pelo pavimento” (BUCHARLES, 2014).

Conforme Santos (2008), o revestimento pode ser encontrado com duas características, uma delas sendo integralmente rugosa e outra já com a face totalmente lisa. Estas duas formas em que se apresentam podem ser classificadas como textura, o desempenho do pavimento está ligado diretamente à característica em que se encontra também tem relação com a irregularidade dos agregados da textura superficial.

Mattos (2009), quando se trata de microtextura, superfícies com característica de arestas vivas é classificadas como rugosa, porém, quando a superfície se encontra lisa, é correto afirmar que está é polida. Já se tratando de macro textura, a superfície é classificada como aberta quando se encontra com agregados graúdos, mas se for constituída por uma quantidade de finos representativa, ela pode ser classificada como fechada. Desse modo, os pavimentos têm condições de possuir variadas combinações de macro e microtextura (figura 3).

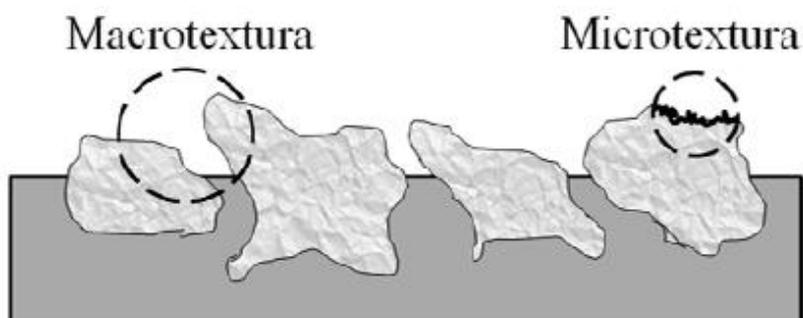


Figura 3 - Comparação entre microtextura e macrotextura do pavimento
Fonte: MATTOS, 2009.

Desta forma, Aps (2006) nos trás que o conjunto de característica de micro e macrotextura se classificam de quatro diferentes tipos: rugosa e aberta, rugosa e fechada, polida e aberta e por final polida e fechada, na figura 4 observa-se estas combinações possíveis e os tipos de superfícies resultantes.

Microtextura	Macrot textura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Pólida ou Lisa	Aberta		Pólida e Aberta
	Fechada		Pólida e Fechada

Figura 4 - Tipos de superfície possíveis em função da micro e macrot textura
Fonte: Aps, 2006.

Segundo Esdu (1971, *apud* SANTOS, 2004), cita uma classificação dos revestimentos em quatro tipologias quanto a micro e macrot textura:

- Pavimentos tipo I

O pavimento de tipo I apresenta uma macrot textura aberta e, juntamente com uma microtextura rugosa de forma áspera, que conseqüentemente possibilita uma grande adesão entre a borracha do pneu e o revestimento. Esta tipologia de revestimento oferece uma grande perda de energia na deformação da borracha dos pneus, quando a mesma se encontra em atrito com a superfície tentando acompanhar as saliências do piso.

Verifica-se, que nestes tipos de pavimentos não ocorrem perdas significativas das suas propriedades de atrito com a existência de água, uma vez que possibilitam o escoamento de água quando o pneu entra em contato com a superfície do piso.

Os revestimentos do tipo I são característicos de pistas mais jovens, que foram recém implantadas, que não tiveram desgastes em seus agregados na superfície, ou de vias construídas com materiais de resistência elevadas, que preservam as suas características em se tratando de atrito por mais tempo.

- Pavimentos tipo II

Este já possui macrot textura com alto índice de rugosidade, porém, uma microtextura suave. Pavimentos com essa tipologia apresentam um valor de atrito inferior por adesão devido à menor capacidade de borracha aderir à microtextura mais suave do revestimento.

Pneus constituídos de matérias que possibilitam valores significativos de atrito por deformação da borracha apresentam um comportamento melhor nas referidas condições. Como esse revestimento dispõe de uma macrotextura aberta, possibilita que ocorra o escoamento da água que se acumula sobre a superfície, diminuindo a probabilidade que ocorra a hidroplanagem, mesmo assim, é necessário frisar que, aumentos de velocidades e de espessura da lâmina d'água podem causar o fenômeno citado.

- Pavimentos tipo III

Com uma macrotextura suave, com características mais fechadas, porém com uma microtextura rugosa, revestimentos desses tipos tendem a apresentar um valor de atrito por adesão considerável, devido a rugosidade da microtextura, com isso em pista seca os valores do coeficiente de atrito são elevados.

Em se tratando de frenagem em superfícies molhadas, o valor de atrito por adesão é alto, possibilitando valores aceitáveis de frenagem gerada pelo pneu, Devido à macrotextura fechada à água acumulada sobre a pista demora mais a escoar. Sendo mais sensível ao acúmulo da água, devido à uma macrotextura menor que as presentes nos tipos I e II, observando que nestes, é possível o escoamento de água pelas ranhuras da superfície do pavimento.

- Pavimentos tipo IV

Os pavimentos do tipo IV são definidos por uma macrotextura fechada e uma microtextura suave. Por conta disso, apresentam uma queda de valor do atrito em pistas molhadas. No entanto, em pista seca, o valor de frenagem é menor, devido aos valores pequenos de atrito por adesão e por histerese. Os outros três tipos de pavimento podem chegar à forma do tipo IV através do uso e desgaste dos agregados do revestimento, principalmente onde os fatores climáticos podem acumular grande quantidade de sujeira na pista, que com o tempo vão preenchendo a macrotextura, enquanto que o uso frequente vai desgastando a microtextura da pista. Quando o pavimento atinge esse ponto, é recomendável a execução de manutenção e restauração do pavimento, para que assim obtenham maior segurança.

Os quatro tipos classificados por ESDU estão apresentados na Figura 5, classificando o efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.

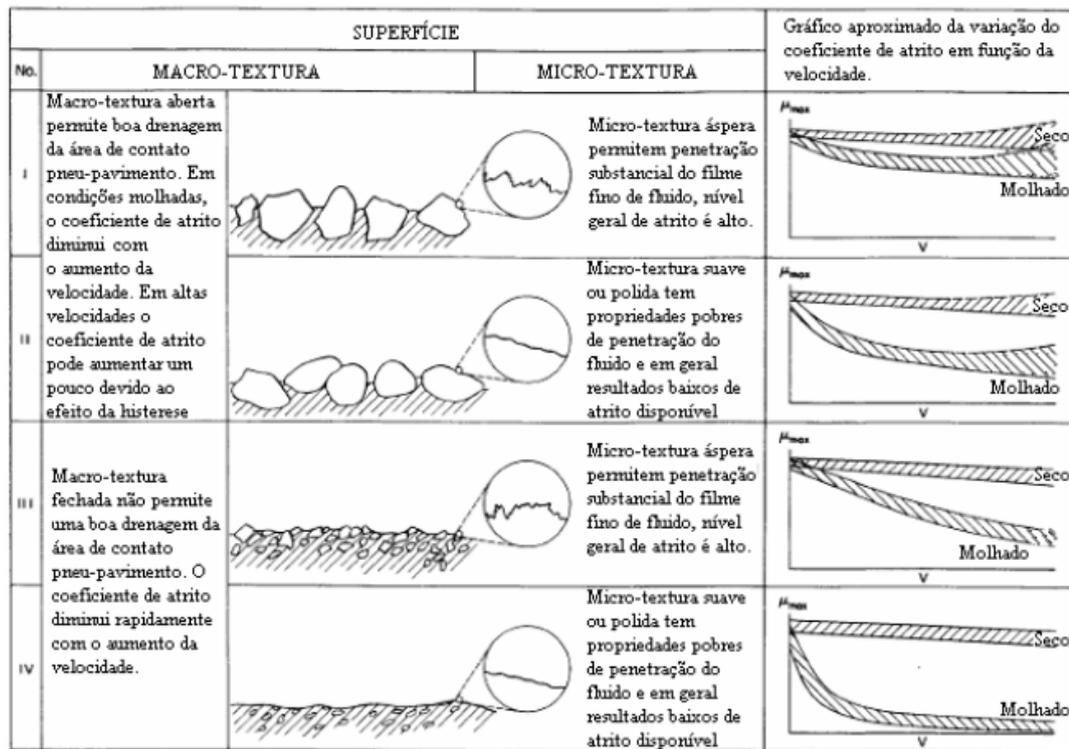


Figura 5 - Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito
Fonte: ESDU (1971 apud Mattos, 2009).

De acordo com Mattos (2009), a aderência pneu-pavimento é um dos principais itens relacionados ao pavimento. Logo, a boa interação entre o pneu do veículo e a superfície de rolamento deve ser assegurada, proporcionando uma boa qualidade da textura da superfície de contato.

Já em se tratando da aderência, depende do atrito de contato entre o pneu e o revestimento. Conforme Santos (2008), a área de contato é dividida em três zonas (Figura 6):

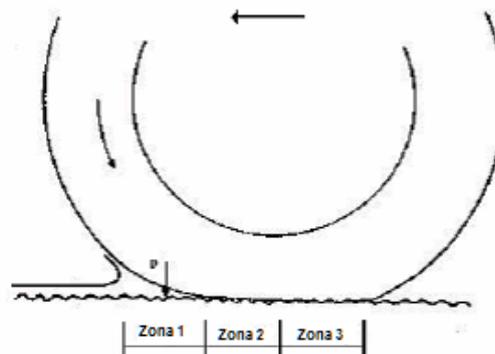


Figura 6 - Zonas de contato entre pneu e o pavimento
Fonte: Santos (2004).

Zona I de contato molhado: é o primeiro contato com a água, que é expelida gradativamente pelas ranhuras do pneu e pela aspereza da superfície, não estabelecendo o contato direto a pista, tendo um comportamento quanto à aderência completamente nula;

Zona II de contato úmido: nesse caso uma parte da água é evacuada, originando um pequeno contato entre o pneu e a rugosidade do pavimento, viabilizando a ocorrência de um movimento relativo no domínio da viscosidade da água. E nessa zona de contato acontece o fenômeno de viscoplanagem;

Zona III de contato seco: nesse ponto já ocorre uma evacuação total da água que possibilita um contato integralmente entre o pneu e o pavimento.

Para definir as porcentagens de cada zona é necessário levar em conta a velocidade do veículo, da pressão que os pneus iram sofrer durante o percurso, do estado do pavimento, e ainda da manobra do condutor. A expulsão integral da água da área de contato pneu-pavimento requer tempo, visto que, essa condição depende da macrotextura e microtextura. A macrotextura, com suas propriedades de graduação dos agregados em relação a sua altura (HS), do nível de polimento da superfície, somado aos sulcos dos pneus permite o escoamento de grande parte da água (APS, 2006).

A resistência à derrapagem pode ser considerada em duas parcelas, resultantes dos fenômenos de adesão (dependente da natureza dos materiais em contato, bem como da atração entre eles, da condição seca da superfície e da área real de contato) e histerese ou intertravamento (resultante da deformação na borracha da banda de rodagem do pneu, ocasionada pelo contato com as rugosidades da superfície). O coeficiente de atrito pode ser medido no sentido longitudinal ou transversal ao deslocamento do veículo. O coeficiente de atrito longitudinal diz respeito à força que se desenvolve na área de contato pneu-pavimento quando se arrasta uma roda travada por meio de um veículo trator. Este coeficiente simula uma situação de frenagem de emergência no sentido longitudinal. Coeficiente de atrito transversal diz respeito à força perpendicular ao plano de rotação da roda, quando esta circula com uma inclinação em relação à sua direção de avanço. Esse coeficiente é o que melhor representa uma situação de derrapagem do veículo em zonas de curvas (SANTOS, 2008).

As texturas da superfície da camada de rolamento do pavimento classificam-se em quatro tipos, microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade.

Segundo Bernucci *et al* (2008), a textura é um dos requisitos para a aderência que é controlado pode ser controlado por técnicos, por tanto é o principal foco das avaliações, de acordo com a PIARC (The World Road Association) a textura

depende do comprimento de onda, das distâncias entre duas extremidades (picos), ou depressões na superfície, como pode-se ver na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Classificação da textura de um pavimento

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$
Irregularidade	$0,5 \text{ m} \leq \lambda < 50 \text{ m}$

Fonte: Adaptado de Bernucci et al. (2008).

Aps (2006) descreve que, as características geométricas das vias tem influência significativa na aderência pneu-pavimento e também nos acontecimentos de acidentes. Levando em consideração que as rodovias em condições de manutenção e conservação frequentes, quando utilizadas, devem dispor condições de segurança ao condutor, para que assim as situações de risco sejam evitadas.

4.7 MACROTEXTURA

A macrotextura é definida pela característica da faixa de granulométrica do concreto asfáltico, pelo método de execução em campo, isto é, a compactação do material. A mesma é responsável pela aderência em médias e altas velocidades em pista molhada. Contribuindo para o escoamento da água entre o pneu e a superfície do revestimento com isso possibilitando uma diminuição significativa na ocorrência de hidroplanagem de modo que restabelece, mesmo que parcialmente o contato seco (FERREIRA, 2002).

“[...] As superfícies rugosas de pavimento de concreto asfáltico são resultantes do uso de granulares grandes. Contudo, as propriedades mecânicas podem ser diferentes para granulares de tamanho máximo, grandes ou pequenos” (MOMM, 1998).

De acordo com as especificações do DNIT (2009), as condições de segurança do pavimento devem ser definidas por métodos de avaliação e

mensuração da textura, e para a macrotextura o do ensaio recomendado é o de Mancha de Areia, conforme ASTM E 965-96.

A construção de um pavimento de concreto asfáltico deve perseguir a definição de um concreto constituinte da camada superficial do pavimento no qual a rugosidade seja produzida pela escolha conveniente dos diversos materiais utilizados, especialmente, pela curva granulométrica caracterizada pelo tamanho máximo do granular e por parâmetro da distribuição granulométrica. O aumento do tamanho dos granulares constituintes do pavimento proporciona o aumento do efeito histerese o que pode representar aumento de resistência ao rolamento e aumento do consumo de combustível. Pavimento rugoso oferece saliências ao contato da borracha da banda de rodagem do pneu que pode produzir aumento do consumo de combustível por causa da dissipação de energia por deformação. As asperezas vivas em excesso podem detonar a integridade da borracha pela mordedura do granular. Maior rugosidade e aspereza pode ocasionar menor vida útil do pneu (MOMM, 1998).

Santos (2008) ressalta que, diferentes fatores influenciam diretamente na macrotextura de um pavimento, como processos de britagem, origem mineralógica, o projeto das misturas da massa asfáltica, preparação e execução das mesmas. Ao logo da vida útil da via, a macrotextura sofre constantes alterações, devido principalmente à ação do tráfego. Essas alterações diminuem a eficiência no escoamento da água, dificultando a drenagem da lâmina d'água, provocando com isso o fenômeno chamado reflexão luminosa, observado na Figura 7.



Figura 7 – Escoamento de água e reflexão luminosa
a) Pavimento contendo reflexão luminosa;
b) Trecho inicial do pavimento com textura lisa e final rugosa;
c) Início do pavimento liso, com pouco escoamento e muita reflexão, ao final o inverso.
Fonte: Santos, (2008).

Segundo Aps (2006) entende-se que, “a macrotextura depende basicamente da graduação da mistura utilizada na camada de rolamento e pode ser classificada por aberta ou grosseira e fechada ou fina”.

De acordo com Ferreira (2002), a macrotextura faz parte da textura do pavimento e consigo traz a disposição espacial dos granulares na mistura asfáltica, formando canais que facilitam o escoamento água. Portanto, uma superfície de macrotextura eficiente, está diretamente ligada à capacidade da superfície de expelir água, não permitindo o acúmulo de água na camada de rolamento, logo se sobrepondo aos picos dos granulares.

A deficiência na drenagem dos pavimentos pode provocar o fenômeno conhecido como hidroplanagem, o mesmo faz com que o pneu perca completamente o contato com o pavimento, permanecendo entre o pneu e o pavimento apenas lâmina d'água. Em resumo o fenômeno acontece pelo simples fato da espessura da lâmina d'água ter ultrapassado a altura das saliências da rugosidade (macrotextura) do pavimento. A avaliação sistêmica da macrotextura de um revestimento pode contribuir e assegurar um melhor gerenciamento dos pavimentos, assim prevenindo este e outras ocorrências (FERREIRA, 2002).

Momm (1998) relata que “a drenabilidade do pavimento consiste na sua capacidade em drenar a água superficial por suas rugosidades. É uma técnica de quantificar a macrotextura do pavimento. A forma, o tamanho e a densidade dos granulares salientes a superfície influem na drenabilidade do mesmo”.

Quanto ao tipo da macrotextura do pavimento, a mesma é apresentada inicialmente por um revestimento asfáltico que depende da formação desse revestimento, abrangendo desde a origem dos materiais granulares da composição até a forma de aplicação do revestimento, abaixo está descrito cinco dos itens envolvidos (FERNANDES, 1998, *apud* FERREIRA, 2002).

- a) Origem Mineralógica: Conforme a rocha-mãe os granulares apresentam diversas características, estas são a angularidade, a esfericidade, a resistência ao desgaste, etc;
- b) Processo de Britagem: Esse procedimento influencia diretamente no grau de esfericidade granular, preferindo-se os processos que eliminem direções preferenciais de ruptura e dê forma cúbica ao granular;
- c) Projeto das Misturas do Revestimento: Define a granulometria do material a ser utilizado, a partir do diâmetro máximo efetivo do granular.

Frequentemente as misturas que possuem granulometria descontínua, ou que possuem mínimos teores de granulares nas dimensões da areia, são consideradas misturas de macrotextura forte;

d) Método de Preparação do Revestimento: Pode provocar desigualdades nas misturas devido ao alto ou baixo teor de betume. Misturas com preparação em usinas obtêm seguimentos em conformidade com a macrotextura. O método da Penetração Invertida geralmente tem como consequência à exsudação;

e) Método de Execução da Camada de Revestimento: Necessitam das especificações dos projetos, para que assim realizem a execução do revestimento, estas especificações sendo energia de compactação, temperatura de execução e o número de passadas do rolo compressor.

O autor descreve que além dos itens listados acima, a macrotextura também passa por frequentes alterações em sua vida útil, pois a circulação de veículos ao longo do tempo faz com que a textura do pavimento se desgaste, assim absorvendo modificações que alteram a capacidade de escoamento da água na superfície de rolamento, logo impedindo o rompimento da lamina d'água. Essas modificações podem ser:

a) Desagregação: Esta acontece frequentemente pela falta de ligante na mistura asfáltica, deixando o agregado com pouca aderência, este por não suportar às forças cisalhantes que são exercidas pela ação do tráfego modificando sua disposição inicial, ou seja, separação do que antes estava agregado;

b) Desgaste: É a deterioração da superfície causada pelo uso, reduzindo as saliências dos agregados, decorrente de produtos químicos e demais, isto é, a ocorrência da ação abrasiva sobre a superfície de rolamento;

c) Densificação do Revestimento: É a compactação ocasionada através do tráfego de veículos, acomodando os granulares graúdos com os miúdos, estes se nivelando e então diminuindo os canais de escoamento da água, em consequência a diminuição da macrotextura da superfície;

d) Ruptura dos agregados: É prejudicial à macrotextura quando o rompimento acontece paralelo ao plano da superfície;

e) Recomposição: Se dá através da compactação ocasionada pelo tráfego, alterando a disposição dos granulares na superfície.

Ferreira (2002) descreve que, “a eficiência da macrotextura depende o tipo de aplicação do revestimento, da velocidade do tráfego permitida, e de aspectos pluviométricos da região onde se encontra”.

Momm (1998) esclarece que, quando muito rugosa a macrotextura provoca o ruído. O ruído ocorre quando o pneu desliza sobre o pavimento, e por uma alta rugosidade gera mais vibrações na banda de rodagem do pneu, por consequência faz com que aconteça a formação de ruídos, porém com frequências mais baixas.

A rugosidade é responsável pela formação de canais de escoamento que possibilitam de uma forma mais eficaz a drenagem da água do pavimento. Uma vez que, a drenagem superficial acarreta na diminuição do fenômeno de hidroplanagem, salientando que de modo muito forte, e ainda por conexão deste, o fenômeno da viscoplanagem, ambos dependem diretamente da altura da lamina d'água (MOMM, 1998).

Segundo Bucharles (2014), a macrotextura tem obrigação de apresentar uma satisfatória drenagem no pavimento, estas liberando a água pelos seus microcanais e dependendo basicamente da distribuição de seus agregados granulares que compõem a massa asfáltica.

Ainda que o método seja de fácil execução e rápido, é necessário à identificação de algumas limitações como (MOMM, 1998):

- O impedimento de identificar as condições das rugosidades, o que pode apresentar um resultado idêntico de altura de areia para rugosidade com proporções totalmente desiguais;
- Inconsistência dos resultados quando realizado em revestimentos finos, cuja textura se aproxima do tamanho médio dos grãos da areia padrão.

Segundo Momm (1998), apesar das “críticas da falta de precisão do método de mancha de areia, o estudo mostra que é aceitável desde que os valores de ensaio não sejam efetivamente pequenos, isto é, pavimentos lisos [...]”. Com isso, pode-se dizer que a rugosidade do pavimento em condições lisas, para efeitos de cálculo não são precisas.

4.8 INFLUÊNCIAS DO TIPO DE REVESTIMENTO NA TEXTURA SUPERFICIAL

Segundo APS (2006), existem algumas características da mistura asfáltica que podem influenciar na textura superficial dos pavimentos, as principais citadas são, quanto à forma dos agregados, principalmente os agregados graúdos (retidos na peneira 4 ou 4,76 mm), quanto a sua distribuição granulométrica e a sua natureza.

Esta autora salienta que, o ligante asfáltico pouco influencia na textura superficial dos agregados, “[...] sua importância é indireta e relativa à resistência e a desagregação dos revestimentos que podem, após uso pelo tráfego e ação das intempéries, sofrerem arrancamento de agregados, denominados na classificação de defeitos por desgaste da superfície”, desta forma acarretando na alteração da textura superficial do pavimento.

É comum que a escolha do revestimento muito seguro em relação à resistência a derrapagem ou a aderência, principalmente em vias em condições molhadas, leve a uma geração de ruído mais intensa. Todavia, em determinadas situações de pavimentos de estradas, pode-se, optar por revestimentos que combinem esses dois aspectos: segurança na condição do veículo e ruído menos intenso. A superfície do pavimento é sempre responsável por parcela importante da segurança e do ruído gerado (CALLAI, 2011).

A superfície do pavimento abrange quatro grandezas, estão elas indicadas na Figura 8.

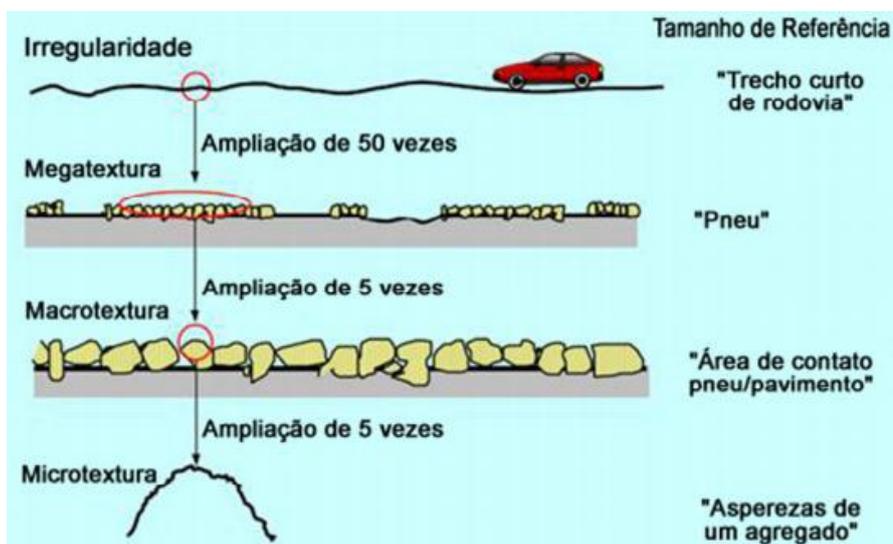


Figura 8 - Diferença entre as texturas do pavimento.
Fonte: Sandberg, 1997 *apud* Callai, 2011.

Um dos fatores que mais interfere no atrito é a macrotextura, portanto, qualquer defeito de superfície que promova o fechamento da textura é prejudicial. A exsudação, é um dos defeitos mais indesejáveis sob este aspecto. Em contrapartida, o desgaste pode causar melhoria de macrotextura, pois, as perdas de mástique, que causa a exposição das pontas dos agregados fazem com que os canais formados entre agregados possibilitem maior vazão superficial. O polimento de agregados é prejudicial para a microtextura, tornando a superfície do agregado menos áspera e, portanto, com menor capacidade de ruptura da lâmina d'água.

Todos os defeitos que interferem na geometria da via, como afundamentos de trilhas de roda ou localizados, e que resultem no acúmulo de água na superfície do pavimento, são indesejáveis para a aderência, pois aumentam a espessura de película de água, aumentando o risco de hidroplanagem.

4.8.1 Graduação de misturas asfálticas usinadas

A faixa granulométrica do pavimento é uma das principais características que influenciam no comportamento dos revestimentos asfálticos. Esta distribuição está diretamente ligada a trabalhabilidade, permeabilidade, estabilidade, rigidez, resistência a fadiga, resistência ao dano por umidade induzida, a deformação permanente, etc. (BERNUCCI *et al*, 2008)

O autor classifica ainda, quatro tipos de graduações, que se destacam como as mais importantes, e ainda são nomeadas como densa, aberta, uniforme e descontínua. As mesmas são descritas a seguir:

- Faixa granulométrica densa ou bem graduada é aquele que consiste em uma distribuição granulométrica contínua, isto é, próxima a densidade máxima;
- Faixa granulométrica aberta apresenta distribuição granulométrica contínua, porém com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para completar os vazios entre os agregados maiores, ocasionando um maior número de vazios. Ainda, nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é alcançada e chega a zerar;
- Faixa granulométrica uniforme apresenta-se, em sua maioria, agregados com tamanhos em uma faixa bastante estreita;
- Faixa granulométrica com degrau ou descontínua, apresenta pouca porcentagem de agregados com tamanhos intermediários. Estes agregados devem

ser modificados quando em misturas asfálticas, os quais são sensíveis a segregação.

Por meio de representação gráfica mostrada na Figura 9, é possível visualizar as curvas granulométricas formadas de acordo com as faixas granulométricas citadas acima.

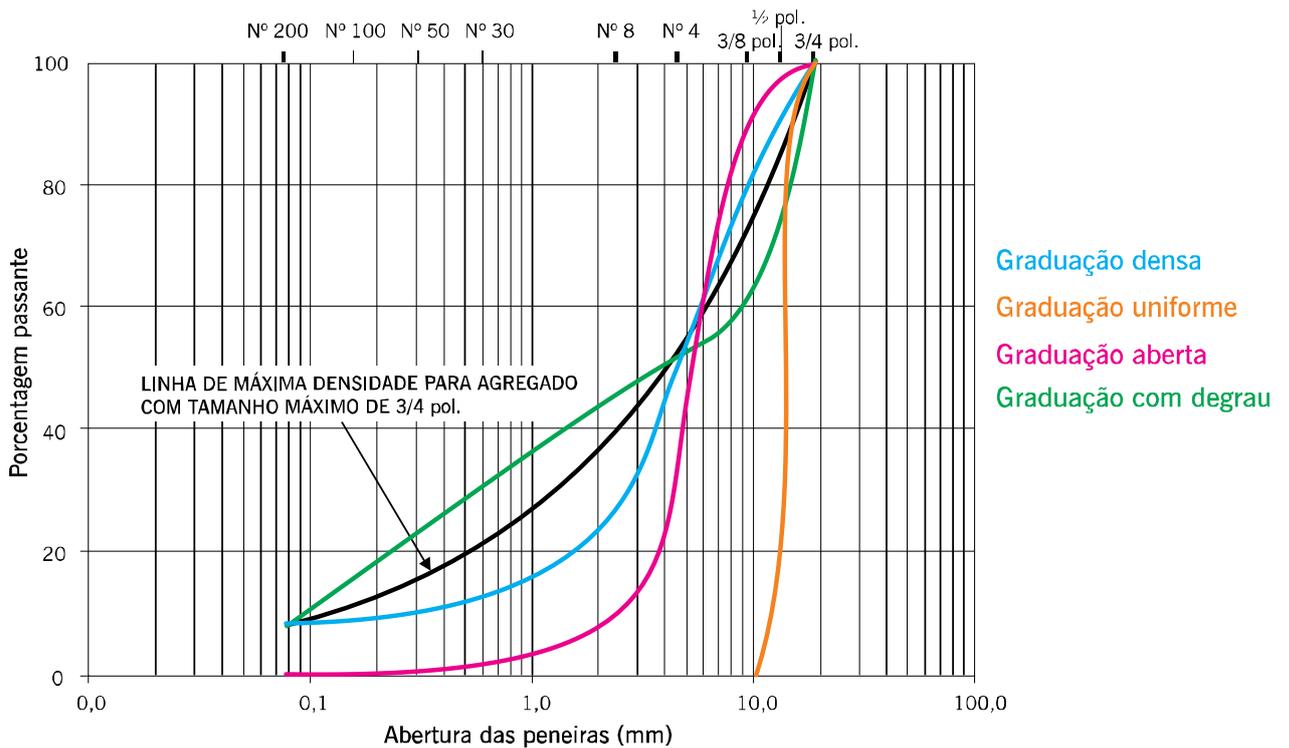


Figura 9 - Representação convencional de curvas granulométricas.
Fonte: Bernucci *et al*, (2008).

5 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos e os devidos ensaios realizados a campo junto com o método para a obtenção da macrotextura dos pavimentos, em um trecho de rodovia federal entre os Municípios de Tuneiras do Oeste e Campo Mourão no estado do Paraná.

5.1 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DA MACROTEXTURA

5.1.1 Distribuição dos pontos de coleta de dados

Para a determinação precisa da macrotextura de todo o trecho, a distribuição dos pontos se deu a cada 250 metros percorrendo uma extensão que fica entre os Km 126,50m e Km 144,58m, foram realizados um total de 37 ensaios intercalando os sentidos do fluxo veicular, conforme o esquema na figura 10 a seguir:

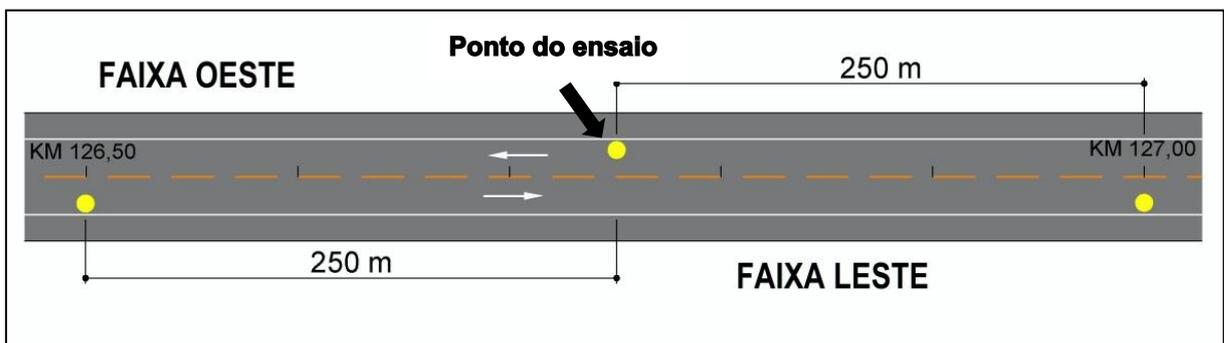
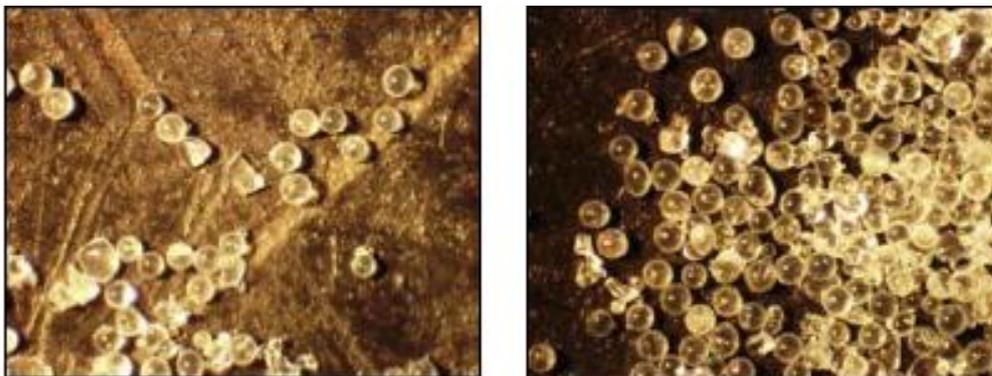


Figura 10 - Identificação dos pontos de ensaios.
Fonte: Autoria Própria.

5.1.2 Ensaio de Mancha de Areia

O ensaio da mancha de areia avalia a macrotextura e caracteriza a superfície do pavimento quanto a sua capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento, e quantifica a densidade, ou seja, a distância média entre grânulos individuais de agregados aflorados na superfície do pavimento (DNIT 2006).

O processo mais comum de mensuração da macrotextura é o método da altura de areia conforme ASTM E 965-96 (2006) (DNIT). Os materiais utilizados para o ensaio de mancha de areia foram: trena, pincel, disco com base emborrachada e areia (micro esferas de vidro, Figura 11).



**Figura 11 - Microesfera de vidro utilizadas do ensaio (aumento de 25X).
Fonte: (SPECHT, *et al*, 2006 *apud* SANTOS 2008).**

O ensaio de “mancha de areia” (ASTM, 2001), consiste em preencher os vazios do revestimento superficial com o volume conhecido de 25.000 mm³ de areia uniformemente limpa e seca, com grãos com formato esférico, que passam pela peneira de abertura de 0,3 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 0,15 mm, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de Classificação Granulométrica

Peneira nº	Diâmetro (mm)	% Passando
50	0,3	100
60	0,16	-
100	0,15	0

Fonte: Adaptado de “Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimentos Flexíveis” 1997 – Eng^o Marcílio Augusto Neves

Com a ajuda de uma escova de mão macia, a superfície ensaiada foi limpa e tomou-se o cuidado que o local onde o material foi vertido estivesse devidamente seco e com o auxílio de disco com base emborrachada e diâmetro entre 60 e 75 mm a areia foi espalhada de forma circular para que ocorresse a perfeita distribuição da areia, ou seja, de forma homogênea, como demonstrado na figura 12.

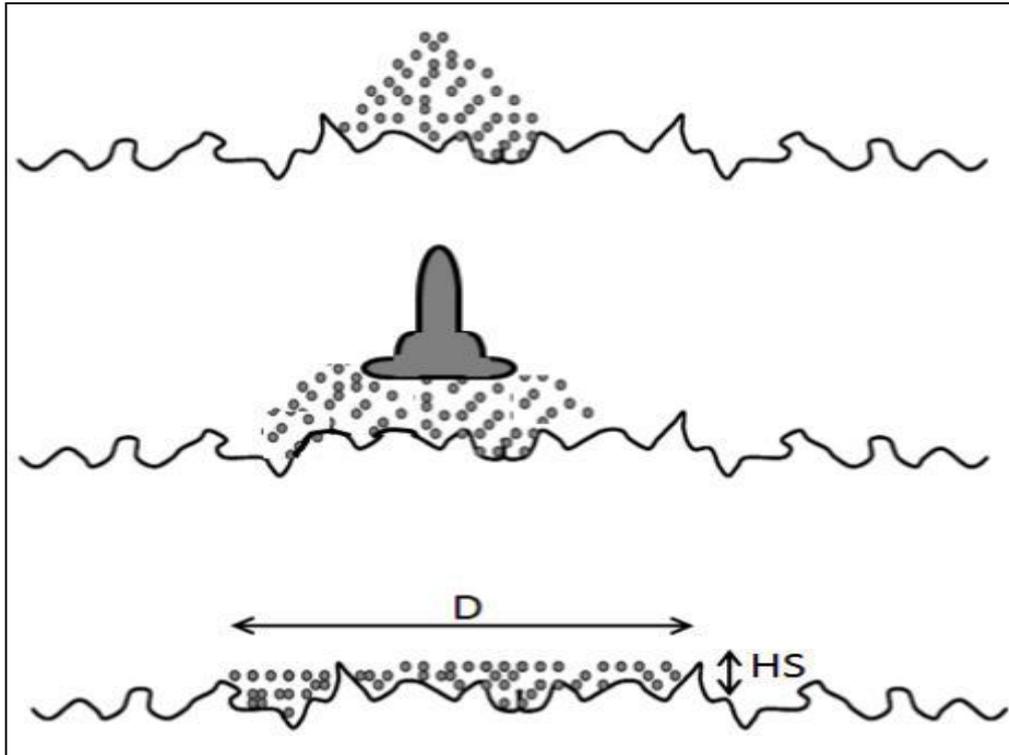


Figura 12 - Esquema representativo do ensaio de Mancha de Areia
 Fonte: (RODRIGUES FILHO, 2006 *apud* MATTOS, 2009).

O ensaio foi interrompido quando surgirem algumas pontas de agregados. Em seguida é medido o diâmetro formado pelo círculo de areia em quatro direções distintas, fazendo-se a média (BERNUCCI *et al*, 2008).

Com o valor do diâmetro, calcula-se a altura média de mancha de areia pela Equação:

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi}$$

Em que:

HS = altura média da mancha de areia, em mm;

V = volume constante de areia de 25.000 mm³;

D = diâmetro médio do círculo de areia, em mm.

De acordo com Silva (2005), a divisão desse volume pela área média de mancha de areia formada no espalhamento resulta numa espessura ou altura média, com a qual pode se classificar a macrotextura.

Na Figura 13 pode-se observar em sequência a realização do ensaio em um dos pontos de coleta na rodovia, após a limpeza do local com o pincel, foi vertido no local o volume de areia, em seguida com a ajuda do aparelho com base emborrachada a areia foi espalhada lentamente formando um círculo, quando se observou as primeiras pontas de agregados o ensaio foi interrompido e feito a medição do diâmetro da mancha em quatro direções para se obter a média.



Figura 13 – Processo do ensaio de Mancha de Areia
Fonte: Autoria própria.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 LEVANTAMENTO DOS VALORES DE MACROTEXTURA

Os dados coletados por meio do ensaio de mancha de areia evidenciaram quatro medidas distintas do diâmetro da mancha, com direções alternadas onde foi permitido calcular a altura da mancha de areia (HS) dos pontos em que foi executado o ensaio em campo.

Em uma planilha eletrônica, foram processados os dados levantados em campo objetivando facilitar os devidos cálculos quanto a sua classificação, estes podem ser observados nas Tabelas 3 e 4 a seguir.

Tabela 3 – Valores de macrotextura obtidos nos levantamentos.

PISTA DIREITA - FAIXA LESTE							
PONTOS	KM	MEDIDAS (cm)				Ø média (cm)	HS mm Macrotextura
		1	2	3	4		
1	126+500	29,5	30,0	29,0	28,5	29,25	0,372
3	127+500	29,5	30,0	29,5	28,5	29,38	0,369
5	128+500	28,5	30,0	30,0	29,5	30,25	0,348
7	129+500	27,5	28,0	28,5	28,5	28,13	0,403
9	130+500	30,5	29,5	29,0	31,0	30,00	0,354
11	131+500	32,0	32,0	31,0	30,5	31,38	0,324
13	132+500	24,0	25,5	24,0	25,0	24,63	0,525
15	133+500	31,0	31,0	31,0	31,0	31,00	0,331
17	134+500	25,0	25,5	23,5	23,0	24,25	0,542
19	135+500	31,5	30,5	28,5	32,0	30,63	0,340
21	136+500	30,0	27,0	28,0	28,0	28,25	0,399
23	137+500	27,5	26,5	28,0	28,5	27,63	0,417
25	138+500	24,0	27,0	23,0	24,0	24,50	0,531
27	139+500	30,5	29,5	28,0	30,0	29,50	0,366
29	140+500	24,0	27,0	25,0	26,0	25,50	0,490
31	141+500	27,0	28,5	28,0	28,0	27,88	0,410
33	142+500	24,0	23,5	22,0	21,5	22,75	0,615
35	143+500	24,0	25,0	24,0	25,0	24,50	0,531
37	144+500	27,0	24,0	25,5	27,0	25,88	0,476

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Valores de macrotextura obtidos nos levantamentos.

PISTA ESQUERDA - FAIXA OESTE							
PONTOS	KM	MEDIDAS (cm)				Ø média cm	HS mm Macrotextura
		1	2	3	4		
2	127+000	28,0	26,5	27,0	28,5	27,50	0,421
4	128+000	31,5	32,5	32,5	32,5	32,25	0,306
6	129+000	34,5	34,0	34,0	33,0	34,13	0,273
8	130+000	24,5	23,0	25,0	25,0	24,88	0,515
10	131+100	27,5	28,0	25,5	27,0	27,00	0,437
12	132+000	23,0	22,5	24,0	23,0	23,13	0,596
14	133+000	32,5	32,5	33,0	32,5	32,38	0,304
16	134+000	30,0	30,0	30,0	31,0	30,25	0,348
18	135+000	33,5	33,0	32,5	31,0	32,50	0,302
20	136+000	32,5	32,0	30,5	32,0	31,75	0,316
22	137+000	29,5	27,5	29,0	30,0	29,00	0,379
24	138+260	28,0	28,5	28,0	29,0	28,38	0,396
26	139+000	27,0	27,5	27,5	26,0	27,00	0,437
28	140+000	23,0	24,0	24,0	23,0	23,50	0,577
30	141+000	26,5	27,0	26,5	25,0	26,25	0,462
32	142+000	30,0	30,0	30,5	30,0	30,13	0,351
34	143+000	21,0	20,0	20,0	20,0	20,25	0,777
36	144+000	22,0	20,0	21,5	22,0	21,38	0,697

Fonte: Autoria própria.

6.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE MACRO TEXTURA

Diante dos dados apresentados anteriormente pode-se avaliar a situação do novo pavimento da rodovia, segmento de 18 km à aderência pneu-pavimento e ainda em relação ao conjunto de graduação e dimensão dos granulares.

6.2.1 Classificação da macrotextura

Conforme Berucci *et al* (2008), Apesar de existirem vários métodos para se determinar a macro textura, um método bastante simples e comumente usado o de altura média da mancha de areia segundos critérios da Tabela 5 (ASTM E 965).

Através dos valores de altura média da mancha (HS) em mm, obtidos no ensaio de realizado, foi avaliada a macrotextura do revestimento, estes dados foram apresentados nos levantamentos situados no item 6.1, e assim classificados de acordo com a tabela 5.

Tabela 5 - Classe de macrotextura (ABPv, 1990)

Classe	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	$HS \leq 0,2$
Fina ou fechada	$0,20 < HS \leq 0,40$
Média	$0,40 < HS \leq 0,80$
Grosseira ou aberta	$0,80 < HS \leq 1,20$
Muito grosseira ou muito aberta	$HS \leq 1,20$

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2008).

Por fim, a norma do DNIT (2009), recomenda que para ensaios de mancha de areia, a altura média deve conter-se entre a faixa de $0,6 \text{ mm} \leq HS$ (Altura da Mancha de Areia) $\leq 1,2 \text{ mm}$.

Os ensaios realizados relacionam os pavimentos avaliados em quatro classificações das cinco classes contidas na tabela 5. Essas classificações sendo muito fina, fina, média e grosseira. Com isso, as superfícies avaliadas apresentaram valores de HS em um modo geral médio em relação a textura superficial.

As figuras 14 e 15 representam graficamente a comparação dos valores de altura de mancha (HS) de cada ponto de ensaio a campo realizado na rodovia, sendo que na primeira figura estão representados os pontos da faixa leste, isto é pista direita, e a segunda figura representa os pontos da faixa Oeste, pista esquerda.

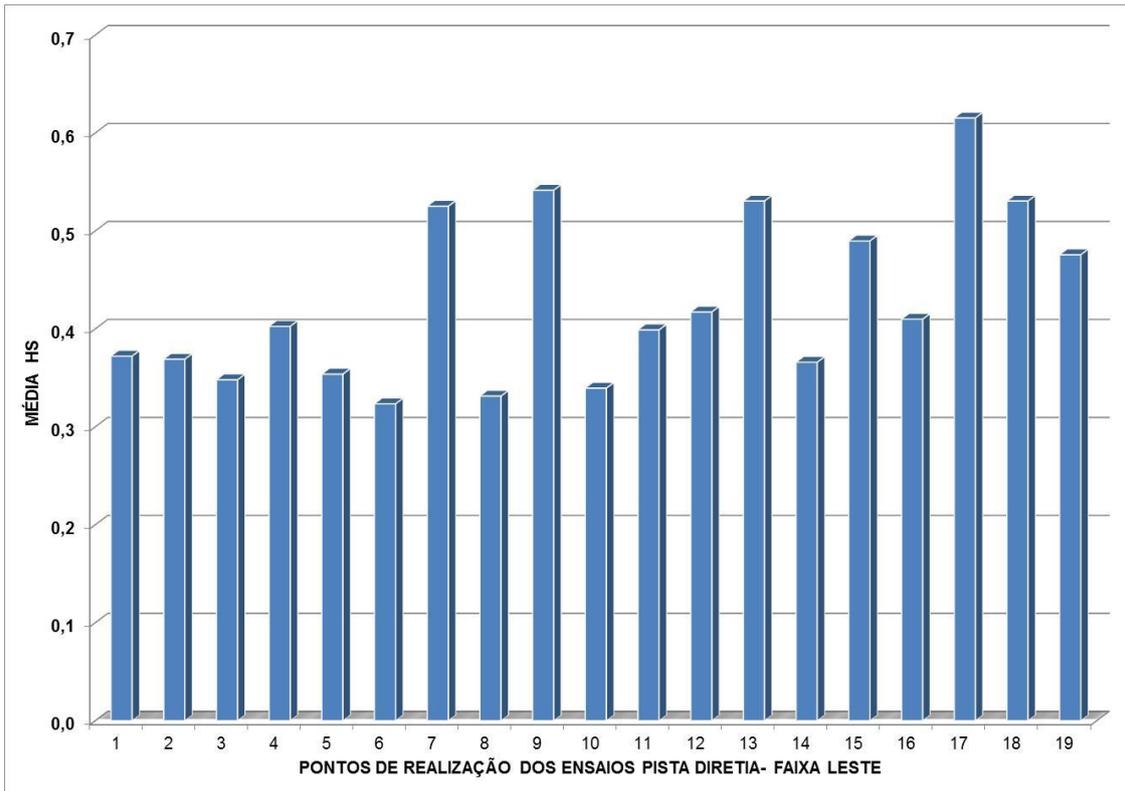


Figura 14 - Comparação dos valores de HS por ponto – Faixa leste.
Fonte: Autoria própria.

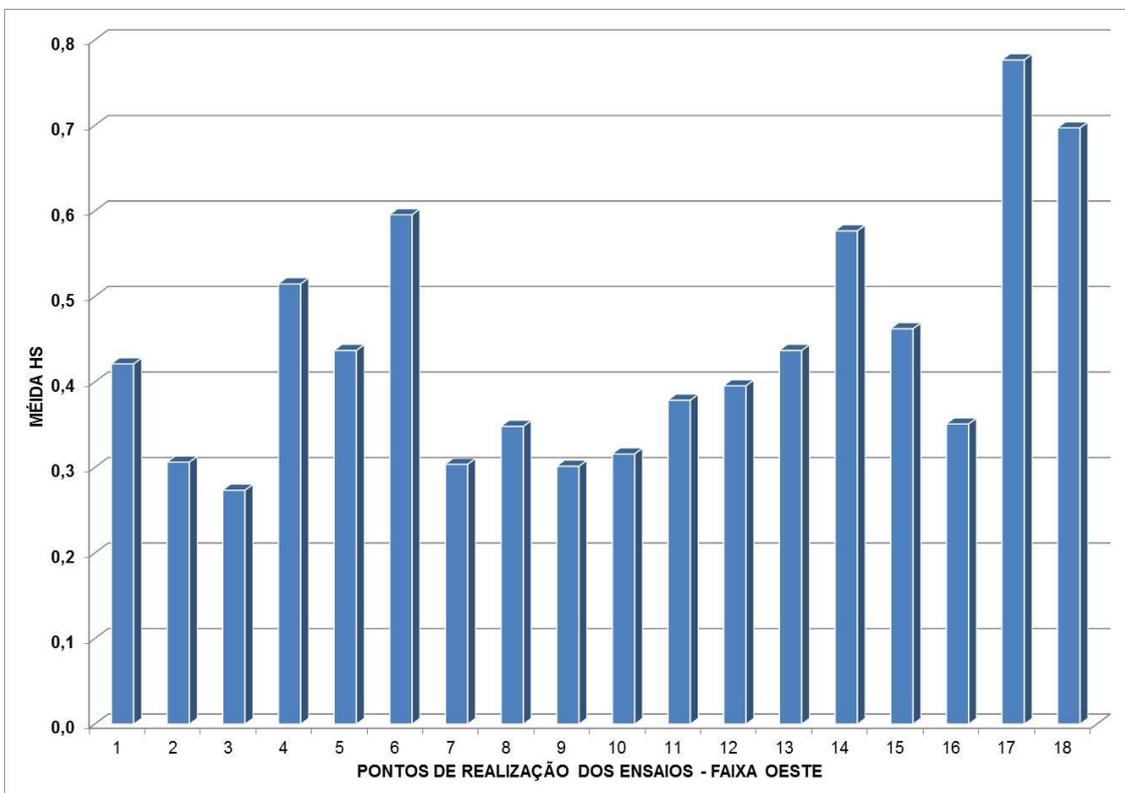


Figura 15 - Comparação dos valores de HS por ponto - Faixa oeste.
Fonte: Autoria própria.

Todos os valores obtidos nas figuras acima demonstram a variação da granulometria dos agregados, ou seja, representa a conjunto de graduação e a dimensões dos mesmos, bem como a compactação do material na execução do revestimento.

Em se tratando de pavimentos novos, ou seja, onde ainda não teve tempo de uso para se levar em conta a influência da ação do tráfego na variação da macrotextura, essa variação pode ser causada na fase de escolha da faixa granulométrica, na usinagem do material, ou até mesmo na execução da compactação do pavimento em campo.

Com a comparação feita na figura 15, que demonstram os pontos coletados na faixa oeste, ou seja, lado esquerdo da pista notou-se alterações com maiores amplitudes da macrotextura, como por exemplo, o ponto 3 com valor de HS de 0,348 e 17 com valor de HS de 0,490.

A Figura 16 a seguir, consta a classificação do pavimento referente aos valores de macrotextura encontrados.

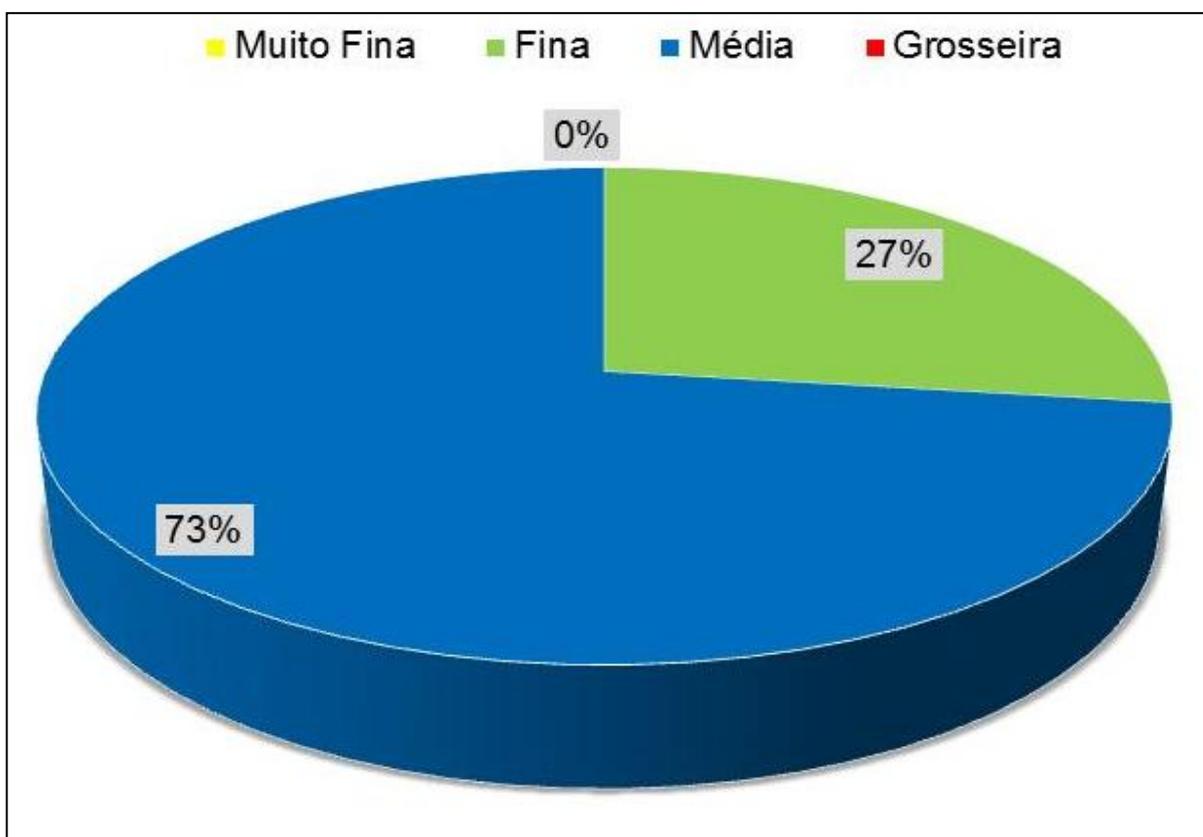


Figura 16 – Comparação quanto á classificação da macrotextura.
Fonte: Autoria própria.

Pasquet (1968, *apud* Ferreira, 2002), recomenda valores de adequação para a textura do revestimento, considerando a velocidade de tráfego permitida, vem através da Tabela 6 trazer a aplicação dos revestimentos em função da altura média de areia-HS.

Tabela 6 - Aplicação dos revestimentos em função da altura média de areia-HS.

Altura Média de Areia HS (mm)	Textura Superficial	Aplicação do Revestimento
HS < 0,20	Muito fina ou muito fechada	Não deve ser utilizado
0,20 < HS ≤ 0,40	Fina ou fechada	Reservado para zonas urbanas (V < 80 km/h)
0,40 < HS ≤ 0,80	Média	Indicados para vias com 80 km/h < V ≤ 120 km/h
0,80 < HS ≤ 1,20	Grosseira ou aberta	Indicados para vias com V > 120 km/h
HS > 1,20	Muito aberta	Indicado em casos especiais (zonas de perigo constante com longos trechos retos, zonas onde há uma presença constante de contaminantes, etc).

Fonte: Adaptado de Pasquet, 1968 apud ferreira, 2002.

Ferreira (2002) relata que a insuficiência de macrotextura em um pavimento é prejudicial ao tráfego dos veículos, por outro ponto de vista a rugosidade excessiva da superfície também é uma característica desfavorável. Entretanto, se tiver um aumento nas dimensões dos granulares que constituem o revestimento, este vem a ocasionar aumento do efeito de histerese, que é o efeito de deformação da borracha pela energia aplicada, em conjunto o aumento da resistência ao rolamento, e ainda em consequência, um aumento no consumo de combustível dos veículos. Em

virtude da elevada rugosidade do revestimento a vida útil dos pneus é encurtada, devido ao desgaste excessivo, estas comprometem a integridade da borracha.

De acordo com a tabela 6, a macrotextura classificada no trecho estudado da rodovia, esta em conformidade com a norma da ASTM, pois a textura superficial fina ou fechada é indicada para um tráfego com velocidade menor que 80 km/h, e a textura superficial média, é indicada para velocidades entre 80 km/h e 120 km/h, considerando que a velocidade diretriz da via alterna entre 60 km/h e 80 km/h.

Em geral a macrotextura do pavimento desse segmento da rodovia, com valores obtidos através da altura da mancha de areia, concentraram-se entre a classificação média, mas de acordo com a norma do DNIT (2009), a altura de HS deve conter-se entre a faixa de $0,6 \text{ mm} \leq HS \leq 1,2 \text{ mm}$.

7 CONCLUSÃO

Esse trabalho avaliou a macrotextura do pavimento asfáltico de um segmento da Rodovia, com o propósito de estudar a camada superficial e avaliar as condições de segurança proporcionada aos usuários da via.

O ensaio de mancha de areia tem uma metodologia muito simples, com equipamentos de fácil manuseio. Os dados obtidos por meio do ensaio de mancha de areia possibilitou a classificação da macrotextura do pavimento avaliado. Os resultados que foram apresentados demonstram a atual condição da camada superficial do revestimento asfáltico da rodovia, que acabaram evidenciando um valor médio de macrotextura baixo com a HS entre 0,3 e 0,4.

Por mais que os valores obtidos para a macrotextura do revestimento seja indicado a Rodovias com velocidades entre 80 km/h e 120 km/h segundo a ASTM, esses valores não atendem a norma 112/2009 - ES do DNIT e nem ao Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos de 2006 do DNIT. Portanto o pavimento em questão se encontra fora dos padrões de segurança. Logo é de extrema necessidade que se faça algum tratamento superficial como, fresagem fina, buscando melhorar esses valores de macrotextura.

REFERÊNCIAS

MOMM, L. **Estudo dos efeitos de granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico**. 1998. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. DNIT. Rio de Janeiro: IPR-720, 2006. 310 p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CManual_de_Restauracao.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2016.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008. 504 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. **Avaliação da Aderência Pneu-Pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30215/000778679.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

_____. **ASTM E 303-93**: standard testmethod for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester. West Conshohocken: ASTM Standards, 1998.

MOUCE, J. M. BARTOSKEWITZ, R. T., (1993); **Hidroplaning and Roadway Tort Liability**, Transportation Research Record, nº 1401, usa, pp 117-124.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFÁLTO. ABEDA. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. Rio de Janeiro, 2010.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. 2004. 279 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Abril de 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

MATTOS, João Rodrigo Guerreiro; SPECHT, Luciano Pivoto; NUÑÉZ, Washington Peres. **Avaliação das condições de aderência pneu-pavimento na rodovia BR-290/RS**. In: CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 4., 2010, [São Paulo, BR]. **Anais eletrônicos...** [São Paulo, BR]: [UFRGS], 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30215/04-053.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

BUCHARLES, Luciano Gardano Elias. **Critério para avaliação pericial da macro e microtextura de pavimento asfáltico em local de acidente de trânsito**. 2014. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, Reginaldo Tudeia dos. **Análise da Macrotextura de pavimentos através de processamento de imagens, usando transformada de Fourier**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

APS, Márcia. **Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos Asfálticos**. 2006. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11122006-144825/pt-br.php>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

SANTOS, Edimar de Lima dos. **Análise histórica de atrito de medição das pistas do Aeroporto Santos Dumont - RJ**. 2004. 123 f. Trabalho de conclusão de curso – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004. Disponível em: 76 <http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2004/TGIEI010_2004a_Edimar.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

FERREIRA, Patrícia Nunes. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/83763>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 112/2009 – ES: **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto-borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR, 2009. 13 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT112_2009_ES.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2015.

ECHEVERIA, José Antônio. **Notas de aula**. Ijuí, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. In: _____. **ASTM E 965-96: standard testmethod for measuringpavementmacrotexturedepthusing a volumetrictechnique**. West Conshohocken: ASTM Standards, 2001b.

CALLAI, Sérgio Copetti. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos**. 2011. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011-171244/pt-br.php>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

SILVA, Patrícia Barboza da. **Estudo em laboratório e em campo de misturas Asfálticas SMA 0/8s**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-31082006-134522/pt-br.php>>. Acesso em: 25 nov. 2016.