



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JONATAN GOMES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A SEGURANÇA VIÁRIA E A
MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS**

CARAÚBAS/RN
2022

JONATAN GOMES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A SEGURANÇA VIÁRIA E A
MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi Árido – UFERSA, Campus
Caraúbas, para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Lorrان
Gaia Ferreira

CARAÚBAS
2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R696a Rodrigues, Jonatan Gomes.
Avaliação da relação entre a segurança viária e a
macrotextura de pavimentos asfálticos urbanos /
Jonatan Gomes Rodrigues. - 2022.
45 f. : il.

Orientador: Wellington Lorrán Gaia Ferreira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Mancha de Areia. 2. Interação Pneu-
Pavimento. 3. Vias Urbanas. 4. Textura. I.
Ferreira, Wellington Lorrán Gaia, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JONATAN GOMES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A SEGURANÇA VIÁRIA E A
MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi Árido – UFERSA,
Campus Caraúbas, para a obtenção
do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Wellington
Lorran Gaia Ferreira

Aprovado em: 08/06/2022

BANCA EXAMINADORA

WELLINGTON LORRAN
GAIA
FERREIRA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por
WELLINGTON LORRAN GAIA
FERREIRA
Dados: 2022.06.21 06:52:27 -03'00'

Prof. Dr. Wellington Lorran Gaia Ferreira - UFERSA
Orientador – Presidente

JENNEF CARLOS
TAVARES: [REDACTED]

Assinado de forma digital por
JENNEF CARLOS
TAVARES
Dados: 2022.06.20 14:35:26 -03'00'

Prof. Me. Jennef Carlos Tavares - UFERSA
Primeiro Membro

ALISON KAIO DANTAS
PEREIRA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por
ALISON KAIO DANTAS
PEREIRA
Dados: 2022.06.20 21:43:16 -03'00'

Esp. Alison Kaio Dantas Pereira - UFERSA
Segundo Membro

CARAÚBAS
2022

À Deus que me fortalece. Aos meus pais, por todo carinho, amor, atenção, dedicação e incentivo dados em todos momentos da minha vida. À minha irmã, a quem tenho amor imenso. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, por estar sempre ao meu lado, por me levantar todos os dias e por não me deixar cair diante dos medos e anseios. A ti, senhor, toda Honra e toda Glória.

Aos meus pais Isabel Lopes Gomes Rodrigues e Jorge José Rodrigues, que estiveram longe fisicamente neste período de graduação, mas que sempre me incentivaram de maneira incondicional. Obrigado por todos os ensinamentos, amo vocês!

A minha irmã, Joyce Gomes Rodrigues, pessoa a qual compartilho meus melhores momentos. Obrigado por toda cumplicidade e todo amor. A ti, meu amor imenso.

Aos demais familiares, que torcem pelo meu sucesso e contribuem na minha formação.

Aos meus amigos de longa jornada, Francisco de Assis, Larissa Stefany, Érika Eduarda, Sarah Rhavena e Keliane Nascimento, por toda amizade e companheirismo, e por nunca estarem longe apesar da distância.

Aos meus amigos de graduação, de forma especial a Thiago Souza e Lavoisier Moura, por sempre se fazerem presentes, amenizando a falta da família e fazendo com que todos os obstáculos se tornem mais fáceis de serem conquistados.

Ao professor Wellington Lorrán, pela orientação, atenção, dedicação e incentivos dados para a realização desse trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora, Jennef e Alison, por terem aceitado participar de minha defesa e disporem de seu tempo valioso para contribuir com esse trabalho.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

“Je connais mes limites. C'est pourquoi je vais au-delà. (Eu conheço meus limites. É por isso que eu os ultrapasso).” (Serge Gainsbourg).

RESUMO

O aumento dos acidentes de trânsito em vias urbanas pressiona os sistemas de saúde. Esses acidentes são função de diversas variáveis, tais como as condições mecânica dos veículos, bem como o estado físico e mental do condutor. No entanto, a infraestrutura viária também é um fator que pode afetar o comportamento do motorista e, conseqüentemente, gerar acidentes. Nesse contexto, a segurança viária tem relação direta com a aderência formada entre o pneu e o pavimento, pois a condição de atrito entre essas duas superfícies pode afetar o padrão de condução do motorista. Entretanto, diferente do que é observado em rodovias rurais de alto volume de tráfego e pistas de aeroportos, não é comum avaliar com frequência as condições de textura da superfície asfáltica em meios urbanos. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a macrotextura em um trecho de via urbana da cidade de Caraúbas/RN, a fim de investigar se pontos considerados críticos, isto é, pontos de aceleração e frenagem, tais como ao redor de cruzamentos, próximo as faixas de pedestre e lombadas, apresentam valores de macrotextura que são as rugosidades formada pelos agregados do pavimento, são significativamente divergentes dos valores observados no restante da via. A avaliação da macrotextura foi realizada através dos ensaios de Mancha de Areia e Drenabilidade, sendo avaliado dezoito (18) pontos tanto na trilha de roda interna quanto na trilha de roda externa da mesma via, bem como antes e após as faixas de pedestre, lombadas e outros. Verificou-se que, nos pontos considerados críticos, a macrotextura foi classificada como Muito Grosseira, enquanto que no restante da via classificou-se como macrotextura Grossa, ambos os casos estão fora dos limites estabelecidos para vias urbanas. Ademais, observou-se condições de macrotextura distinta nas trilhas de roda interna e externa. Tais resultados indicam que a condição do pavimento com relação a macrotextura muda em pontos diversos da mesma via e, portanto, podem oferecer zonas com risco maior para a segurança viária.

PALAVRAS-CHAVE: Mancha de Areia. Interação Pneu-Pavimento. Vias Urbanas. Textura.

ABSTRACT

The increase in traffic accidents on urban roads puts pressure on health systems. These accidents are a function of several variables, such as the mechanical conditions of the vehicles, as well as the physical and mental state of the driver. However, road infrastructure is also a factor that can affect driver behavior and, consequently, lead to accidents. In this context, road safety is directly related to the adhesion formed between the tire and the pavement, as the condition of friction between these two surfaces can affect the driver's driving pattern. However, unlike what is observed on rural roads with high traffic volume and airport runways, it is not common to frequently assess the texture conditions of the asphalt surface in urban areas. Thus, this research aimed to evaluate the macrotexture in a stretch of urban road in the city of Caraúbas/RN, in order to investigate whether points considered critical, that is, acceleration and braking points, such as around intersections, near the pedestrian lanes and speed bumps, present macrotexture values which are the roughness formed by the pavement aggregates, are significantly different from the values observed in the rest of the road. The macrotexture evaluation was carried out through the Sand Stain and Drainability tests, with eighteen (18) points being evaluated both on the inner wheel track and on the outside wheel track of the same road, as well as before and after the pedestrian lanes, speed bumps. and others. It was found that, in the critical points, the macrotexture was classified as Very Coarse, while in the rest of the road it was classified as Coarse macrotexture, both cases are outside the limits established for urban roads. Furthermore, distinct macrotexture conditions were observed in the inner and outer wheel tracks. These results indicate that the condition of the pavement in relation to the macrotexture changes at different points on the same road and, therefore, may offer areas with greater risk for road safety.

KEY WORDS: Sand stain. Tire-Pavement Interaction. Urban Roads. Texture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Esquema das interações que ocorrem na interface pneu-pavimento.....	16
Figura 02 – Fenômeno da Hidroplanagem.....	18
Figura 03 – Zonas de Hidroplanagem	19
Figura 04 – Ilustração dos conceitos de Micro e Macrotextura	21
Figura 05 – Classificação da textura na superfície do pavimento	22
Figura 06 – Tipos de superfície	22
Figura 07 – Equipamentos utilizados para medira Microtextura – (a) Pêndulo Britânico, (b) Grip-Tester e (c) DF Teste.	23
Figura 08 – Ensaio de Drenabilidade	24
Figura 09 – Esquema da realização do ensaio de Mancha de Areia	24
Figura 10 – Fatores que afetam a segurança viária	27
Figura 11 – Tempo de reação do motorista	29
Figura 12 – Fluxograma das Etapas de Estudo	31
Figura 13 – Localização da cidade de Caraúbas	32
Figura 14 – Pontos de análise.....	32
Figura 15 – Ensaio de Mancha de Areia	33
Figura 16 – Ensaio de Drenabilidade	34
Figura 17 – Representação dos valores de Macrotextura na trilha de roda eixo interno e externo no sentido A	36
Figura 18 – a) Ponto 7, local que apresentou maior valor de macrotextura com grande acumulo de água em dias chuvosos. b) Ponto 5, local que apresentou menor valor de macrotextura	37
Figura 19 – Representação dos valores de Macrotextura na trilha de roda eixo interno e externo no sentido B	39
Figura 20 – Correlação Mancha de Areia e Drenabilidade.....	40
Figura 21 – Ilustração do local onde pode ser feita a recuperação	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Hidroplanagem nas três zonas de contato	20
Tabela 02 – Limites de aplicação do revestimento segundo a Mancha de Areia e Drenabilidade	25
Tabela 03 – Valores de atrito de acordo com AASHTO e Guzmán.....	30
Tabela 04 – Valores da Mancha de Areia (Hs) e de Drenabilidade (Q) na trilha de roda interna e trilha de roda externa no sentido A	35
Tabela 05 – Valores da Mancha de Areia (Hs) e de Drenabilidade (Q) na trilha de roda interna e trilha de roda externa no sentido B	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBT	Código Brasileiro de Trânsito
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MTD	Mean Texture Depth
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
OMS	Organização Mundial da Saúde
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Atrito	16
3.2 Aderência Pneu-Pavimento	17
3.3 Textura do Pavimento	20
3.4 Mancha de Areia e Drenabilidade	23
3.5 Correlação Macrotextura vs Drenabilidade	26
3.6 Fatores que influenciam na segurança viária	26
3.7 Distância de Visibilidade de Parada	28
4. METODOLOGIA	31
4.1 Etapas do estudo	31
4.2 Definição da área de estudo	31
4.3 Ensaio de Mancha de Areia e de Drenabilidade	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Mancha de Areia e Drenabilidade	34
5.1.1 Sentido A (Supermercado Rede 10 – Banco do Brasil)	34
5.1.2 Sentido B (Banco do Brasil – Supermercado Rede 10)	37
5.2 Mancha de areia vs drenabilidade	39
5.3 Alternativas de recuperação	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	43

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o plano global - da década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030 desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no ano de 2021, os acidentes de trânsito são considerados um problema de saúde pública, uma vez que aproximadamente 1,3 milhões de pessoas morrem por ano, no mundo, devido aos acidentes no trânsito. Maia e Castelo Branco (2019) afirmam que um fator crucial na causa destes acidentes é o comportamento dos condutores, porém este é um fator de difícil modelagem, cabendo a engenharia de transportes propor formas para diminuir essas graves implicações comportamentais através de decisões voltadas a segurança viária.

A condição da superfície do pavimento tem impacto direto na segurança viária pois a textura superficial pode afetar diretamente a aderência pneu-pavimento. Nesse contexto, a macrotextura é um parâmetro fundamental para caracterizar a condição superficial de pavimentos. Bernucci *et al* (2008) caracteriza a macrotextura como a rugosidade formada pelos agregados do pavimento. Aps (2006) afirma que há uma tendência que as superfícies de pavimentos asfálticos mais antigos apresentem uma macrotextura mais aberta em relação aos pavimentos mais novos, e isso se dá devido a ação do tráfego com o tempo, podendo interferir tanto no atrito quanto na capacidade drenante da via.

De acordo com Costa (2017), vários fatores podem comprometer a qualidade da textura superficial do pavimento, destaca-se a ação do tráfego ao longo do tempo, as intempéries, a sujeira e outros. Peder (2017) afirma que a condição da macrotextura do pavimento interfere na resistência a derrapagem, no desgaste dos pneus o que pode aumentar o consumo de combustível, bem com gerar ruídos que afetam o conforto da população que vive ao redor das vias. Ademais, em vias urbanas, as condições de tráfego são distintas das rodovias rurais, portanto, a presença constante de zonas de frenagem e aceleração, tais como faixas de pedestre, lombadas, paradas de ônibus e outros, geram áreas com macrotextura possivelmente diferentes ao longo da mesma via. Dessa forma, as condições de superfície do pavimento devem ser avaliadas periodicamente em diversos pontos das vias urbanas a fim de verificar se os níveis estão adequados.

Maia e Castelo Branco (2019) afirmam que o desempenho da segurança viária está ligado de forma direta com o atrito desenvolvido na interface pneu-pavimento, visto que o pneu é aderente e o asfalto é áspero, e a força de atrito gerada nessa combinação, faz com que o automóvel possa se movimentar sem derrapar pela via.

Entretanto, ao decorrer do tempo a textura superficial das vias vão se desgastando devido ao tráfego, as intempéries, sujeiras e outros, fazendo com que a ausência dessa textura superficial acabe afetando a segurança viária, sendo necessário uma avaliação periódica do pavimento, com a finalidade de mapear os pontos críticos da via e minimizar pontos de acidentes.

Portanto, é necessário o estudo da macrotextura de pavimentos asfálticos, tendo vista que é um parâmetro que está diretamente ligado a segurança viária, e também a outras questões como o escoamento superficial da água.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como finalidade avaliar a macrotextura de pavimentos asfálticos urbanos a fim de analisar a correlação entre a condição da macrotextura e a segurança viária na cidade de Caraúbas/RN.

2.2 Objetivos Específicos

Com base no objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos para a realização do trabalho:

- Avaliar a condição da macrotextura de pavimentos asfálticos urbanos em pontos de ocorrência de acidentes da cidade de Caraúbas/RN;
- Avaliar a correlação entre os ensaios de Mancha de Areia e Drenabilidade;
- Propor alternativas de projeto que reestabeleçam os níveis adequados da macrotextura, e assim possibilitar condições seguras e confortáveis para a tráfegabilidade.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Atrito

A Força de atrito (F_a) é um vetor que resulta de várias outras forças que atuam entre os átomos de uma determinada superfície de um corpo e os átomos da superfície de um outro corpo. Ao colocar em duas superfícies em contato, apenas pontos que são mais altos irão se tocar. A Força de Atrito possui três propriedades, uma dessas propriedades afirma que se um certo corpo se desliza ao decorrer de uma superfície, o seu módulo diminui rapidamente devido ao coeficiente de atrito cinético (ou de cisalhamento), conforme Equação 1.

$$\mu = \frac{F_a}{N} \quad (1)$$

Onde:

μ = coeficiente de atrito;

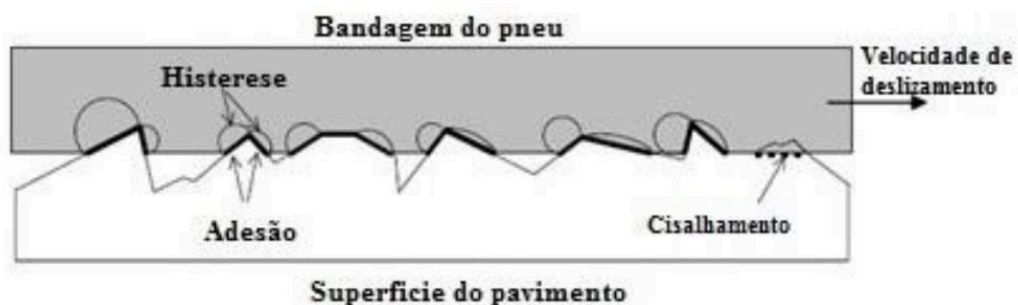
F_a = força de atrito;

N = força norma.

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 1) (PASQUET E BERTHIER, 1966), definidos a seguir:

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

Figura 1: Esquema das interações que ocorrem na interface pneu-pavimento



Fonte: Ferreira, 2016

De acordo com Ferreira (2016), a textura superficial de uma via pode influenciar na adesão, na histerese e no cisalhamento. Pois, a força de adesão é proporcional a área onde ocorre a aderência entre o pneu e o pavimento, a força de histerese é gerada devido ao comportamento do pneu com a velocidade, e a força de cisalhamento é proporcional com a bandagem do pneu. NCHRP (2009) mostra que em pavimentos molhados a histerese aumenta e a adesão formada entre pneu-pavimento diminui por causa do aumento da velocidade, mostrando que a macrotextura tem influência direta em mais de 90% quando se trata de atrito quando o veículo está acima de 90km/h.

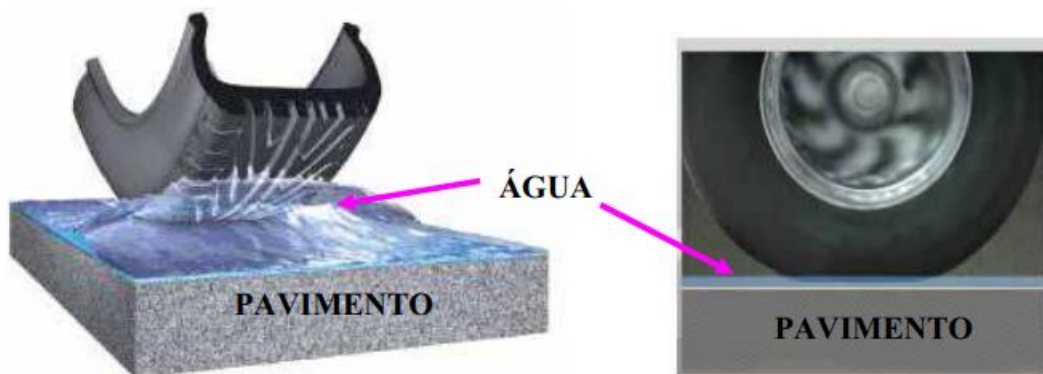
3.2 Aderência Pneu-Pavimento

Soares (2011) afirma que um dos fatores que contribui para a segurança viária é a aderência formada na interação pneu-pavimento, uma vez que uma boa aderência entre essas duas superfícies pode reduzir a distância de frenagem, principalmente em superfícies molhadas.

De acordo com Aps (2006), dos acidentes com vítimas fatais ocorridos nos Estados Unidos da América, cerca de 14% aconteceram em pavimentos molhados. Ademais, a frequência dos acidentes em pistas molhadas é quatro vezes superior que em pistas secas.

O pneu de um veículo ao se deslocar por uma via com a superfície molhada, desempenha algumas pressões na região onde acontece o contato entre o pneu e o pavimento. Essas pressões hidrodinâmicas, resultam no seu acréscimo de acordo com o aumento da velocidade do veículo, e dependendo da condição superficial da via, os valores atingidos podem ser altos, levando os pneus se levantarem sobre a onda de água que se forma a sua frente, perdendo assim o controle direcional, formando a hidroplanagem como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Fenômeno da Hidroplanagem

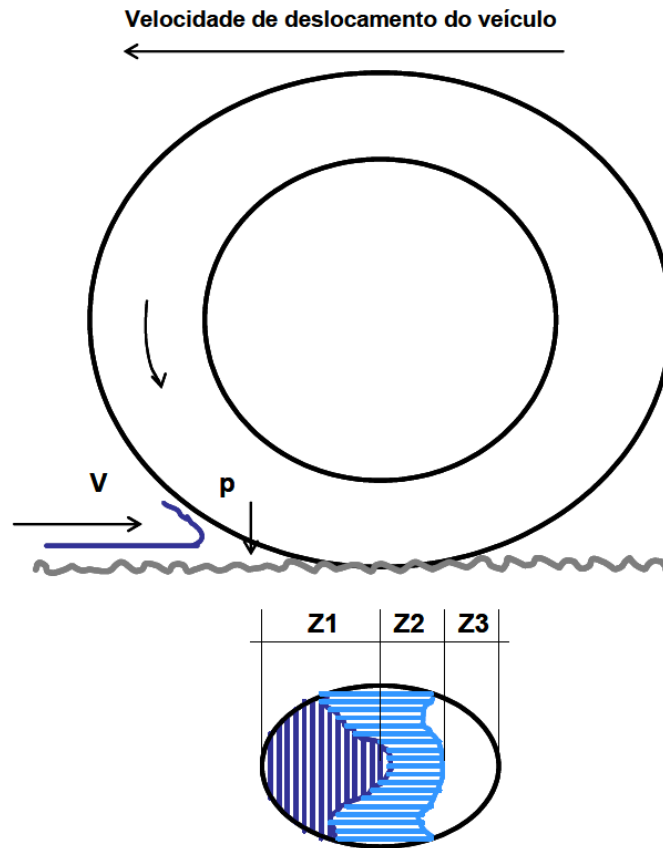


Fonte: Silva, 2008

Aps (2006) afirma que no momento em que ocorre a hidroplanagem, o atrito formado entre o pneu-pavimento se torna insuficiente para dirigibilidade, fazendo com que tanto o controle da direção do veículo quanto capacidade de frenagem sejam perdidos. Vale ressaltar que quando ocorre esse fenômeno, para o pneu voltar a condição necessária a velocidade deve ser reduzida.

Silva e Rodrigues Filho (1981) demonstram que em pesquisas que foram realizadas pela NASA - National Aeronautics and Space Administration, as áreas de contato entre o pneu e o pavimento, quando este estiver molhado deve ser dividida em três zonas distintas, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Zonas de hidroplanagem



Fonte: Aps, 2006

- I. Zona 1 (zona molhada): zona onde a área de contato pneu-pavimento fica com o maior acúmulo de água e, sendo também o local com maior risco de hidroplanagem. Nessa zona a água é deslocada pra frente e para as laterais, na forma de spray d'água. Outra parte se desloca pelas ranhuras dos pneus e pelos canais formados pela textura do pavimento.
- II. Zona 2 (zona de transição ou intermediária): zona onde a película de água é fina tendo risco de hidroplanagem, entretanto em grau menor que na zona 1. Devido ainda ter uma lâmina de água ela impede o contato total com a superfície asfáltica, sendo apenas um contato parcial.
- III. Zona 3 (zona seca ou de contato): zona onde há o contato pneu-pavimento sem a presença de água. Nessa zona não ocorre a hidroplanagem, ou seja, o risco é nulo.

Vale ressaltar que, quanto maior a velocidade do veículo, maior será as reações das forças hidrodinâmicas, e conseqüentemente menor será a área de contato entre o pneu e o pavimento. Como para a eliminação da água na área de contato entre pneu-pavimento é necessário um certo tempo, a macrotextura e a microtextura ocupam uma função conjunta nessa eliminação na superfície do pavimento. Uma vez que a macrotextura, tem objetivo de permitir que grande parte da água existente na Zona 1 seja drenada, e a microtextura de romper a película de água remanescente na Zona 2 permitindo o contato pneu-pavimento. Os fenômenos e as características citadas acima são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Hidroplanagem nas três zonas de contato

Parâmetros	Hidroplanagem Total	Hidroplanagem Parcial	Contato
Zona	Z 1	Z 2	Z 3
Condição do Pavimento	Molhado	Úmido	Seco
Tipo de interação	Deslizamento	Contato parcial	Rolamento
Propriedade relevante	Macrotextura	Microtextura	Macro e Micro
Fenômeno ocorrente	Hidroplanagem dinâmica	Hidroplanagem Viscosa	Atrito

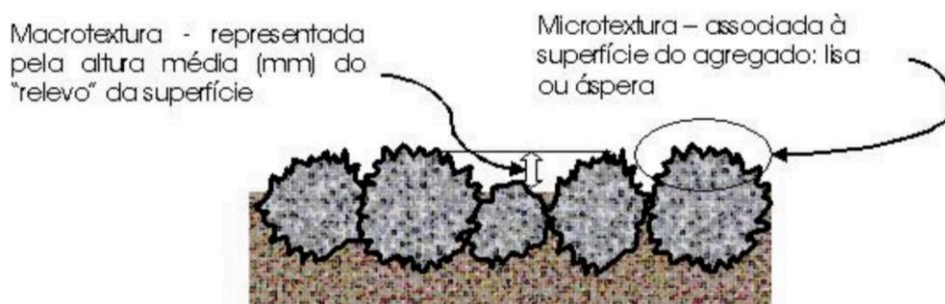
Fonte: Aps, 2006

3.3 Textura do Pavimento

De acordo com Bernucci *et al* (2008), vários fatores acabam contribuindo para a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas, porém dois são fundamentais: a textura superficial da pista e as características dos pneus. A interação entre o pneu e o pavimento é complexa e depende de alguns fatores como a aderência da borracha com a superfície asfáltica e a deformação do pneu causada pelos agregados presentes no pavimento.

A textura do pavimento pode ser representada por duas escalas: a microtextura e a macrotextura, como mostrado pela Figura 4.

Figura 4: Ilustração dos conceitos de Micro e Macrotextura



Fonte: Rodrigues Filho, 2006

Lugão (2008) mostra que a microtextura é caracterizada pela aspereza na superfície dos agregados que são visíveis e tem a função de fazer a aderência pneu-pavimento, fazendo com que ocorra a aderência em velocidades de circulação médias e baixas. Vale ressaltar que a microtextura não é visível a olho nu, sendo perceptível apenas pelo tato, observando se a superfície é lisa ou áspera. De maneira formal, a microtextura pode ser definida como:

“o conjunto de desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície verdadeiramente plana, com dimensões características de comprimento de onda e amplitude menores que 0,5mm” (ASTM E 867)

Por outro lado, a macrotextura, de acordo com Rodrigues filho (2006) pode ser caracterizada através de quatro fatores: tamanho do agregado, pela granulometria, pela forma geométrica individual de cada agregado e pelo vazio formado pela mistura. De maneira formal, a macrotextura é definida como:

“o conjunto de desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície verdadeiramente plana, com dimensões características de comprimento de onda e amplitude que variam de 0,5 mm até uma dimensão que não mais afete a interação pneu-pavimento” (ASTM E 867)

A Figura 5 apresenta a classificação da textura determinada na ASTM E-867 (1997) e as escalas de cada textura.

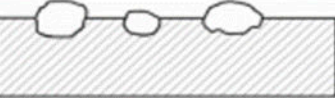
Figura 5: Classificação da textura na superfície do pavimento

Domínio	Intervalo de dimensões	
	Horizontal ↔	Vertical ↕
Microtextura	0 - 0,5 mm	0 - 0,2 mm
Macrotextura	0,5 mm - 50 mm	0,2 mm - 10 mm

Fonte: ASTM E 867, 1997

A textura do pavimento, que é representada pela microtextura com a macrotextura tem um papel central na existência de boas condições de atrito, levando o tráfego em vias urbanas ser seguro devido ao bom índice da textura, ou perigoso, podendo gerar acidentes devido as derrapagens em momentos onde ocorrem frenagem ou manobras emergenciais, se a textura estiver com um índice insuficiente. O tipo de superfície pode ser determinado através das condições conjuntas da Micro e Macrotextura como mostrado na Figura 6.

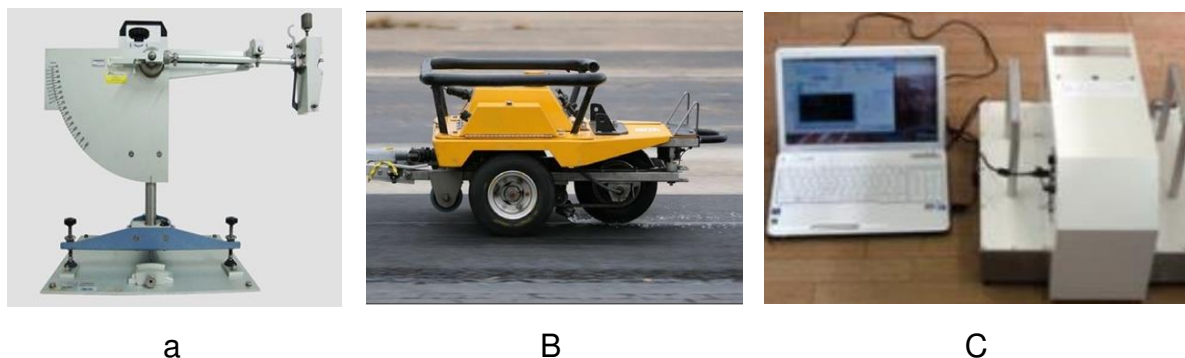
Figura 6: Tipos de superfície

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido ou Lisa	Aberta		Polido e Aberta
	Fechada		Polido e Fechada

Fonte: Aps, 2006

Dentre os equipamentos para medir a microtextura, os principais são: Pêndulo Britânico, Grip-Tester e DF Teste, mostrados na Figura 7.

Figura 7: Equipamentos utilizados para medira Microtextura – (a) Pêndulo Britânico, (b) Grip-Tester e (c) DF Teste.



Fonte: (a) Contenco, (b) Findlay e (c) Ramos, 2012

Para a avaliação da macrotextura de pavimentos asfálticos, alguns métodos podem ser utilizados, entre eles os mais comuns são os ensaios de Mancha de Areia e de Drenabilidade, por conta da facilidade da execução.

3.4 Mancha de Areia e Drenabilidade

O ensaio de Drenabilidade tem como objetivo avaliar a capacidade que a macrotextura tem de drenar a água através dos canais da superfície de um pavimento. Nesse ensaio é utilizado um cilindro com um volume de água já conhecido e na parte inferior do cilindro é acoplado uma placa que fica em contato com o pavimento (Figura 8). O cilindro é preenchido com um volume de água já conhecido, a tampa que fica na parte inferior do cilindro é retirada e com auxílio de um cronômetro é medido o tempo que a água demora para escoar, encontrando a vazão.

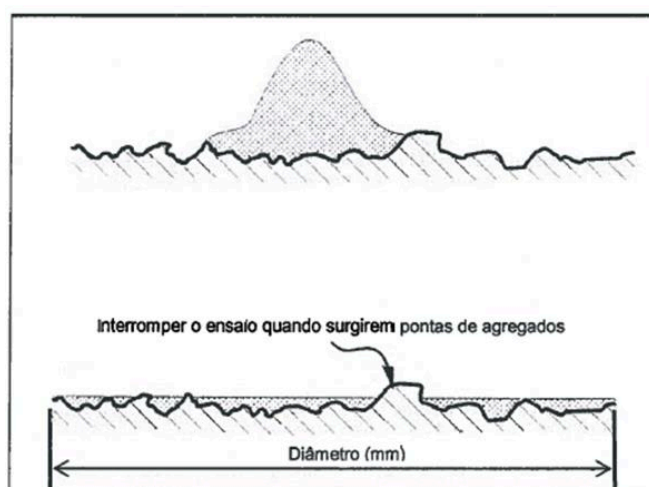
Figura 8: Ensaio de Drenabilidade



Fonte: Specht, 2004

Já o ensaio de Mancha de Areia é utilizado para obter a profundidade dos micros canais de pavimentos para encontrar a macrotextura. Nesse ensaio, os vazios presentes na textura superficial do pavimento são preenchidos com um volume de areia já conhecido. A superfície do pavimento deve ser limpa com a ajuda de uma escova, e em seguida a areia é espalhada sobre a superfície seca por meio de um disco de espalhamento com diâmetro entre 60 e 75mm. O ensaio deve ser interrompido assim que surgirem algumas pontas dos agregados (Figura 9).

Figura 9: Esquema da realização do ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Austroads (2008)

Após a interrupção do ensaio, o diâmetro da mancha é encontrado e o diâmetro médio do círculo formado pela área coberta por areia é calculado, e a altura média da Mancha de Areia é obtida a partir da Equação 2.

$$Hs = \frac{4v}{Dm^2 \times \pi} \quad (2)$$

Em que: Hs= altura média da macha de areia, em mm;

V= volume constante de areia (25.000 mm³);

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

O ensaio de Mancha de Areia apesar de ser um método em que o custo para a realização do ensaio ser baixo por empregar equipamento simples, se trata de um ensaio lento. Com os valores da altura média de Mancha de Areia e de Drenabilidade é possível identificar a macrotextura do pavimento asfáltico. No geral, quanto maior é o valor da Mancha de Areia e da Drenabilidade, mais grosseira é a macrotextura, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites da aplicação do revestimento segundo a Mancha de Areia e Drenabilidade (adaptado de PASQUET, 1968)

HS (mm)	Macrotextura	Drenabilidade (l/s)	Aplicação
HS < 0,20	Muito fina ou muito fechada	Q < 0,004	Não deve ser utilizado
0,20 < HS < 0,40	Fina ou fechada	0,004 < Q < 0,066	Reservado para zonas urbanas V < 80 km/h
0,40 < HS < 0,80	Média	0,066 < Q < 0,190	Indicado para vias com 80 km/h < V < 120 km/h
0,80 < HS < 1,20	Grosseira ou aberta	0,190 < Q < 0,314	Indicado para vias rápidas V > 120 km/h
1,20 < HS	Muito grosseira ou muito aberta	0,314 < Q	Indicado em casos especiais

O Código Brasileiro de Trânsito - CBT (1997) indica que para zonas urbanas, a velocidade do tráfego deve ser menor que 80 km/h. Logo, a macrotextura da via deve ser fina ou fechada, sendo que os valores para a profundidade média da macrotextura devem se encontrar entre o intervalo de 0,2 e 0,4mm.

3.5 Correlação Mancha de Areia *versus* Drenabilidade

Ferreira, Guerra e Moura (2020), correlacionou a Macrotextura com a Drenabilidade através de um estudo determinado para vias urbanas considerando pavimentos revestidos por concreto asfáltico e tratamento superficial, encontrando um coeficiente de explicação (R^2) próximo a 1. A equação dessa correlação encontrada está demonstrada pela equação 3.

$$Q = 0,3097 \cdot HS - 0,058 \quad (3)$$

Onde:

Q = Vazão, em l/s.

HS = Altura da Mancha de Areia, em mm.

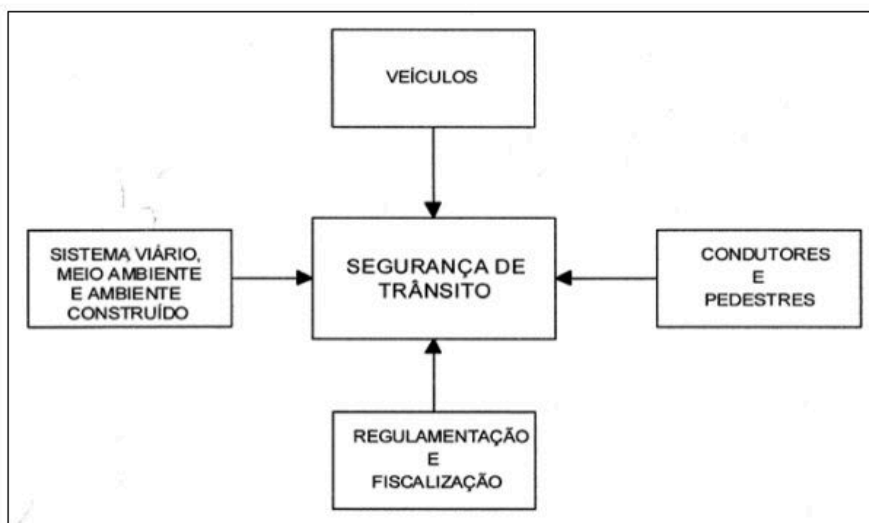
Vale ressaltar que esses dois parâmetros podem ser correlacionados tendo em vista que os dois tem o mesmo objetivo: quantificar a macrotextura do pavimento. Essa relação é verdadeira, pois quanto menor o diâmetro médio por entre os agregados, menor vai ser a macrotextura e menor será a Drenabilidade (em litros/segundos).

3.6 Fatores que Influenciam na Segurança Viária

Quando se fala em segurança viária, Gold (1998) propõe que é preciso primeiramente isolar os principais elementos que constituem o sistema de trânsito, como os veículos, pessoas, o ambiente, e as vias.

Todos esses elementos vão se interligar a partir do momento em que o homem entre em um desses componentes, como mostrado na Figura 10. Vale destacar que o homem pode desempenhar vários papéis nesse sistema: pedestre, motorista, ciclista, motociclista, ou até mesmo sendo um agente de trânsito. Como motorista, suas ações serão respostas aos estímulos fornecidos pelo meio ambiente, cenários da circulação. (GOLD, 1998).

Figura 10: Fatores que afetam a segurança viária



Fonte: Gold, 1998

- Fator Veicular:

Fatores que se relacionam diretamente com o automóvel desde o projeto de segurança e fabricação até as questões de manutenção e conservação do veículo.

- Fator Humano:

O fator humano refere-se a inúmeras atribuições que afetam o comportamento humano no que consiste o ambiente de tráfego, indo desde aspectos mais amplos como a condição social, idade, e psicológico até aspectos mais singulares como inexperiência no trânsito, personalidade ou deficiências. Pode-se classifica-lo em três áreas distintas: comportamental, cognitiva e fisiológica.

- Fator Institucional:

Nesse fator estão incluídos, principalmente a regulamentação e a fiscalização. Pode-se citar a este fator os exemplos de inadequação do treinamento dos condutores brasileiros, as lacunas de informação, que ainda seguindo as diretrizes do Código de Trânsito Brasileiro podem estar deixando a desejar e as questões de falta de fiscalização ou presença policial nos lugares e a impunidade das situações pós-acidentes. Vale lembrar que a falta ou escassez do fator institucional não retira os deveres e direitos dos usuários.

- Fator Ambiental:

Os fenômenos da natureza que podem ser atribuídos como principais elementos são: chuva e neve, que reduzem a aderência entre o veículo e a pista,

ventos, dependendo de sua intensidade, e neblina e o período de variação entre dia e noite, uma vez que o guia do automóvel fica suscetível à redução da luminosidade e visibilidade.

- Fator Viário:

O ambiente viário quando não é projetado de forma adequada pode criar situações propícias a acidentes. Quando se fala em ambiente viário, são todos os elementos que compõem o sistema de vias urbanas: projeto geométrico, sinalização, condições da pavimentação, funcionalidade dos dispositivos de drenagem e as características urbanas da via.

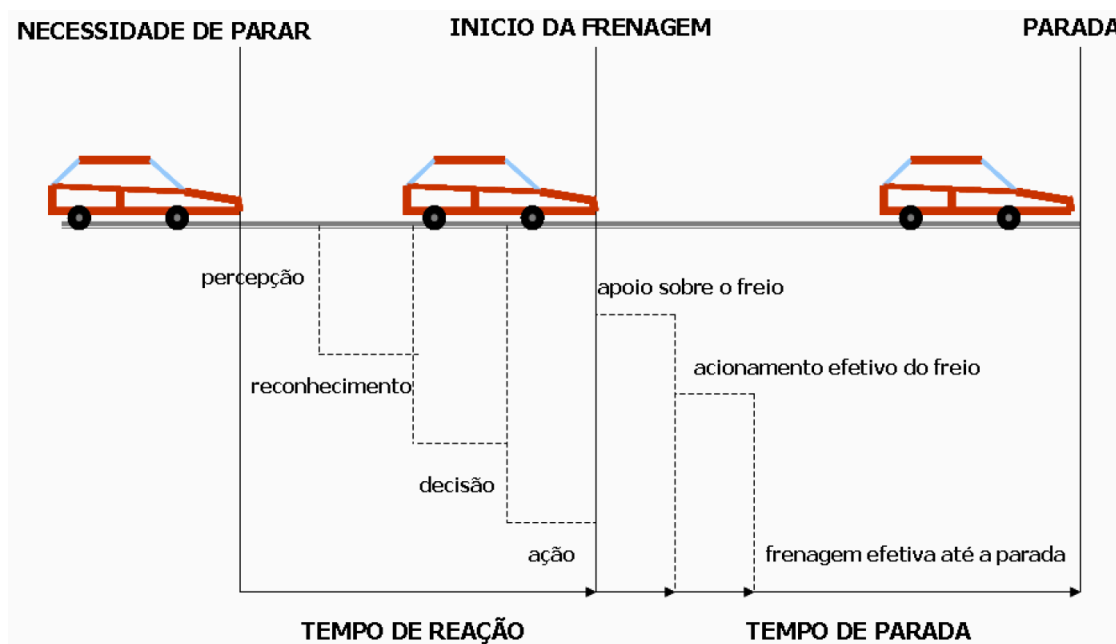
Vale destacar, que um acidente não possui apenas um fator para a sua ocorrência, mas todos os fatores estão interligados na ocorrência dos acidentes. Para Tamayo (2010) é notável a tendência de se considerar apenas aspectos que estão ligados ao fator humano sendo responsáveis na ocorrência de acidentes no trânsito, não levando em consideração outros elementos que se relacionam com a via e com o veículo, podendo, assim, a potencializar as falhas humanas.

3.7 Distância de Visibilidade de Parada

Outro fator que influencia diretamente na ocorrência de acidentes é a Distância de visibilidade de parada, que tem como objetivo oferecer ao usuário condições de visibilidade para que ao surgir um obstáculo (Lombadas, faixas de pedestres ou até mesmo outro veículo), o condutor possa parar o veículo em segurança.

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999), a distância de visibilidade de parada, é o distanciamento mínimo para que um veículo possa entrar em estado de inércia antes que atinja qualquer objeto de forma inesperada, estando ele na velocidade de projeto ou próxima a ela. Esse distanciamento pode ser composto por dois fatores: a primeira a distância percorrida durante o tempo de reação do motorista (D1), e a segunda está relacionada ao tempo que o veículo para após o início da frenagem (D2). O tempo de reação do motorista, é o intervalo fundamental para que o mesmo tenha a percepção do obstáculo à sua frente, com o reconhecimento desse obstáculo tem o momento da tomada de decisão, onde há o acionamento do sistema de freios. A Figura 11 demonstra como acontece esse fenômeno.

Figura 11: Tempo de reação do motorista



Fonte: Aps, 2006

O atrito tem fundamental importância no tempo de parada do veículo, uma vez que dependendo da condição superficial do pavimento, o tempo de parada será diferente. A Equação 4 demonstra os coeficientes necessários para essa avaliação.

$$d = \frac{0,7 V + V^2}{[255 (f+i)]} \quad (4)$$

Sendo que:

d= Distância de visibilidade, em m.

V= Velocidade diretriz, em km/h.

f= Coeficiente de atrito do pavimento.

i= Greide, em m/m.

O Manual de Projeto Geométrico da Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes – AASHTO (1994;2000), demonstra alguns valores para atrito, entretanto são valores que não representam o que realmente ocorre, uma vez que deixa de considerar algumas variáveis que interferem diretamente no atrito. Nesse manual, são considerados apenas quatro situações: Camada de rolamento do pavimento do tipo asfáltico ou de cimento Portland, sendo em estado seco ou molhado.

Por outro lado, Guzmán (1995) já considerava os valores de atrito com relação a textura (macrotextura e microtextura), sendo áspera e aberta, áspera e fechada, polida e aberta e polida e fechada.

A Tabela 3 apresenta os valores de atrito em pavimentos asfálticos molhados de acordo com AASHTO e o atrito de acordo com a textura, macrotextura e microtextura mostrado por Guzmán, podendo ser observado que a medida com que a velocidade do veículo aumenta, o atrito formado entre o pneu e o pavimento diminui.

Tabela 3 - Valores de atrito de acordo com AASHTO e Guzmán

Velocidade (km/h)	AASHTO	Guzmán (1995)			
		áspera e aberta	áspera e fechada	polida e aberta	polida e fechada
50	0,36	0,7	0,6	0,3	0,25
60	0,34	0,62	0,56	0,25	0,2
70	0,32	0,6	0,49	0,22	0,18
80	0,31	0,58	0,4	0,2	0,17
90	0,31	0,57	0,35	0,2	0,16
100	0,3	0,55	0,3	0,19	0,16
110	0,3	0,55	0,24	0,18	0,15
120	0,29	0,55	0,22	0,17	0,15

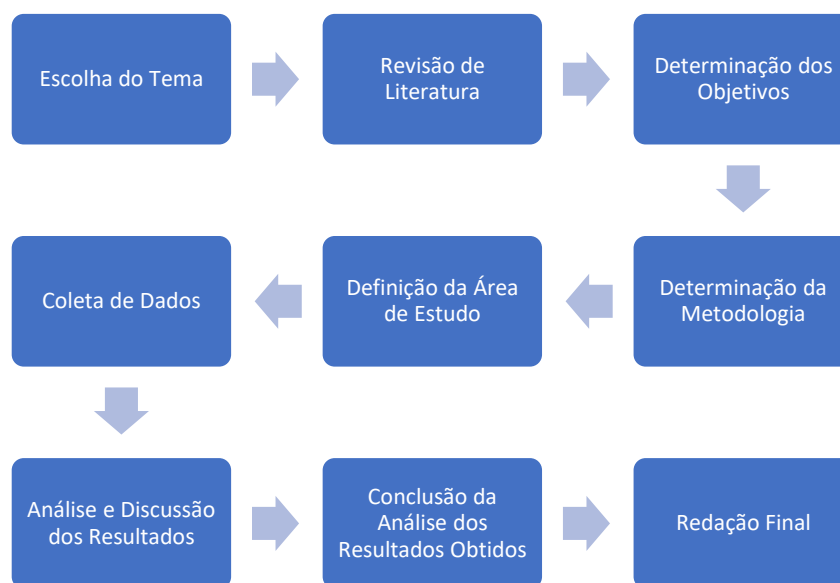
Fonte: AASHTO (1994;2000) e Guzmán (1995)

4. METODOLOGIA

4.1 Etapas do Estudo

Para a realização da pesquisa foram determinadas algumas etapas que estão demonstradas no fluxograma da Figura 12:

Figura 12: Fluxograma das Etapas do Estudo

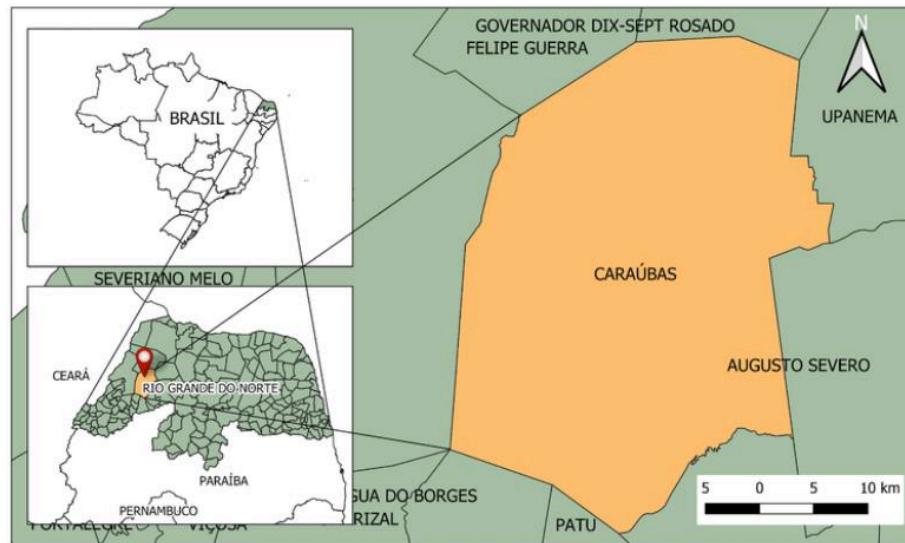


Fonte: Autoria Própria, 2022

4.2 Definição da Área de Estudo

O estudo foi realizado na zona urbana da cidade de Caraúbas (Figura13), localizada no Estado do Rio Grande do Norte (RN). Em termos de população, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021), Caraúbas é a 28ª maior cidade do estado com 20.588 habitantes. Vale ressaltar que, em Caraúbas encontra-se um dos quatro (4) Campi da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

Figura 13: Localização da Cidade de Caraúbas



Fonte: Lopes *et al*, (2020)

A Figura 14 apresenta os dezoito (18) pontos onde a coleta de dados foi realizada. Optou-se por avaliar diferentes pontos na mesma via a fim de minimizar a influência de diversos fatores, tais como a geometria da pista e o volume de tráfego que poderiam interferir nos resultados. Além disso, o trecho de via avaliado apresenta o mesmo tipo de revestimento asfáltico. Foram escolhidas zonas onde a ocorrência de conflitos de trânsito pode ser mais frequente, tais como nos cruzamentos, bem como regiões que podem ser afetadas por aceleração e frenagem, como por exemplo próximo as faixas de pedestre e das lombadas.

Figura 14: Pontos de análise



Fonte: modificado de Google Earth, 2022

Para avaliar a macrotextura, foram realizados os ensaios de Mancha de Areia e Drenabilidade nos 18 pontos determinados na Figura 14, sendo que tanto a trilha de roda interna (eixo da via) quanto a trilha de roda externa (próximo da calçada) foram analisadas, totalizando 36 ensaios.

4.3 Ensaio de Mancha de Areia e de Drenabilidade

Para a realização do ensaio de Mancha de Areia, foi necessário fazer uma adaptação, visto a não disponibilidade do equipamento regido pela norma, entretanto todo a adaptação seguiu as recomendações da norma ASTM E 956-95 (2001). Inicialmente, foi adquirido uma amostra de areia de aproximadamente 15kg. Após isso, foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas da UFERSA/Caraúbas os procedimentos de lavagem e secagem como indica a norma. Em seguida, o material foi peneirado, separando os grãos passantes na peneira N°50 (abertura 0,297mm) e retidos na peneira N°100 (abertura 0,149mm). A Figura 15 apresenta os equipamentos utilizados na execução do ensaio em campo de Mancha de Areia em campo.

Figura 15: Ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Arquivo Pessoal, 2022

Tendo em vista a indisponibilidade do equipamento para a realização do ensaio de Drenabilidade, foi construído um próprio Drenômetro (Figura 16) seguindo as condições da norma ASTM E-2380-05 (2009). Na confecção, foi utilizado um tubo de

PVC de 2", uma tampa plástica juntamente com uma haste metálica que ficou presa em uma das extremidades do cano, tendo como função liberar o escoamento da água. Ademais, uma borracha de vedação foi utilizada na base do Drenômetro, com a finalidade de evitar o vazamento capaz de comprometer os resultados dos ensaios.

Figura 16: Ensaio de Drenabilidade



Fonte: Arquivo Pessoal, 2022

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mancha de Areia e Drenabilidade

5.1.1 Sentido A (Supermercado Rede 10 – Banco do Brasil)

A Tabela 4 apresenta os resultados que foram obtidos através dos ensaios de Mancha de Areia e de Drenabilidade na trilha de roda interna e externa do Sentido A (supermercado Rede 10 – Banco do Brasil, Figura 14).

Tabela 4 - Valores da Mancha de Areia (H_s) e de Drenabilidade (Q) na trilha de roda interna e trilha de roda externa no sentido A

Ponto	Referência	Trilha Interna			Trilha Externa		
		H_s (mm)	Classif.	Q (L/s)	H_s (mm)	Classif.	Q (L/s)
1	Cruzamento 1	2,21	MG	0,170	3,18	MG	0,236
2	Lombada 1	1,42	MG	0,118	2,63	MG	0,234
3	Lombada 2	1,79	MG	0,273	3,18	MG	0,202
4	Cruzamento 1	2,34	MG	0,183	2,98	MG	0,240
5	Local sem cruzamento e lombada	1,06	G	0,106	1,48	MG	0,176
6	Lombada 3	1,71	MG	0,154	2,98	MG	0,227
7	Cruzamento 3 e faixa de pedestre	3,66	MG	0,295	4,59	MG	0,393
8	Após faixa de pedestre	2,98	MG	0,201	3,18	MG	0,268
9	Lombada 4	2,34	MG	0,188	3,41	MG	0,257

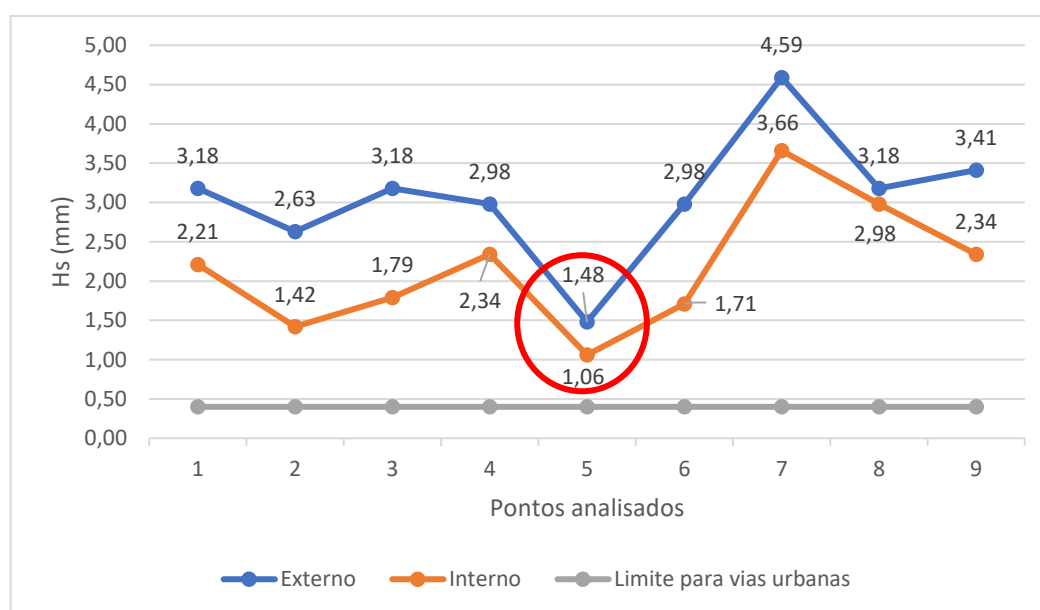
Analisando os resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se que a maioria dos pontos (88%) na trilha de roda interna apresentaram H_s maior que 1,20mm, sendo então classificados com macrotextura Muito Grossa (MG). Somente o ponto 5 apresentou Macrotextura Grosseira (G). Vale ressaltar que, o ponto 5 está localizado na única zona (Figura 14) avaliada onde não ocorre frenagem e aceleração, portanto, verificou-se uma condição de macrotextura ligeiramente melhor, entretanto ainda fora dos padrões aceitáveis para vias urbanas.

Com relação a Drenabilidade, os valores da trilha de roda interna variaram de 0,106 a 0,295 l/s, sendo observado que nos locais onde há uma maior macrotextura, a água tende a escoar com mais rapidez. Enquanto para os valores na trilha de roda externa, os valores variaram de 0,176 a 0,396 l/s. Sendo que o ponto 5 foi o único na via onde o valor de Drenabilidade ficou abaixo de 0,2 l/s, mostrando que ele se diferencia dos demais.

Através dos ensaios de Mancha de Areia, analisando a trilha externa e interna como apresentado na Figura 17, foi observado que apesar da Macrotextura Grosseira ser predominante em quase todo o trecho, 77% dos valores de H_s para a trilha de

roda externa foram superiores a aqueles observados para a trilha de roda interna. Uma hipótese para esse resultado pode ser que os motoristas e ciclistas costumam trafegar pelo lado externo da via, podendo ter modificado ligeiramente a condição da superfície em relação a trilha interna (eixo da pista). Vale ressaltar que, nesse trecho houve uma variação média nos valores de H_s de 0,90mm quando se compara a trilha interna e externa.

Figura 17: Representação dos valores de macrotextura na trilha de roda eixo interno e externo no sentido A



Fonte: Autoria Própria, 2022

Como observado na Figura 17, o ponto 5 apesar de estar fora dos limites adequados, apresenta os melhores resultados para o valor de H_s tanto na trilha de roda interna quanto na trilha de roda de trilha externa, mostrando que no único ponto que não se situa em um local considerado crítico os valores são mais próximos aos adequados.

Na Tabela 1 desenvolvida por Pasquet (1968), verifica-se que para vias urbanas os limites de macrotextura devem estar entre 0,20 e 0,40mm para oferecer segurança aos usuários. No entanto, o valor de macrotextura nesse trecho da via não obedece ao valor estabelecido, sendo necessário impor medidas para recuperar a macrotextura da via, e restabelecer condições de segurança viária.

Outros fatores que podem ter influenciado os valores de macrotextura na trilha de roda externa são as intempéries e o acúmulo de água em dias chuvosos, o que foi observado no ponto 7 (Figura 18a), sendo este o local onde houve o maior valor de H_s . Por outro lado, o ponto 5 (Figura 18b), local situado em zona considerada não crítica, observou-se o menor valor de H_s .

Figura 18: a) Ponto 7, local que apresentou maior valor de macrotextura com grande acúmulo de água em dias chuvosos. b) Ponto 5, local que apresentou menor valor de macrotextura



(a)



(b)

Fonte: Arquivo pessoal, 2022

5.1.2 Sentido B (Banco do Brasil – Supermercado Rede 10)

Na Tabela 5 estão os valores que foram obtidos através dos ensaios de Mancha de Areia e de Drenabilidade na trilha de roda interna e externa no sentido B da via (Figura 14, sentido Banco do Brasil – Supermercado Rede 10)

Tabela 5 - Valores da Mancha de Areia (Hs) e de Drenabilidade (Q) na trilha de roda interna e trilha de roda externa no sentido B

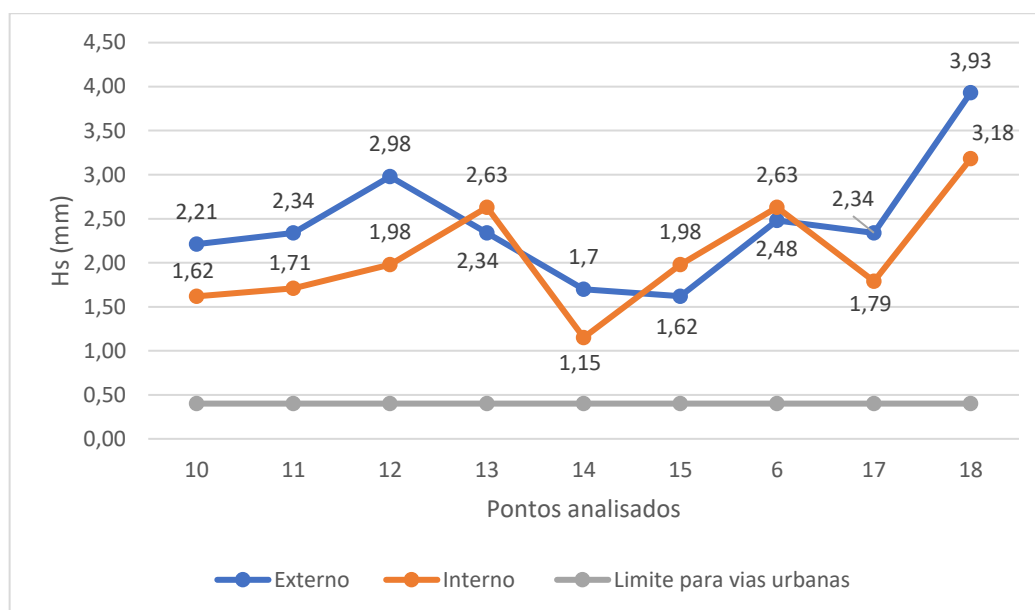
Ponto	Referência	Trilha Interna			Trilha Externa		
		Hs (mm)	Classif.	Q (L/s)	Hs (mm)	Classif.	Q (L/s)
10	Lombada 1	1,62	MG	0,131	2,21	MG	0,132
11	Cruzamento 2 (Faixa de pedestre)	1,71	MG	0,212	2,34	MG	0,217
12	Lombada 2	1,98	MG	0,269	2,98	MG	0,201
13	Cruzamento 1	2,63	MG	0,151	2,34	MG	0,186
14	Local sem cruzamento e lombada	1,15	G	0,110	1,70	MG	0,234
15	Cruzamento 3	1,98	MG	0,237	1,62	MG	0,235
16	Lombada 3	2,63	MG	0,232	2,48	MG	0,237
17	Lombada 4	1,79	MG	0,196	2,34	MG	0,275
18	Cruzamento 4	3,18	MG	0,190	3,93	MG	0,254

Foi observado que na trilha de roda interna os valores de Mancha de Areia variaram de 1,15 a 3,18 mm, apresentando macrotextura muito grossa em 8 dos 9 pontos de análise no sentido B, mostrando que nos pontos considerados mais propícios a ocorrência de conflitos a macrotextura se mostrou muito mais aberta. Já na trilha de roda externa, a altura da Mancha de Areia variou entre 1,62mm e 3,93mm, sendo que 100% desses pontos apresentaram macrotextura muito grossa.

Os valores de Drenabilidade no sentido B na trilha de roda interna ficaram no intervalo de 0,110 a 0,269 l/s, mostrando que em locais onde a macrotextura se apresentou mais aberta a Drenabilidade ocorreu de maneira mais rápida. Para a trilha de roda externa, a variação da Drenabilidade foi de 0,132 a 0,275 l/s.

Apesar de não haver uma variação na classificação da macrotextura entre os trechos interno e externo, foi observado que, 66% dos valores de *Hs* para a trilha de roda externa foram superiores a aqueles observados para a trilha de roda interna, como observado na Figura 19. A variação de *Hs* entre a trilha de roda interna e externa foi de 0,54mm. Portanto, essa variação foi menor daquela observada para o Sentido A (Figura 17).

Figura 19: Representação dos valores de macrotextura na trilha de roda eixo interno e externo no sentido B



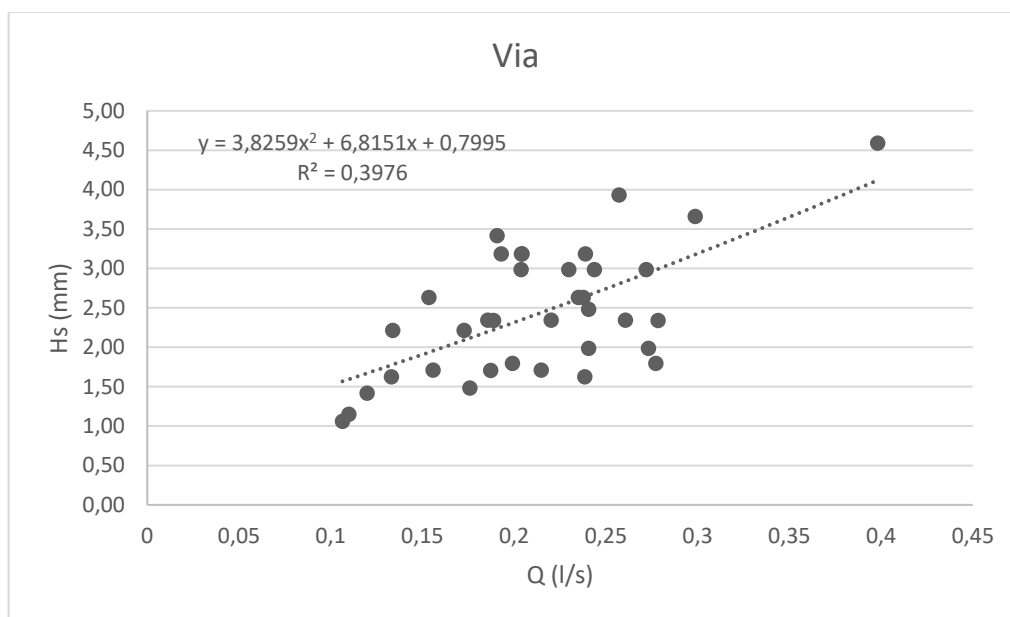
Fonte: Autoria Própria, 2022

Como observado no Sentido A, o Sentido B do trecho também não se enquadra nos valores mostrados na Tabela 1 considerando os limites de macrotextura para vias urbanas. Como a macrotextura nesse trecho da via apresentou valores superiores aos estabelecidos, é possível afirmar que nesse sentido da via também se faz necessário impor medidas para recuperar a macrotextura da via e estabelecer a segurança viária.

5.2 Mancha de Areia *versus* Drenabilidade

A partir dos dados que foram coletados em campo referentes ao ensaio de Drenabilidade e Mancha de Areia, foi possível verificar se existe uma correlação entre os dois métodos. A Figura 20 apresenta a correlação encontrada entre os dois ensaios considerando todos os resultados tanto para trilha interna quanto externa. No eixo das ordenadas estão os valores das alturas (Hs) de macrotextura obtida através do ensaio de Mancha de Areia, e no eixo das abscissas estão os valores de Drenabilidade (Q).

Figura 20: Correlação Mancha de Areia e Drenabilidade



Fonte: Autoria própria, 2022

Por meio de uma linha de tendência polinomial, foi obtido o valor de $R^2 = 0,4$ indicando que a correlação foi pouco significativa. Analisando de forma isolada as trilhas de roda externa e interna, foram encontrados os valores de $R^2 = 0,4$ e $R^2 = 0,3$, respectivamente. Apesar da trilha de roda externa ter apresentado uma correlação maior se comparado com a trilha de roda interna, as duas correlações ainda são pouco significativas.

De maneira geral, observou-se que através dos resultados obtidos não houve uma boa correlação entre os dois ensaios para esse experimento. Um dos fatores que pode ter influenciado é que, no ensaio de Drenabilidade, quando a superfície asfáltica não é totalmente plana, a água acaba vazando pelas laterais influenciando a precisão do ensaio nessas condições.

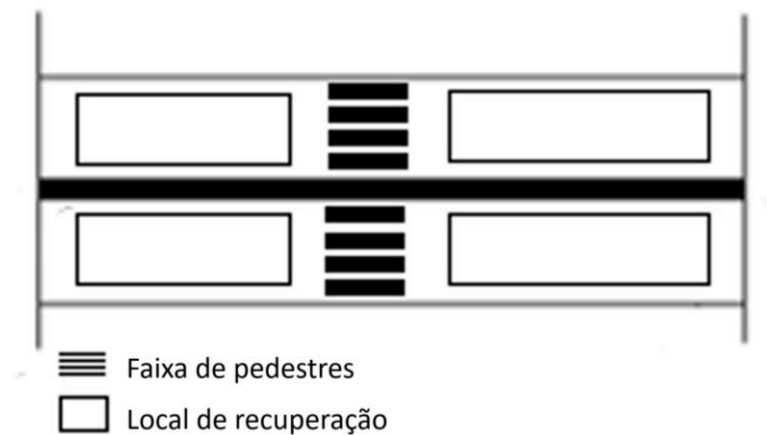
5.3 Alternativas de Recuperação

Tendo em vista todas condições avaliadas de macrotextura na via, algumas medidas são necessárias de serem tomadas para reestabelecer a macrotextura adequada e os níveis de segurança da via.

Dentre as medidas de recuperação para a via estudada, sugere-se fazer o seu recapeamento com mistura asfáltica com granulometria densa ou fina para que assim a via se enquadre na macrotextura fina ou fechada, tendo em vista que essa é a

macrotextura adequada para vias urbanas onde o tráfego é menor que 80 km/h. Uma outra alternativa é fazer a recuperação do asfalto em pontos críticos de acordo com a distância de visibilidade de parada, um exemplo é calcular qual é essa distância de visibilidade antes e depois de lombadas e faixas de pedestres por serem pontos de constante frenagem e aceleração, e fazer a recuperação nesses pontos como ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Ilustração do local onde pode ser feita a recuperação



Fonte: Autoria própria, 2022

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a importância da superfície dos pavimentos para a segurança viária, é fundamental avaliar as condições de macrotextura de vias urbanas. Nesse contexto, no estudo foram realizados os ensaios de Mancha de Areia e de Drenabilidade em uma via da Cidade de Caraúbas/RN avaliando diversos pontos considerados críticos para ocorrência de conflitos, isto é, próximo a cruzamentos, lombadas e faixas de pedestres, onde ações de frenagem e aceleração podem afetar a condição do pavimento pontualmente.

No trecho avaliado, 100% dos pontos estudados estão fora dos limites de macrotextura estabelecidos para vias urbanas, principalmente nos pontos considerados críticos onde verificou-se que a macrotextura é Muito Grosseira. De acordo com Pasquet (1968), para vias urbanas a macrotextura deve ser fina ou fechada. Com relação a comparação entre os ensaios de Mancha de Areia e Drenabilidade, não foi observado uma boa correlação ($R^2 = 0.4$) entre os ensaios. Ademais, verificou-se diferença de macrotextura entre as trilhas de roda externa e interna. A trilha externa, onde ciclistas e motociclistas costumam trafegar, apresenta macrotextura mais aberta possivelmente por conta dessa condição específica de tráfego, e também por conta do acúmulo de água, sujeira e outros nessa zona da pista.

Portanto, com base nesses resultados, a restauração da camada superficial pode ser uma alternativa para reestabelecer melhores condições de macrotextura e consequentemente uma melhor aderência pneu-pavimento na via. Além disso, pode ser feita a recuperação em locais pontuais da via considerando os pontos críticos, antes e depois de faixas de pedestres e lombadas de acordo com a distância de visibilidade de parada.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se fazer uma avaliação com vias distintas a fim obter um banco de dados maior, com condições de tráfego distintas. Ademais, sugere-se fazer uma análise estatística para verificar se de fato existe uma diferença entre a trilha de roda interna e externa, avaliando também os pontos que ocorrem acidentes versus pontos onde não há a incidência de acidentes.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – (AASHTO). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C., EUA, 1994.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – (AASHTO). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C., EUA, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E867-97 (1997): Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems. West Conshohocken: ASTM, Standards, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E867-97 (1997): Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter. West Conshohocken: ASTM, Standards, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E867-97 (1997): Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter. West Conshohocken: ASTM, Standards, 2009.

APS, Marcia. Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BERNUCCI, L. B. *et al.* Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. Petrobrás. Abeda. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro – CTB. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Brasília, 1997.

COSTA, S. L. Influência da aderência Pneu-Pavimento nos conflitos veiculares microsimulados. (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro, 1999.

FERREIRA, J.C. Estudo e avaliação da influência da macrotextura e microtextura na aderência pneu-pavimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FERREIRA, R. T. L.; GUERRA, K. B. F.; MOURA, C. A. M. Avaliação da drenabilidade de pavimentos asfálticos em Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 150-163, janeiro-junho 2020.

GOLD, P. A. Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes, BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. EUA, 1998.

GUZMÁN, B. R. Tratamientos y Mezclas Resistentes al Deslizamiento. El Asfalto: Boletín de la Comisión Permanente del Asfalto, Buenos Aires, n. 71, 1995.

LUGÃO, W. G. Análise da aderência entre pneu e pavimento com camada porosa de atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.

MAIA, R. S.; CASTELO BRANCO, V. T. Consideração do desempenho da segurança viária na concepção de revestimentos asfálticos a partir da microssimulação de tráfego e do processamento digital de imagens. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET. Balneário Camboriú, 2019.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. NCHRP W108: Guide for Pavement Friction. Washington, DC, 2009.

Organização Mundial de Saúde. OMS - Resolução 74/299. 2021.

PASQUET, A. Campagne nationale de glissance 1967 em France. Colloque international sur la glissance et la sécuritté de la circulation sur routes moullées. 1968.

PASQUET, A.; BERTHIER, J. 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.

PEDER, M. A. Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico em um trecho de rodovia localizada no noroeste do estado do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Campo Mourão, PR, 2017.

RODRIGUES FILHO, O. S. Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários – estudo de caso no aeroporto internacional de São Paulo/Congonhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, A. M.; RODRIGUES FILHO, O.S. Grooving: Aspectos Teóricos e Executivos da Aplicação em Pavimentos Aeroportuários. São Paulo: COPASP, 1981.

SOARES, A. F. S. Análise da ocorrência da hidroplanagem num caso real. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2011.

TAMAYO, A. S. Procedimento para avaliação e análise da segurança de tráfego em vias expressas urbanas. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.