



**UNICHRISTUS – CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
ENGENHARIA CIVIL**

**NAYARA DE OLIVEIRA GURJÃO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DA CAMADA POROSA DE ATRITO POR MEIO  
DOS ENSAIOS DA MANCHA DE AREIA E PERMEABILIDADE**

**FORTALEZA**

**2020**

NAYARA DE OLIVEIRA GURJÃO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DA CAMADA POROSA DE ATRITO POR MEIO DOS  
ENSAIOS DA MANCHA DE AREIA E PERMEABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Christus, como requisito  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de  
Almeida.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do Centro  
Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G978a Gurjão, Nayara de Oliveira.  
Análise do Desempenho da Camada Porosa de Atrito por meio  
dos ensaios da Mancha de Areia e Permeabilidade / Nayara de  
Oliveira Gurjão. - 2020.

84 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro  
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,  
Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida.

1. Macrotextura. 2. Camada Porosa de Atrito. 3. Mancha de  
Areia. 4. Drenabilidade. 5. Pavimentos urbanos. I. Título.

CDD 624

NAYARA DE OLIVEIRA GURJÃO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DA CAMADA POROSA DE ATRITO POR MEIO DOS  
ENSAIOS DA MANCHA DE AREIA E PERMEABILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Christus, como requisito  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de  
Almeida.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Dr. Fernando Dácio de Almeida  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Ma. Paula Nobre de Andrade  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

FORTALEZA

2020

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Pai do céu e minha Mãe Rainha, por terem me guiado nessa jornada e proporcionado a realização desse sonho.

Aos meus pais, Neuma e William Gurjão, que tornaram essa vitória possível, com todo apoio e incentivo que serviram de base para o meu percurso acadêmico

À minha irmã, Natália Gurjão, pela amizade, atenção e ajuda quando precisei, e por ser um grande exemplo para mim.

À minha tia, Nadja Matos, por todas as conversas e suporte dado nesse período.

À minha família, que sempre me incentivou e foi compreensiva quando minha ausência era necessária por conta dos estudos.

Ao meu namorado, Roger Lima, pela essencial ajuda na realização dos ensaios, por estar sempre ao meu lado e por todo apoio e incentivo que foi me dado durante essa trajetória.

Aos meus amigos, em especial Thainá Ferreira, Taynah Lima, Fernanda Moreira, João Vitor, Isaac Arato, Thiago Freire, Iran Gonçalves, entre outros que se fizeram presentes em tantos momentos importantes.

Ao Centro Universitário Christus, por proporcionar a estrutura necessária para a realização deste trabalho, bem como os professores e coordenadores, em especial Rafaela Fujita, Francelino Franco, Adriano Oliveira, Mariana Leite, Eric Mateus e Willington Gondim, pelos ensinamentos e oportunidades fornecidas durante a minha formação.

Aos professores Paula Nobre e Fernando Dácio, por toda atenção e correção realizada no meu projeto.

Por fim, um agradecimento especial ao meu orientador, Lucas Cavalcante, por ser um exemplo de profissional e por aceitar conduzir a minha pesquisa, além da paciência e dedicação ao meu projeto.

## RESUMO

As estruturas de pavimentação são construídas a partir de diversos estudos relacionando sociedade, economia, bem-estar, funcionalidade e segurança, objetivando evitar problemas, como acidentes de trânsito devido à falha de execução ou de planejamento, uso de materiais que não pertencem às especificações dependendo do tipo de estrutura e falta de dispositivos de drenagem. A Camada Porosa de Atrito (CPA) foi desenvolvida, para melhorar a serventia do pavimento de forma econômica e funcional, de modo a auxiliar na drenagem superficial e influenciando-o na segurança viária. A principal característica da CPA é a macrotextura, um dos parâmetros responsáveis pela drenabilidade e consequente aumento da aderência entre pneu e pavimento. Foram realizados o ensaio de Mancha de Areia e o ensaio de Permeabilidade em pavimentos flexíveis em serviço localizadas na cidade de Fortaleza - CE, que apresentam a CPA com diferentes idades. Dessa forma, este trabalho tem o objetivo de comparar os resultados entre os dois ensaios nas avenidas e caracterizar a textura do revestimento em relação à macrotextura e à drenagem superficial. Com os resultados foi possível perceber a eficiência do revestimento quanto à textura para uma CPA. As médias da profundidade da mancha de areia das avenidas estudadas, classificam a textura dos revestimentos entre muito aberta e aberta e, aquela com revestimento mais antigo e textura mais desgastada e obstruída por impurezas, apresenta um maior tempo de escoamento superficial. Além disso, apesar da inviabilidade de correlacionar os valores médios de profundidade de areia obtidos pela mancha de areia com aqueles obtidos através do drenômetro, devido à inadequação dos ensaios para uma superfície porosa, o ensaio de Permeabilidade realizado em uma via recém executada pode vir a fornecer um valor de capacidade drenante para um revestimento poroso.

**Palavras-chave:** Macrotextura. Camada Porosa de Atrito. Mancha de Areia. Drenabilidade. Pavimentos urbanos.

## ABSTRACT

The paving structures are built from various studies relating society, economy, well-being, functionality and safety, aiming to avoid problems, such as traffic accidents, due to failure of execution or planning, the use of materials that do not belong to specifications, depending on the type of structure and lack of drainage devices. The Porous Friction Course (PFC) was developed to improve the usefulness of the pavement in an economical and functional way, to assist in surface drainage and influencing it in road safety. The main characteristic of PFC is the macrotexture, one of the parameters responsible for drainability and the consequent increase in grip between tire and pavement. The Sand Patch Technique and the Permeability test were performed on flexible pavements in service located in the city of Fortaleza - CE, which present PFC with different ages. Thus, this work aims to compare the results between the two tests on the avenues and to characterize the texture of the coating in relation to the macrotexture and surface drainage. With the results it was possible to perceive the efficiency of the coating in terms of texture for a PFC. The averages of the sand patch technique of the studied avenues, classify the texture of the coatings between very open and open, and the one with the oldest coating and the texture more worn and obstructed by impurities, presents a longer runoff time. In addition, despite the impossibility of correlating the average values of sand depth obtained by the sand spot with those obtained through the drain gauge, due to the inadequacy of the tests for a porous surface, the Permeability test carried out on a recently executed route may prove to be provide a draining capacity value for a porous coating.

**Keywords:** Macrotexture. Porous Friction Course. Sand Patch Technique. Drainability. Urban pavements.

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ADP	Asfalto Diluído de Petróleo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CCP	Concreto de Cimento Portland
CPA	Camada Porosa de Atrito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP	Emulsão Asfática de Petróleo
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
ICETTRAN	Instituto de Certificação e Estudos de Trânsito e Transporte
LTP	Laboratório de Tecnologia de Pavimentação
NBR	Norma Brasileira
Paatt	Plano de ações imediatas de transporte e trânsito
PIARC	<i>Permanent International Association of Road Congresses</i>
SEINF	Secretaria Municipal de Infraestrutura
TSD	Tratamento Superficial Duplo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de pavimento flexível .....	18
Figura 2 - Representação gráfica convencional de curva granulométrica.....	21
Figura 3 - Tipos de camadas betuminosas.....	21
Figura 4 - Passagem de água através dos vazios em concreto poroso.....	23
Figura 5 - Seção típica de pavimento de concreto permeável .....	23
Figura 6 - Pavimento permeável com revestimento de concreto poroso.....	24
Figura 7 - Diferentes tipos de pavimento com reservatório estrutural .....	25
Figura 8 - Comparação dos esforços no pavimento convencional e pavimento flexível .....	26
Figura 9 - Corpo de prova mostrando a composição do revestimento asfáltico.....	27
Figura 10 - Corpo de prova com graduação fechada e com graduação aberta.....	28
Figura 11 - Representação de spray e espelho d'água na superfície do pavimento .....	28
Figura 12 - Trecho em concreto asfáltico (CA) seguido por trecho de CPA .....	29
Figura 13 - Diferença entre microtextura e macrotextura no pavimento .....	30
Figura 14 - Representação da textura positiva no pavimento.....	31
Figura 15 - Representação da textura negativa no pavimento.....	31
Figura 16 - Modelo do disco espalhador e do ensaio da mancha de areia .....	33
Figura 17 - Água despejada no cilindro para medir o tempo de escoamento.....	35
Figura 18 - Corte longitudinal do drenômetro LTP/EPUSP e da rolha acoplada ao equipamento .....	36
Figura 19 - Correlação gráfica de mancha de areia x drenabilidade (regressão potencial).....	37
Figura 20 - Representação gráfica da evolução do nível de pressão sonora nas pistas seca e molhada. ....	39
Figura 21 - Relação gráfica entre macrotextura e pressão sonora. ....	39
Figura 22 - Fenômeno da aquaplanagem.....	40
Figura 23 - Técnicas de hidrojateamento (antes - A e depois - B). ....	42
Figura 24 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	44
Figura 25 - Trecho experimental da Avenida Dom Luís.....	45
Figura 26 - Trecho experimental da Avenida Santos Dumont .....	46
Figura 27 - Trecho experimental da Avenida Senador Virgílio Távora.....	47
Figura 28 - Anteparo de madeira e procedimento de ensaio .....	49
Figura 29 - Fluxograma do Teste de Hipóteses. ....	51
Figura 30 – Ponto de execução do ensaio – Av. Dom Luís .....	53

Figura 31 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Dom Luís.....	53
Figura 32 – Ponto de execução do ensaio – Av. Santos Dumont.....	55
Figura 33 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Santos Dumont.....	55
Figura 34 – Ponto de execução do ensaio – Av. Senador Virgílio Távora .....	57
Figura 35 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Senador Virgílio Távora...	58
Figura 36 – Fluxograma do Teste de Hipóteses. ....	59
Figura 37 – Relação entre HS e Dren .....	61

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do pavimento permeável com reservatório .....	25
Quadro 2 - Valores obtidos a partir do drenômetro – MTD x HS.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da textura de um pavimento.....	30
Tabela 2 - Aplicação dos revestimentos em função da altura média de areia - HS .....	34
Tabela 3 - Valores típicos de permeabilidade dos solos.....	38
Tabela 4 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Dom Luís .....	54
Tabela 5 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Santos Dumont.....	56
Tabela 6 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Senador Virgílio Távora .....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação de HS entre as avenidas.....	60
Gráfico 2 – HS x Dren – Avenida Dom Luís. ....	62
Gráfico 3 – HS x Dren – Avenida Santos Dumont.....	63
Gráfico 4 – HS x Dren – Av. Senador Virgílio Távora. ....	64
Gráfico 5 – Relação entre MTD e HS .....	65
Gráfico 6 – Capacidade Drenante do Pavimento.....	67

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
1.1.1.	<i>Objetivo Geral.....</i>	16
1.1.2.	<i>Objetivos Específicos .....</i>	16
<b>1.2.</b>	<b>Estrutura do Trabalho.....</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.</b>	<b>Caracterização dos pavimentos flexíveis.....</b>	<b>18</b>
2.1.1.	<i>Ligantes asfálticos.....</i>	19
2.1.2.	<i>Agregados.....</i>	20
2.1.3.	<i>Misturas Asfálticas .....</i>	21
<b>2.2.</b>	<b>Pavimentos Drenantes.....</b>	<b>22</b>
2.2.1.	<i>Concreto Poroso.....</i>	22
2.2.2.	<i>Pavimentos permeáveis com reservatório.....</i>	24
2.2.3.	<i>Camada Porosa de Atrito (CPA).....</i>	26
<b>2.3.</b>	<b>Textura superficial .....</b>	<b>29</b>
2.3.1.	<i>Ensaaios .....</i>	32
2.3.1.1.	<i>Ensaio da Mancha de Areia.....</i>	32
2.3.1.2.	<i>Ensaio de Permeabilidade .....</i>	34
2.3.2.	<i>Ruído .....</i>	38
2.3.3.	<i>Aquaplanagem.....</i>	40
<b>2.4.</b>	<b>Manutenção e limpeza dos pavimentos .....</b>	<b>41</b>
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS DE PESQUISA .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.</b>	<b>Determinação da área de estudo .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.</b>	<b>Realização dos ensaios.....</b>	<b>47</b>
3.2.1.	<i>Ensaio da Mancha de Areia .....</i>	48
3.2.2.	<i>Ensaio de Permeabilidade.....</i>	49
<b>3.3.</b>	<b>Análise e comparação de resultados .....</b>	<b>50</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.</b>	<b>Resultados da altura média da mancha de areia.....</b>	<b>52</b>
4.1.1.	<i>Comparação entre hipóteses para as médias de profundidade da mancha de areia</i>	59
4.1.2.	<i>Comparação entre valores de profundidade da mancha de areia .....</i>	60
<b>4.2.</b>	<b>Análise comparativa entre profundidade da mancha de areia e drenabilidade</b>	<b>61</b>

<b>4.3.</b>	<b>Resultados do ensaio de Permeabilidade.....</b>	<b>64</b>
4.3.1.	<i>Comparação e análise da capacidade drenante .....</i>	<i>66</i>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE A – IMAGENS DO ENSAIO DA MANCHA DE AREIA COM A PROFUNDIDADE MÉDIA DE CADA PONTO .....</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE B – IMAGENS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE .....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As estruturas de pavimentação têm como função principal fornecer aos usuários o conforto e a segurança ao trafegar, além disso, devem apresentar uma estrutura desenvolvida o suficiente para suportar as cargas de tráfego e ações de intempéries. Os materiais e as técnicas utilizadas para a construção dos pavimentos estão diretamente relacionados ao seu desempenho e durabilidade.

Junto ao desempenho da pavimentação, está a necessidade de um bom sistema de drenagem para as vias, haja vista que os pavimentos convencionais são feitos para que a água, ao cair, escoe para um local adequado, evitando problemas de segurança viária, como a aquaplanagem, fenômeno este que ocorre quando um veículo passa por uma camada de substância fluida e o mesmo desliza, já que o contato entre o pneu e o pavimento é diminuído. Porém, o desenvolvimento urbano vem causando problemas relacionados ao fluxo superficial da água devido ao grande aumento de áreas impermeabilizadas nas cidades, pois desta forma, os espaços para infiltração das precipitações são cada vez menores, reduzindo as áreas de permeabilidade e aumentando as taxas de escoamento superficial.

Por este motivo, existem estudos que procuram soluções alternativas para reduzir a água acumulada no pavimento, direcionando-a para locais estratégicos, como por exemplo um reservatório, evitando, desta forma, acúmulo de água nas vias, escoamento excessivo em sarjetas, que prejudica a passagem de pedestres, alagamentos nos pontos baixos da cidade, além de melhorar a segurança e o conforto no rolamento dos veículos.

Diante disso, têm-se a ideia de infiltração imediata ou retardo no escoamento superficial estando associada ao chamado revestimento permeável, ou revestimento poroso, que possui como principal função reduzir os efeitos de ruído, *spray*, espelho noturno e aquaplanagem, aumentando a aderência entre o pneu e o pavimento em períodos chuvosos (PEDER, 2017).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006a), a segurança do pavimento está relacionada à resistência à derrapagem (atrito entre pneu e a superfície do pavimento) e o potencial de aquaplanagem. A execução do revestimento poroso deseja evitar o acúmulo de água no pavimento, tendo como foco o estudo da camada de revestimento, evitando acidentes relacionados a este problema.

Ademais, segurança viária também está associada a elevadas velocidades atingidas pelos condutores nas vias, veículos com pneus lisos, entre outros descuidos, estes estão relacionados à falta manutenção dos veículos e conscientização dos usuários, e não ao

desempenho do pavimento. Portanto, medidas cautelosas devem ser propagadas, mostrando a importância dos cuidados com os automóveis e o conhecimento necessário que deve ser adquirido pelos motoristas.

Como mencionado por Lugão (2010), diversos parâmetros devem ser analisados para se obter a segurança em um revestimento poroso, entre eles, a textura, que é influenciada pela distribuição granulométrica dos agregados na mistura asfáltica. Segundo Bernucci *et al.* (2010), a granulometria influencia na rigidez, durabilidade e permeabilidade no revestimento, além de garantir a capacidade de infiltração da água no revestimento e uma impermeabilização adequada para as camadas granulares, evitando que o líquido entre em contato com as demais camadas do pavimento, caso contrário, desencadearia outros problemas na estrutura. Apesar disso, já se estuda a possibilidade de um pavimento completamente permeável.

Nesse contexto, o pavimento permeável funciona como um dispositivo de infiltração, onde a superfície permite a penetração total ou parcial da água, levando-a para um reservatório situado sobre o perfil do terreno. Após esta reserva, essa água pode ser direcionada para um ponto de saída ou captação, ou absorvida pelo solo, podendo assim alimentar o lençol o freático (VIRGILIIS, 2009).

Portanto, as camadas abaixo do revestimento devem permitir que o líquido permaneça nos vazios das camadas, sendo uma retenção temporária e, para tal, devem ser constituídas de agregados com granulometria aberta e poucos finos, evitando o transporte deles para os dispositivos de captação. Segundo Virgiliis (2009), o dimensionamento deve considerar fatores externos, como o volume de tráfego e tipo de carregamento, para que a estrutura seja sustentável e atenda aos anseios das Engenharias de Transportes e Hidrológica.

Com isto, é necessário um revestimento permeável que componha a estrutura, um exemplo bastante estudado é a Camada Porosa de Atrito (CPA), a qual, segundo Fontenele (2019), consta de um tipo de revestimento asfáltico que apresenta uma maior porcentagem de vazios quando comparado aos convencionais. Desta forma, alcança-se um escoamento superficial mais eficiente sem prejudicar as outras camadas da pavimentação e auxiliar a redução de água acumulada na via nos períodos de precipitação, priorizando, assim, a segurança e o conforto ao trafegar.

Um exemplo significativo é o uso do CPA em pistas de aeroportos, segundo Rodrigues Filho (2006), existem estudos no Brasil que consideram as chuvas intensas e de curta duração ocorrentes na região Nordeste, estas podem ocasionar acidentes, como a saída de pista da aeronave por conta da aquaplanagem. Em rodovias, o mesmo pode ocorrer com automóveis,

além de colisões entre veículos quando a pista não apresenta as condições ideais de drenabilidade, por consequência, de aderência entre pneu e pavimento.

Dessa maneira, o uso do revestimento tipo CPA, que, segundo Silva (2005) assume função drenante, permite a condução da água precipitada até os dispositivos de drenagem, evitando, desta forma, seu acúmulo nas pistas. Por conseguinte, o presente trabalho se baseia no estudo da camada superficial do pavimento composta por CPA, estudando a influência da sua textura sobre a melhoria da aderência entre pneu e pavimento, e no benefício à segurança e conforto dos usuários durante precipitações.

Existem ensaios e equipamentos que possibilitam a análise da textura do pavimento, entre eles, o pêndulo britânico, método da mancha de areia e perfilômetro a *laser*, tais ensaios têm como objetivo analisar a microtextura e macrotextura superficial. Além destes, os ensaios de permeabilidade ou drenabilidade, utilizando drenômetros com temporizador eletrônico ou manual, que comprovam os parâmetros de aderência e capacidade de permeabilidade do pavimento.

## **1.1. Objetivos**

### *1.1.1. Objetivo Geral*

Analisar a textura do revestimento de CPA com uso de ensaio de macrotextura e permeabilidade do pavimento, utilizando o método da mancha de areia e o equipamento drenômetro, avaliando seu desempenho quanto à drenagem superficial.

### *1.1.2. Objetivos Específicos*

- ✓ Classificar a macrotextura e a permeabilidade do pavimento do tipo CPA por meio do ensaio de mancha de areia e ensaio de drenabilidade;
- ✓ Verificar a correlação existente entre os resultados obtidos com os dois ensaios para um revestimento drenante;
- ✓ Analisar a altura média da mancha de areia e a capacidade de infiltração de água entre pavimentos com diferentes idades de execução;
- ✓ Comparar o comportamento da CPA relacionada à drenagem superficial nos pavimentos estudados.

## **1.2. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está subdividido em cinco capítulos conforme a descrição a seguir:

O Capítulo 1 consiste na introdução do estudo, mostrando a contextualização do tema, justificativa e problemática, além dos objetivos e estrutura do trabalho, estando principalmente relacionada a necessidade de um bom sistema de drenagem na pavimentação, levando em consideração as áreas impermeabilizadas e a influência no conforto e segurança dos usuários. Este tópico introduz ainda o tipo de material e ensaio que será utilizado na pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta as definições estudadas ao longo da pesquisa, com uso de artigos, teses, dissertações e documentos de agências regulamentadoras para pavimentação, que definem as condições adequadas da estrutura para que tenha o melhor desempenho e vida útil, e para o ensaio, que classifica a qualidade de execução do revestimento asfáltico, incluindo pesquisas que influenciaram no desenvolvimento deste trabalho, mostrando assim a intervenção deste estudo na utilização das vias urbanas.

O Capítulo 3 se refere aos materiais e métodos da pesquisa, os equipamentos utilizados, os processos para a análise dos dados obtidos e a descrição dos trechos escolhidos para a execução dos ensaios.

O Capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios e a comparação entre os trechos estudados, com uso do ensaio da mancha de areia em pavimentos flexíveis e caracterizados como permeáveis, sendo estes escolhidos com idades e tempo de uso diferente. Ao final, com uso da correlação entre os valores obtidos, a classificação dos revestimentos e apresentação do seu desempenho.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta a conclusão e as propostas para trabalhos futuros, seguido das referências anteriormente citadas e discutidas que foram utilizadas para a execução desta Monografia.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

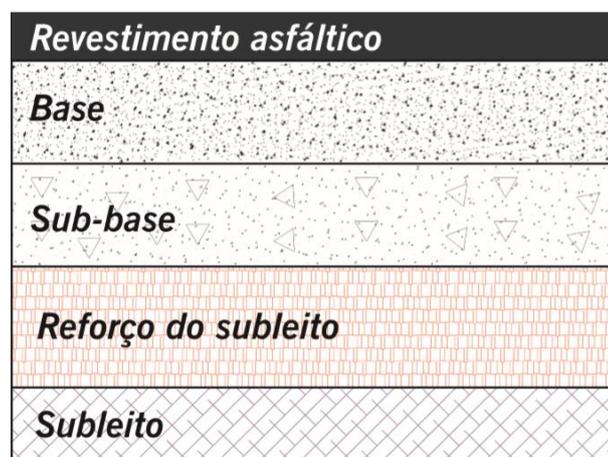
O pavimento é uma estrutura composta por camadas compactadas e tem a função de suportar o tráfego de veículos e ações climáticas, devendo ser durável e o mais econômico possível. Esta estrutura deve receber e distribuir os esforços de tal forma que as pressões nas camadas inferiores sejam aliviadas, pois estas são as menos resistentes. Toda carga é aplicada diretamente sob o revestimento, portanto esta camada é criteriosamente estudada para que seus componentes possam suportar as solicitações previstas do tráfego e clima da região (BALBO, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2010).

Diante disso, os materiais utilizados para a camada de revestimento devem estar de acordo com o projeto estrutural do pavimento e a dosagem adequada da mistura asfáltica, além do tipo de carga que será aplicada. Por estes fatores, essa camada apresenta o maior custo da estrutura, também chamada de camada mais nobre, assim deve ter sua espessura respeitada para que não haja defeitos ou redução de resistência da estrutura (ROSSI, 2017).

### 2.1. Caracterização dos pavimentos flexíveis

Os pavimentos flexíveis estão geralmente associados a pavimentos asfálticos, como mencionado por Bernucci *et al.* (2010). Apresentam uma camada de revestimento, ou superficial, apoiada sobre camada base, sub-base, e reforço de subleito (quando se faz necessário), como pode ser observado no Figura 1. Dependendo do volume de tráfego e capacidade do subleito, algumas camadas podem ser eliminadas.

Figura 1 - Representação de pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

A camada superficial das estruturas de pavimento recebe a maior parte das cargas aplicadas, oriundas de tráfego de veículos, sendo estes esforços de compressão e tração, as demais camadas, ficam submetidas apenas à compressão. Por tanto, o revestimento pode ser fabricado em uma usina fixa ou móvel, ou elaborado na própria pista, quando se trata de tratamentos superficiais, além disso, também são identificados quanto ao tipo de ligante utilizado e sua distribuição granulométrica. Os ligantes são produzidos a quente, com uso de cimento asfáltico de petróleo (CAP), ou a frio com uso de emulsão asfáltica de petróleo (EAP), e a granulometria dos revestimentos é classificada quanto ao tamanho e quantidade de cada agregado (BERNUCCI *et al.*,2010)

### 2.1.1. Ligantes asfálticos

Além dos ligantes CAP e EAP, Pinto e Pinto (2015) especificam a existência de um terceiro material, sendo o Asfalto Diluído de Petróleo (ADP), quando existe a necessidade de um aquecimento moderado. O autor detalha a especificação de cada tipo de mistura asfáltica, apresentadas a seguir.

#### I) Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP):

É o asfalto que fornece características suficientes para utilização na construção do pavimento. Material semissólido à temperatura ambiente e deve ser aquecido de maneira que tenha a consistência adequada e possa interagir com os agregados. Possui características como flexibilidade, durabilidade, impermeabilidade e elevada resistência à ação de ácidos.

#### II) Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP):

É a combinação de água com o asfalto aquecido, em um meio agitado e com emulsificantes, que garantem a estabilidade do conjunto e uma película protetora aos glóbulos de betume. Para garantir o transporte e o armazenamento, este material deve apresentar um mínimo de estabilidade à ruptura, sendo alcançada com a quantidade e qualidade adequada de emulsificante utilizado.

#### III) Asfalto diluído de petróleo (ADP):

Os asfaltos diluídos são feitos com uso de solventes derivados do petróleo, e são utilizados quando se faz necessário a eliminação do aquecimento do CAP, ou o uso de um aquecimento moderado. Os solventes estão presentes apenas para utilizar o CAP na pavimentação, pois estes irão evaporar totalmente (cura do asfalto diluído), deixando como resíduo o CAP, que desenvolve as propriedades do cimento.

### 2.1.2. Agregados

O revestimento asfáltico é influenciado pelo padrão granulométrico empregado, já que é constituído por associação do ligante asfáltico e agregados, como especificado pelo DNIT (2006b), e as quantidades de cada componente têm relação com a sua utilidade. A classificação desses agregados se dá quanto a sua natureza, tamanho e graduação (DNIT, 2006b).

#### I) Natureza:

Se divide em natural, tem origem nas alterações de rochas, como o que ocorre no processo de britagem; e artificial, são subprodutos de processos industriais com transformação física ou química, como a escória de alto-forno.

#### II) Tamanho:

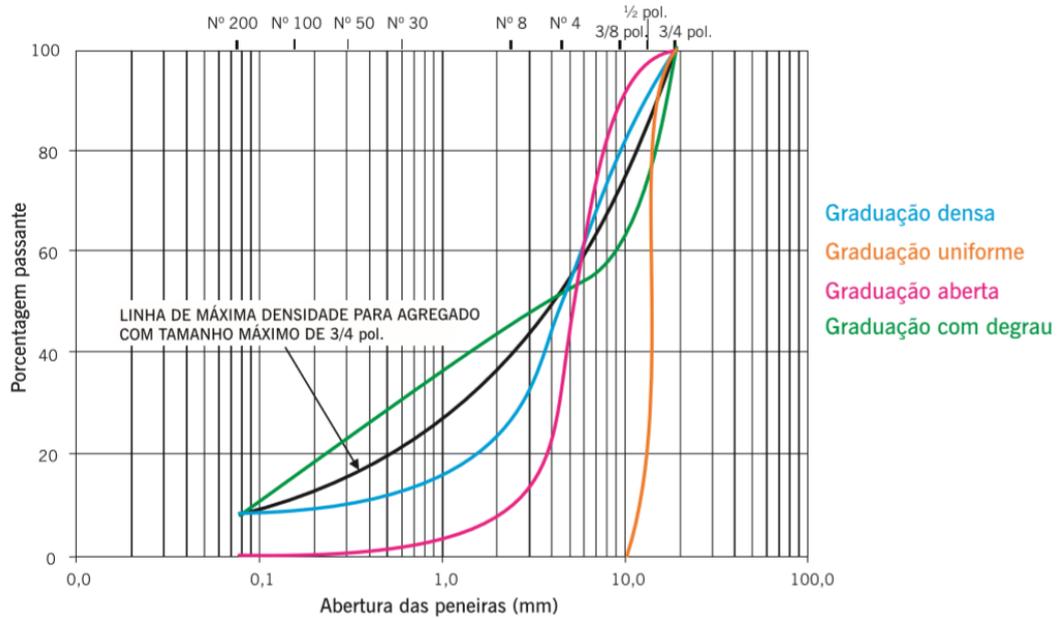
São os agregados graúdos, britas e cascalhos, que ficam retidos na peneira nº 10 (2,0 mm); agregados miúdos, pó-de-pedra e areia, retidos na peneira de nº 200 (0,075 mm); e agregados de enchimento (fíler), cal extinta e cimento Portland, onde pelo menos 65% passa na peneira de nº 200 (0,075 mm).

#### III) Graduação:

Graduação densa, material bem-graduado, com distribuição contínua, apresenta finos suficientes para preencher seus vazios; aberta, também é bem-graduada, mas possui insuficiência de finos para preencher vazios; uniforme, ou tipo macadame, que possui partículas de um único tamanho.

Para mais, Bernucci *et al.* (2010) destacam os tipos de graduação e as compara em uma curva granulométrica, que expressa a relação entre as aberturas de peneiras (em milímetros) e a porcentagem passante em peso (Figura 2). Além disso, outra graduação é acrescentada, a chamada descontínua ou em degrau, sendo aquela que apresenta pequenas quantidades de agregados intermediários, possuindo um patamar em sua curva granulométrica.

Figura 2 - Representação gráfica convencional de curva granulométrica

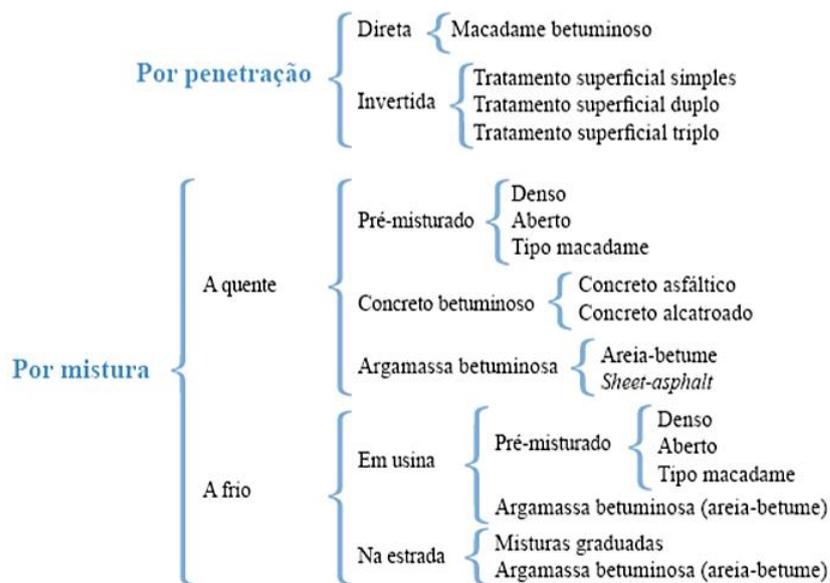


Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

### 2.1.3. Misturas Asfálticas

A elaboração de materiais de pavimentação é feita de acordo com as peculiaridades de cada região e de suas obras, assim como as necessidades existentes em cada localidade, segundo Balbo (2007) esses materiais podem ser asfálticos, concretos, cimentatos, granulares ou solos. Para tal, Pinto e Pinto (2015) apresentam um fluxograma com os tipos de camadas betuminosas como apresentado na Figura 3:

Figura 3 - Tipos de camadas betuminosas



Fonte: Pinto e Pinto (2015).

## 2.2. Pavimentos Drenantes

Os pavimentos drenantes, ou permeáveis, são aqueles que possuem vazios ou poros em sua estrutura que permitem a passagem de ar e água. Porém, a sua superfície recebe as cargas de tráfego de forma direta, por conta disto deve permitir a rápida infiltração da água, tendo a capacidade reduzir o volume de escoamento superficial (MARCHIONI, 2018).

Esse tipo de pavimento apresenta duas funções, a hidráulica, onde mostra a capacidade de reter água temporariamente por meio de seus poros, seguido de drenagem e possível infiltração no solo do subleito, e a função mecânica, que permite seu funcionamento como estrutura, suportando as cargas oriundas do tráfego (SUZUKI; AZEVEDO; JÚNIOR, 2013)

Os pavimentos podem apresentar revestimento drenante ou impermeável, e possuir como função a infiltração total ou somente o armazenamento, para tal, Suzuki, Azevedo e Júnior (2013) afirmam que o funcionamento do pavimento permeável consiste na entrada imediata de água da chuva, estocagem temporária dessa água nos vazios do pavimento e evacuação lenta do líquido, ocorrendo por meio da infiltração no solo ou direcionamento para a rede de drenagem.

### 2.2.1. Concreto Poroso

O uso de concreto poroso, ou permeável, ocorreu de maneira ampla no período da Segunda Guerra Mundial, entre 1939 e 1945, pois grande parte da Europa necessitava de moradias, o que levou a escolha de métodos construtivos mais simples e com menor custo (HÖLTZ, 2011).

O autor supracitado comenta, ainda, que o uso do concreto poroso foi sendo intensificado com o passar dos anos, não somente pelas características de menor custo ou menos materiais para execução, mas também pela sua grande permeabilidade. Desta forma, reduzia os efeitos causados pelo aumento das áreas impermeabilizadas advindas do desenvolvimento urbano e, por conseguinte, pelo maior número de edificações construídas.

Diante disso, a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2011) propõe o uso de pavimentos permeáveis para ajudar a combater enchentes em centros urbanos. A base granular de um pavimento funciona como um filtro para a água da chuva (Figura 4), podendo ser utilizada em pisos de estacionamentos, calçadas e em vias de tráfego leve. A camada de revestimento desses pavimentos produzida com cimento pode ser executada com o concreto poroso feito *in loco* ou peças pré-moldadas de concreto.

Figura 4 - Passagem de água através dos vazios em concreto poroso

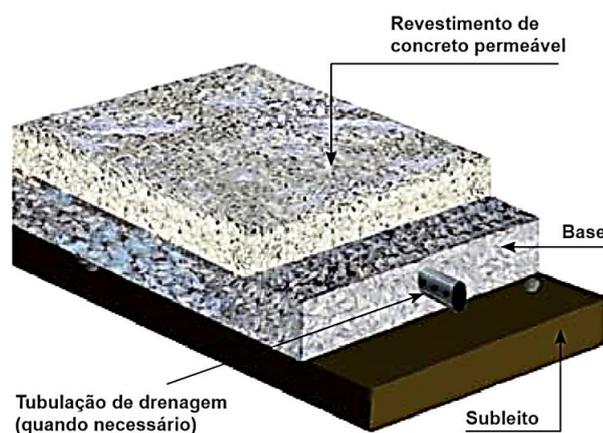


Fonte: UFRGS (2019).

O concreto poroso quando utilizado em pavimentação externa, permite a infiltração da água da chuva diretamente no solo, reduzindo a vazão que escoar superficialmente na via complementando o sistema de drenagem. Além disso, existe uma contribuição para os aquíferos subterrâneos, redução da velocidade de escoamento e uso eficiente do solo, podendo assim, haver a eliminação de dispositivos de drenagem, como pontos de retenção, valas, entre outros (HÖLTZ, 2011).

O pavimento de concreto poroso é considerado um sistema sustentável, controlando o volume de água e promovendo a melhoria da qualidade da mesma (MARCHIONI; MAYOR, 2013). Sua estrutura apresenta poucas camadas e deve conter os dispositivos para drenagem, como demonstrado da Figura 5 abaixo.

Figura 5 - Seção típica de pavimento de concreto permeável



Fonte: Marchioni e Mayor (2013).

Segundo Marchioni e Mayor (2013), a estrutura desse tipo de pavimento deve ser dimensionada considerando a intensidade de chuva no local, as características de permeabilidade e suporte do solo e o nível do lençol freático. Sua composição consiste em ligante hidráulico, agregado de graduação uniforme, pouco ou nenhum agregado miúdo e água, ainda podem ser utilizados aditivos e adições com diferentes combinações, atribuindo ao concreto melhor trabalhabilidade, resistência e durabilidade (BATEZINI, 2009).

Segundo Virgiliis (2009), o concreto poroso suporta carregamentos de baixo volume de tráfego, como o que ocorre em calçadas, tráfegos médios, como estacionamentos comerciais (Figura 6), e ruas residenciais. Além disso, quando em condições específicas de dimensionamento, pode suportar tráfego pesado. Como desvantagem, existem os constantes gastos com manutenção e limpeza e a possibilidade de colmatção, que consiste no depósito de materiais nos vazios do pavimento, causando entupimento dos poros e reduzindo sua capacidade de permeabilidade.

Figura 6 - Pavimento permeável com revestimento de concreto poroso



Fonte: ABCP (2011).

### 2.2.2. Pavimentos permeáveis com reservatório

Como apresentado por Virgiliis (2009), os pavimentos permeáveis com reservatório têm enfoque na drenagem urbana, com a finalidade de armazenar temporariamente a água proveniente do escoamento superficial, na qual será liberada de forma lenta e gradativa ou simplesmente absorvida pelo solo, tendo em vista sua capacidade de infiltração. Essa técnica é considerada moderna e com grande relevância para grandes centros urbanos, que apresentam maiores áreas impermeabilizadas.

De maneira geral, conforme Suzuki, Azevedo e Júnior (2013), o pavimento permeável é um dispositivo de infiltração e possui vantagens e desvantagens a serem consideradas na sua utilização, como mostrado na Quadro 1.

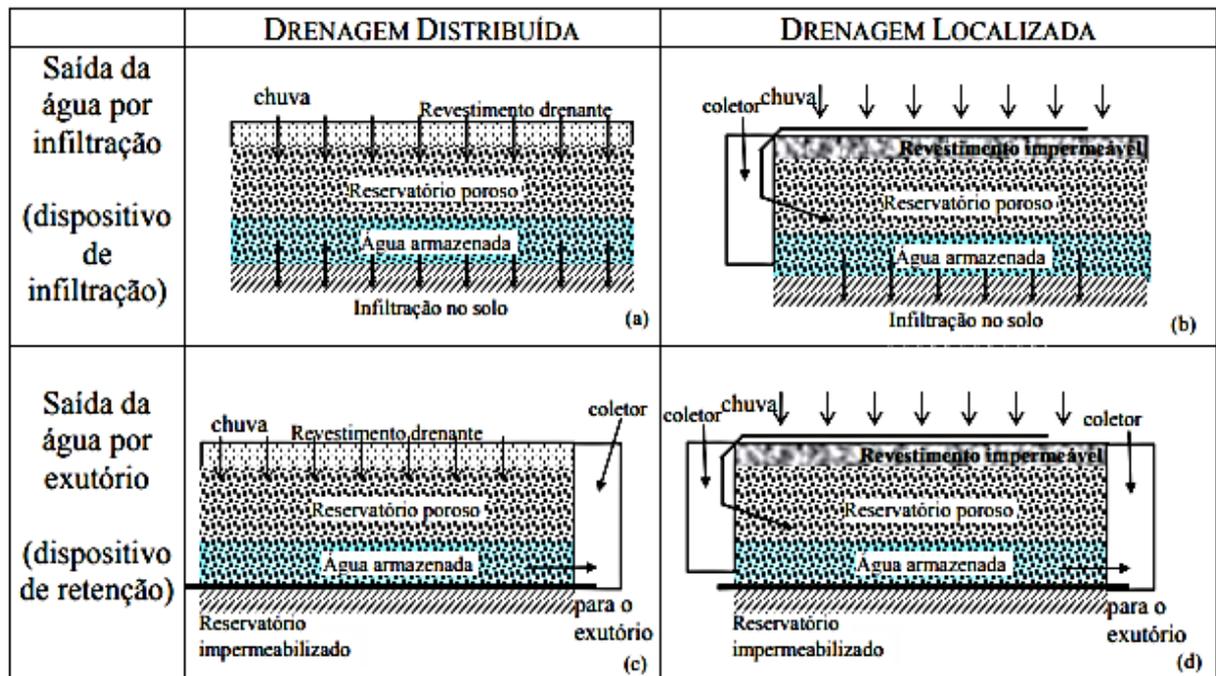
Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do pavimento permeável com reservatório

Vantagens	Desvantagens
A infiltração reduz o volume de água que entraria na rede de drenagem, evitando que seja sobrecarregada;	Sua porosidade aumenta a probabilidade de ter seus vazios obstruídos se houver falha na instalação ou manutenção;
O sistema pode ser utilizado em locais onde não há rede de drenagem;	O conhecimento em relação à sua aplicação e manutenção é pouco disseminado;
Sua funcionalidade pode recarregar aquíferos, reduzir escoamento superficial e reutilizar a água contida nos reservatórios;	Risco de falha no pavimento devido a colmatção (acúmulo de detritos nos poros) ou má construção;
O seu custo durante a vida útil pode ser menor que de outros sistemas.	Apresenta risco de contaminação dos aquíferos.

Fonte: Adaptado de Suzuki, Azevedo e Júnior (2013).

O autor supracitado define quatro tipos de pavimentos permeáveis com reservatório estrutural, ilustrados pela Figura 7, que utilizam drenagem distribuída ou localizada (uso de revestimento impermeável), e saída de água por infiltração no solo ou exutório (dispositivo de retenção).

Figura 7 - Diferentes tipos de pavimento com reservatório estrutural



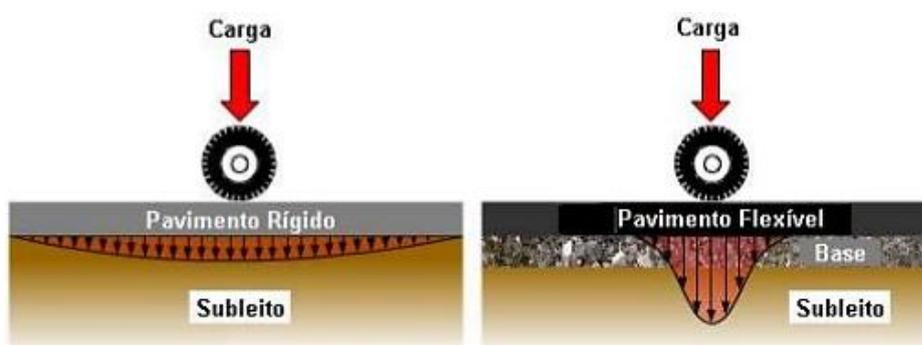
Fonte: Azzout *et al.* (1994, apud Acioli, 2005).

O desempenho desse pavimento está vinculado à permeabilidade e a retenção de água do curso do reservatório, sendo influenciado pela distribuição granulométrica do agregado nas camadas superiores. Desta forma, é importante o estudo da granulometria dos agregados, podendo definir a eficiência do pavimento com base na condutividade hidráulica e no volume de vazios existentes no curso percorrido pela água, da superfície ao reservatório (KOOHMISHI, SHAFABAKHSH, 2018).

### 2.2.3. Camada Porosa de Atrito (CPA)

A camada porosa de atrito é considerada um revestimento flexível, que segundo Balbo (2007), é aquele em que a absorção dos esforços acontece de maneira dividida, sendo distribuída nas camadas do pavimento, ou seja, ocorrem tensões verticais em camadas inferiores, mas a concentração está na superfície, área de aplicação da carga. Observando a Figura 8, é possível visualizar as diferenças entre o pavimento rígido e flexível, com relação à dissipação das tensões verticais.

Figura 8 - Comparação dos esforços no pavimento convencional e pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

A composição do CPA feita com asfalto polímero pré-misturado a quente, é fabricada em usina apropriada por apresentar características específicas, seus elementos são espalhados e submetidos a uma compressão à quente. É composto por agregado graúdo e miúdo, fíler e cimento asfáltico modificado por polímero, além disso, seu desempenho e características devem estar de acordo com DNER (1999), que estabelece os requisitos para o uso desse material.

Esse revestimento possui uma graduação aberta, ou seja, apresenta um maior volume de vazios com ar, possibilitando a percolação de água no interior da mistura, tornando-a drenante. Devido a sua estrutura permeável é necessário o uso de uma camada preexistente

de concreto asfáltico ou outro material, como observado na Figura 9, para garantir sua resistência a maiores cargas de tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Figura 9 - Corpo de prova mostrando a composição do revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

Os vazios presentes no CPA variam de 18% a 25%, sendo uma maior quantidade quando comparado aos revestimentos convencionais, que possuem vazios da ordem de 4% a 6%. Sua utilização está na camada final de rolamento, situada na superfície, tendo contato direto com as cargas provenientes do tráfego de veículos. As principais vantagens do CPA e a justificativa de seu uso, principalmente em zonas urbanas, é a maior aderência entre pneu e pavimento em dias de chuva e redução de ruído causado pelo contato do pneu com o pavimento, tendo em vista que são nessas regiões onde existem maiores áreas impermeabilizadas e ruídos constantes causados pelo tráfego de veículos (LUGO, 2014; JÚNIOR, 2012).

A seguir é apresentado um corpo de prova de concreto asfáltico - CA, com graduação fechada ou densa, com comparação com um de CPA, com graduação aberta, (Figura 10), sendo possível observar os vazios existentes na mistura, o baixo teor de ligante asfáltico para intensificação dos vazios e a uniformidade dos agregados.

Figura 10 - Corpo de prova com graduação fechada (CA) e com graduação aberta (CPA)



Fonte: Oliveira (2017); Bernucci *et al.* (2010).

Um pavimento que apresenta o CPA na superfície, e não possui em suas camadas uma retenção de líquido em reservatório, deve conter uma camada impermeável (esta pode ser apenas uma etapa da construção com adição de um produto impermeabilizante) para evitar o comprometimento das camadas subjacentes. A redução do ruído, citada anteriormente, se trata da dissipação da energia das ondas sonoras causadas pelo contato pneu-pavimento para o interior dos vazios (DAIBERT *et al.*, 2019).

Outra característica significativa do CPA, segundo Pinto e Pinto (2015), é a redução do *spray* (Figura 11), que é decorrente da passagem dos veículos pelo espelho d'água formado durante a precipitação, por conta da infiltração da água no revestimento. O *spray* ocorre devido ao alto escoamento superficial, e é possível solucioná-lo com o revestimento permeável.

Figura 11 - Representação de spray e espelho d'água na superfície do pavimento

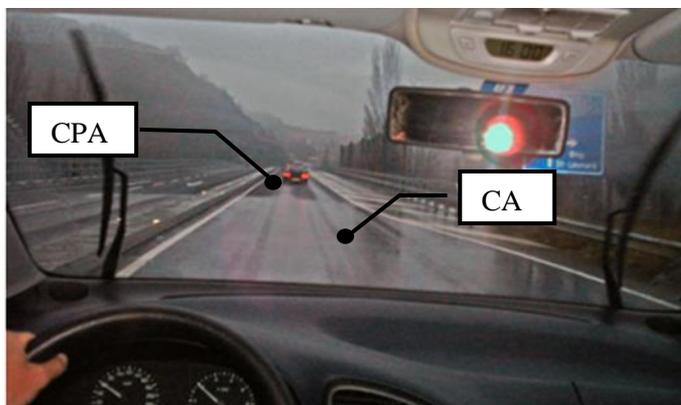


Fonte: ICETTRAN (2019).

Além disso, a Figura 12 exemplifica um trecho de um pavimento em que parte foi executado com revestimento convencional, impermeável, e outra com CPA. Desta forma pode-se visualizar o menor brilho na pista, bem como a redução da reflexão de luz dos faróis, devido

à ausência da lâmina de água na superfície, sendo esta a responsável pelo efeito de aquaplanagem.

Figura 12 - Trecho em concreto asfáltico (CA) seguido por trecho de CPA



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2010).

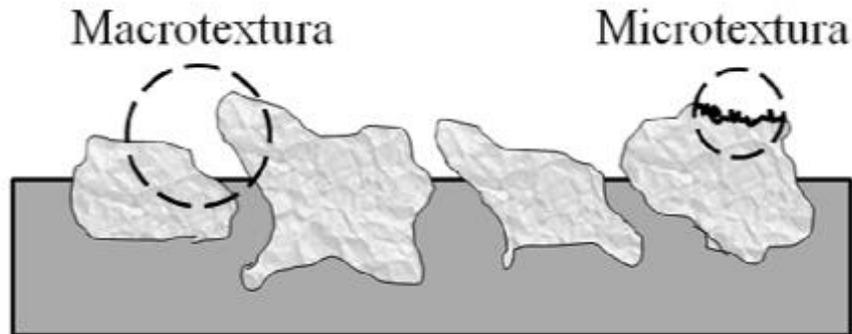
### 2.3. Textura superficial

A maior vantagem do estudo sobre a textura do pavimento é considerar sua influência na segurança viária, contribuindo na frenagem, resistência à derrapagem, drenagem superficial, ruído, conforto ao dirigir, entre outros aspectos. A textura está diretamente relacionada ao tipo de revestimento utilizado, existem quatro grandezas para o tipo de revestimento, sendo a macrotextura, microtextura, megatextura e irregularidade (CALLAI, 2011).

Segundo Aps (2006), uma boa textura, considerando a macrotextura e microtextura, está relacionada à resistência ao deslizamento do veículo na via, que engloba o desgaste do agregado, textura da superfície, tendo como influência o tamanho e a forma dos grãos. O deslizamento está associado à aderência entre pneu e pavimento na via, sendo esta fundamental para a segurança no tráfego (FERREIRA, 2002).

Segundo Mattos (2009), a aderência da superfície de um pavimento está baseada na sua textura, que se divide em dois tipos: microtextura e macrotextura. A Figura 13 mostra as diferenças entre esses dois tipos.

Figura 13 - Diferença entre microtextura e macrotextura no pavimento



Fonte: Mattos (2009).

Segundo Bernucci *et al.* (2010), a textura é o principal foco das avaliações dos profissionais responsáveis pelas rodovias, pois é um dos aspectos de aderência do pavimento que pode sofrer interferência. A classificação da textura, apresentada na Tabela 1, depende da distância entre dois picos ou depressões na superfície, também denominada de comprimento de onda, de acordo com a PIARC (*The World Road Association*).

Tabela 1 - Classificação da textura de um pavimento.

Classificação da textura	Comprimento de onda	
	Horizontal ↔	Vertical ↕
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$	$\lambda < 0,2 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$	$0,2 \text{ mm} \leq \lambda < 10 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$	$1 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Irregularidade	$0,5 \text{ m} \leq \lambda < 50 \text{ m}$	$1 \text{ mm} \leq \lambda < 20 \text{ cm}$

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2010) e Aps (2016).

A microtextura se relaciona com a resistência à derrapagem do veículo, quando este se encontra com velocidade inferior a 50 km/h. Porém, quando veículo está em alta velocidade existe um menor contato direto entre o pneu e o pavimento, impedindo a ruptura da lâmina d'água formada, por este motivo a macrotextura deve garantir a drenagem superficial no pavimento (MATTOS, 2009).

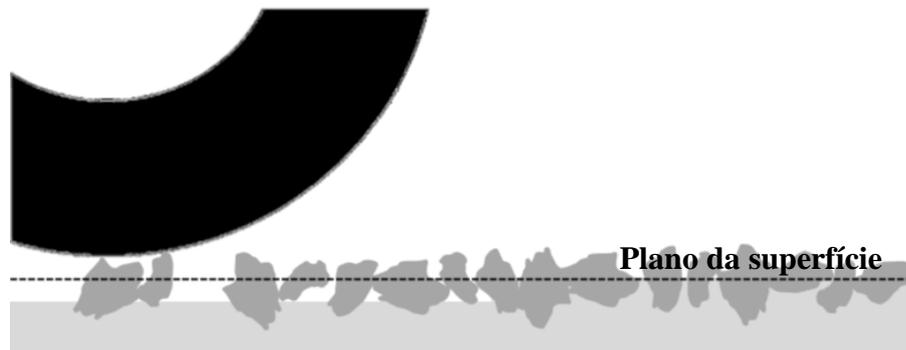
A macrotextura é influenciada pela compactação do pavimento e propriedades da mistura, dependendo da rugosidade formada pelos agregados, sua textura fornece 90% do atrito em velocidades acima de 90 km/h, proporcionando ainda uma redução dos respingos e borrifos

de água, assim como o brilho do farol, contribuindo para a melhor visibilidade do motorista (HAAS *et al.*,2015).

Em especial, Callai (2011) menciona que a macrotextura tem a capacidade de reduzir o ruído causado pelo tráfego de veículo e o escoamento superficial originado pela precipitação, quando dimensionada para tal, essas propriedades são caracterizadas pela disposição dos agregados e a forma como então distribuídos na textura.

Segundo Fehrl (2006), a textura superficial é formada de maneiras diferentes no plano vertical, sendo classificadas como textura positiva e textura negativa. Textura positiva é composta por partículas (ou saliências) que estão projetadas acima do plano da superfície, ou seja, os agregados estão expostos. Essa textura incentiva os níveis mais altos de vibrações entre pneu e pavimento, aumentando o atrito (Figura 14).

Figura 14 - Representação da textura positiva no pavimento.



Fonte: Callai (2011).

Na textura negativa (Figura 15), os agregados presentes na composição ocupam os vazios e formam uma superfície plana de acabamento. Essa textura reduz o ruído produzido no pavimento, bem como o atrito com o veículo.

Figura 15 - Representação da textura negativa no pavimento.



Fonte: Callai (2011).

### 2.3.1. Ensaios

A medição da textura superficial, segundo Wambold et al (1995, apud Aps, 2006) é avaliada por três métodos, sendo:

- I) Método volumétrico - Ensaio da Mancha de Areia;
- II) Drenômetros - Capacidade de drenagem;
- III) Perfilômetros - Laser, Fotoseccionamento ou Água de Contato.

Este estudo tem como foco os ensaios I e II mencionados.

#### 2.3.1.1. Ensaio da Mancha de Areia

A determinação da macrotextura do revestimento, também denominada de profundidade média da altura de areia, é feita com o ensaio da Mancha de Areia, sendo uma ferramenta importante para a caracterização da textura superficial. O método consiste no uso de um material granular, com volume conhecido de 25.000 mm<sup>3</sup>, espalhado pelo pavimento, preenchendo, desta forma, os vazios presentes na superfície de rolamento (MATTOS, 2009).

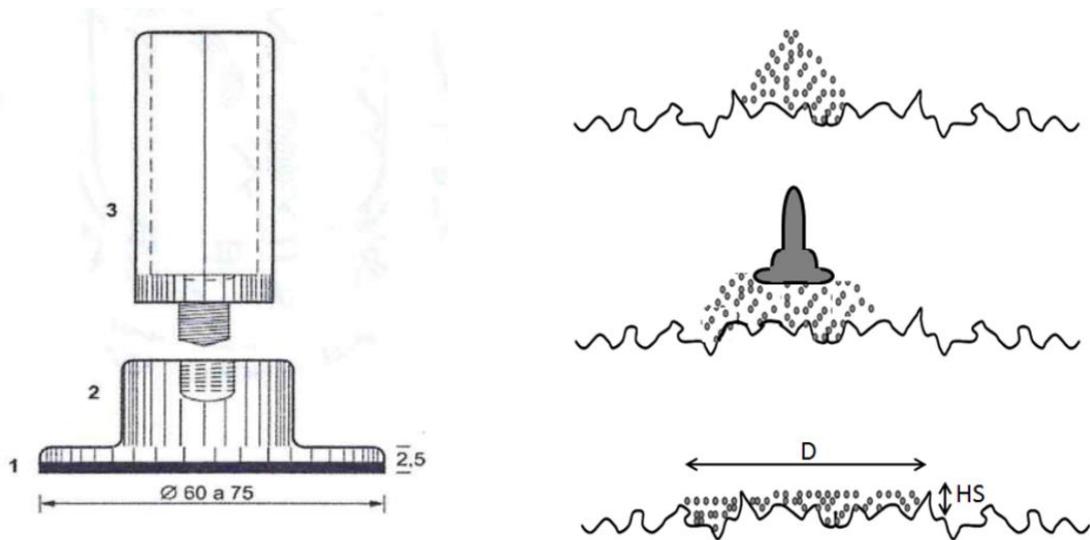
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2016), estabelece um procedimento normativo para a realização do ensaio, de acordo com a NRB 16504:2016 o material granular é espalhado com movimentos circulares de maneira uniforme sobre o revestimento. A área circular encontrada é calculada pelo diâmetro médio, adquirido após quatro medições no entorno da circunferência.

Os materiais para o ensaio são especificados pela norma:

- a) Material granular: esferas sólidas em vidro com mínimo de 90% de massa passante na peneira nº60 (0,250 mm) e retido na peneira nº80 (0,180 mm); areia natural com mínimo de 90% passante na peneira nº50 (0,300 mm) e retida na nº100 (0,150mm);
- b) Escova ou pincel para limpeza da superfície do pavimento;
- c) Para-vento: anteparo resistente para proteção do ensaio contra a ação do vento ou turbulências vindas do tráfego;
- d) Escala métrica graduada com subdivisão de 1 mm;
- e) Dispositivo para nivelamento do material granular;
- f) Peneiras de tela em tecido metálico com aberturas nº50, nº60, nº80 e nº100.

A NBR 16504 especifica a aparelhagem para a execução do ensaio (Figura 16) sendo necessário um disco espalhador revestido de borracha (1), com 2,5 mm de espessura e 60 mm a 70 mm de diâmetro, um dispositivo para fixar o disco espalhador ao recipiente cilíndrico (2) e um recipiente cilíndrico para aferir o material granular (3). Além disso, o princípio da determinação da macrotextura é representado na Figura 16 com o esquema proposto por Mattos (2009), onde a areia é espalhada com o uso do disco, sendo possível a medição do diâmetro da mancha (D), e o valor de HS é sua altura média que será encontrada com o auxílio de equações.

Figura 16 - Modelo do disco espalhador e do ensaio da mancha de areia



Fonte: ABNT (2016); Mattos (2009).

A Tabela 2, apresentada por Ferreira (2002), mostra a altura média da mancha de areia para cada tipo de textura superficial, o qual é a base para validação dos ensaios feitos com o uso desse método. Além disso, a tabela demonstra o tipo de aplicação do revestimento para cada caso.

Tabela 2 - Aplicação dos revestimentos em função da altura média de areia - HS

<b>Altura média da areia HS (mm)</b>	<b>Textura superficial</b>	<b>Aplicação do revestimento</b>
HS < 0,2	Muito fina ou muito fechada	Não deve ser utilizado
0,2 < HS ≤ 0,4	Fina ou fechada	Reservado para zonas urbanas (V < 80 km/h)
0,4 < HS ≤ 0,8	Média	Indicados para vias com 80 km/h < V ≤ 120 km/h
0,8 < HS ≤ 1,2	Grosseira ou aberta	Indicados para vias com V > 120 km/h
HS > 1,2	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 Ferreira (2002).

A NRB 16504 (ABNT, 2016) especifica o procedimento de ensaio da mesma forma que a ASTM E 965 (1996), porém, além de apontar uma equação para encontrar a altura média de areia, esta última apresenta uma faixa de profundidade da macrotextura de 0,5 mm a 1,2 mm para validação do resultado, tendo sua precisão por meio do coeficiente de variação. Além disso, a ASTM (1996) afirma que o ensaio não apresenta adequação para revestimento poroso, como é o caso da CPA.

Ainda assim, quando realizado no revestimento do tipo CPA, o ensaio da mancha de areia deve apresentar resultado de HS maior que 0,8 mm, podendo ser classificada com textura superficial aberta e muito aberta, indicando que existe uma quantidade considerável de vazios para a funcionalidade do revestimento. Desta forma, a análise será efetivada sob esta condição.

### 2.3.1.2. Ensaio de Permeabilidade

O número de vazios ou poros existentes no revestimento se caracteriza com base na sua macrotextura. Essa característica permite a infiltração de uma certa quantidade de água no revestimento, auxiliando no escoamento para o sistema de drenagem. A capacidade da macrotextura de drenar a água pode ser medida por meio de um drenômetro, padronizado de acordo com o construído pelo Laboratório da Escola Politécnica de São Paulo (LTP/EPUSP),

no qual seu ensaio permite a medição do tempo de escoamento da água no revestimento do pavimento (APS, 2006).

De acordo com a autora supracitada, o ensaio consiste em utilizar um cilindro plástico transparente acoplado a um fundo com 5 cm de diâmetro (Figura 17), a água é despejada com um volume de 0,7 L, e utiliza-se de um cronômetro para relacionar o tempo de escoamento. O objetivo do ensaio é verificar a capacidade drenante da textura do pavimento na presença de chuvas e seu resultado pode ser apresentado por meio de tempo de escoamento ou vazão de água escoada.

Figura 17 - Água despejada no cilindro para medir o tempo de escoamento



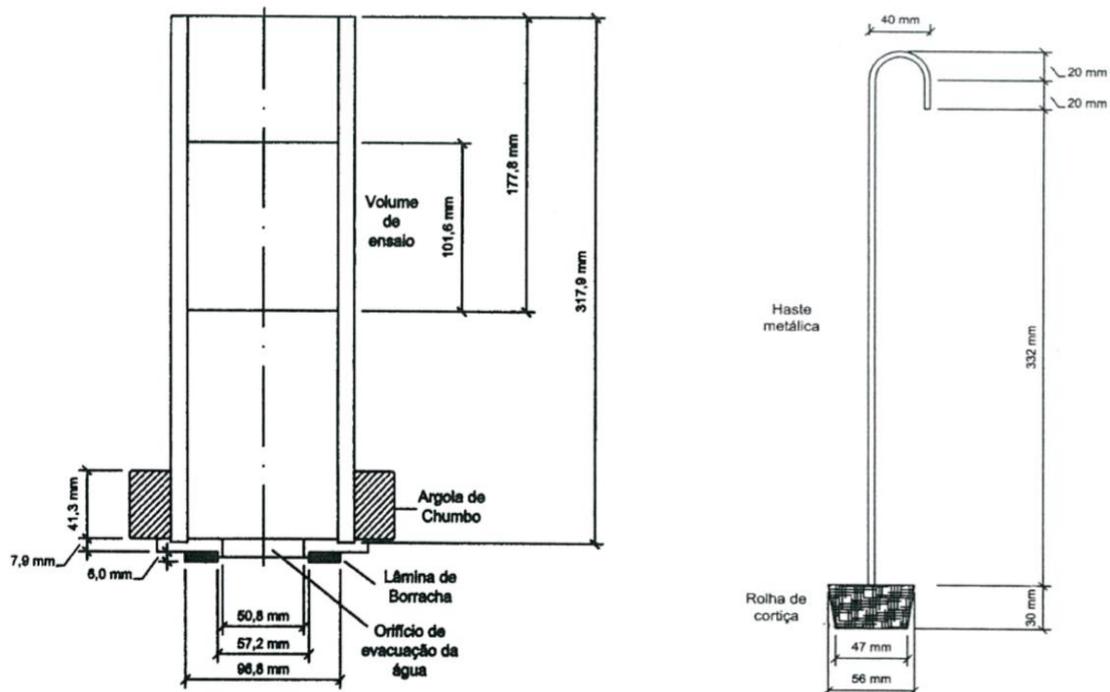
Fonte: Daibert *et al.* (2019).

Segundo Ferreira (2002), no terço médio da altura do cilindro existem duas linhas que demarcam o volume conhecido de água (0,7 L), quando a água despejada passar pela primeira marca inicia-se a contagem do tempo, que é interrompida quando o líquido passar da segunda marcação. Como ilustrado na Figura 18, existem algumas especificações para esse ensaio:

- A parte inferior do cilindro é revestida por uma lâmina de borracha, para que haja aderência entre o equipamento e a superfície;
- O equipamento apresenta uma base com uma argola de chumbo para sustentação;

- Existe um furo com dimensões padronizadas no fundo do cilindro para liberação da água;
- Uma rolha é acoplada ao fundo no recipiente para que a água escoe no momento desejado.

Figura 18 - Corte longitudinal do drenômetro LTP/EPUSP e da rolha acoplada ao equipamento



Fonte: Ferreira (2002).

Antes da execução do ensaio é necessário que a superfície esteja limpa e seca, além da necessidade de varrição do revestimento, impedindo que sedimentos depositados prejudiquem o desempenho do ensaio (ONO, BALBO, CARGNIN, 2017).

Este ensaio é normatizado pela Sociedade Americana de Ensaio e Materiais - ASTM (2005). A norma ASTM E 2390 – 05 (2005) especifica a medição da textura do pavimento por meio de um drenômetro com temporizador eletrônico, dispensando a medição de forma manual. Além disso, a norma permite encontrar um resultado de profundidade média da macrotextura (MTD – *Mean Texture Depth*) a partir do tempo de escoamento, para que seja associado ao valor da macrotextura obtido pelo ensaio da mancha de areia.

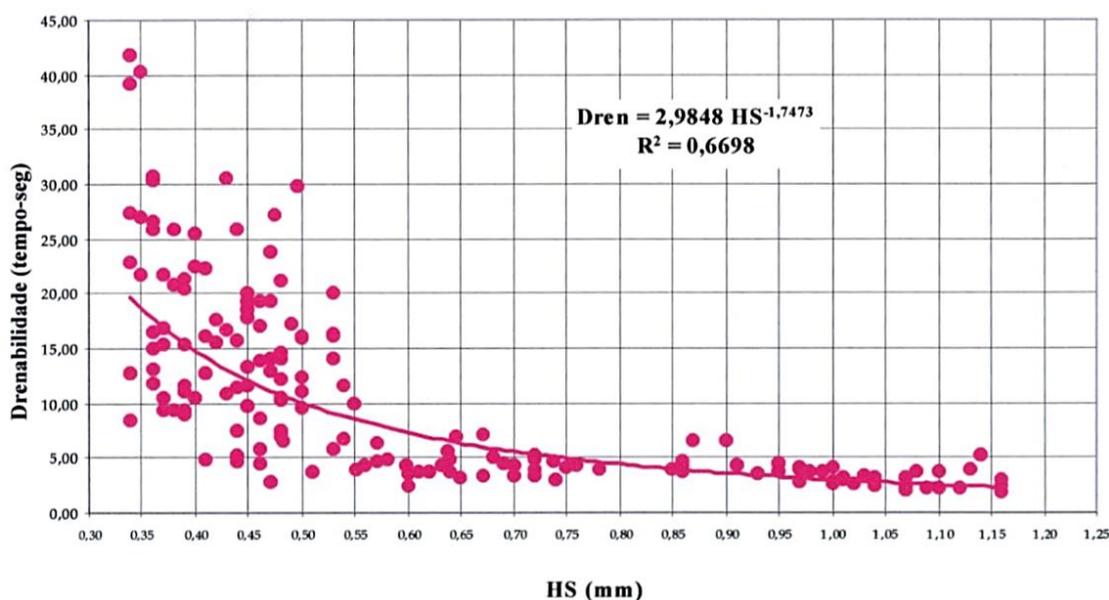
No entanto, o ensaio de drenabilidade não apresenta validação para um revestimento altamente poroso, já que o maior número de vazios influencia na medição do fluxo de água. Apesar disso, os valores encontrados podem resultar em uma grandeza de capacidade

drenante real em revestimento recém executado, por conseguinte, o ensaio será implementado sob essa perspectiva.

Existem estudos que apresentam a relação existente entre o ensaio da mancha de areia e o de drenabilidade no revestimento, semelhante ao encontrado na ASTM E 2380 - 05, a partir desse ponto pode-se encontrar um parâmetro para analisar os resultados dos dois ensaios e a eficiência do revestimento. O ensaio realizado por Ferreira (2002) obteve um gráfico de curva descendente relacionando os dois valores, sendo estes inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a altura média da mancha de areia, representando poucos ou pequenos vazios, menor o tempo de escoamento, desta forma, têm-se pouca água acumulada nos vazios e um rápido escoamento superficial.

Ferreira (2002) desenvolveu, ainda, uma equação para encontrar o valor de drenabilidade com base na altura da mancha de areia (HS), com um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) com o valor de 0,6698. Todos os valores dos ensaios realizados foram apresentados na Figura 19, bem como a equação de drenabilidade.

Figura 19 - Correlação gráfica de mancha de areia x drenabilidade (regressão potencial)



Fonte: Ferreira (2002).

Além disso, Marchioni *et al.* (2013), trabalharam a permeabilidade em pavimentos permeáveis, sendo blocos vazados e concreto permeável, utilizando um coeficiente de permeabilidade próximo ao apresentado pela areia, com valor mínimo de  $10^{-5}$  m/s, essa representação atesta que o pavimento irá funcionar de forma adequada. A NBR 16416 (ABNT, 2015) estabelece valores de coeficientes de permeabilidade em m/s, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores típicos de permeabilidade dos solos

<b>Coefficiente de permeabilidade do solo k (m/s)</b>	<b>Grau de permeabilidade do solo</b>	<b>Tipo de solo</b>
$> 10^{-3}$	Alta	Brita
$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Média	Areia de brita, areia limpa e areia fina
$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Baixa	Areia, areia suja e silte arenoso
$10^{-7}$ a $10^{-9}$	Muito baixa	Silte e silte arenoso
$< 10^{-9}$	Praticamente impermeável	Argila

Fonte: Adaptado de ABNT (2015).

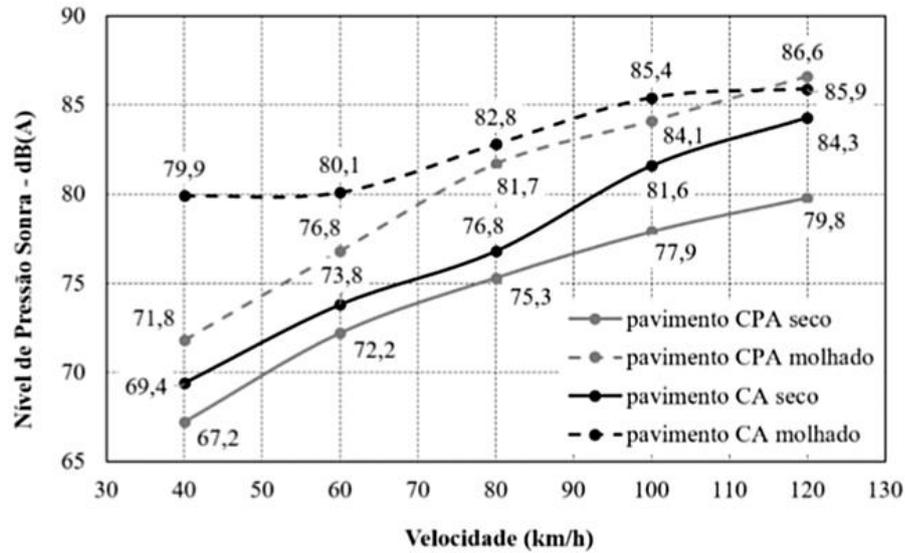
Os autores anteriormente citados estabelecem que os pavimentos permeáveis devem apresentar uma faixa de permeabilidade alta, se estendendo à média, obtendo o valor mencionado acima de  $10^{-5}$ m/s, semelhantes ao solo de brita, areia de brita, areia limpa ou areia fina.

### 2.3.2. Ruído

As fontes de ruído no pavimento estão associadas à interação dos pneus dos veículos com a superfície da estrada, incluindo sua geração, propagação e influência externa. A causa desse fenômeno ocorre, principalmente, quando os veículos estão em velocidades altas ou moderadas, sendo influenciado pelo atrito e adesão entre pneu e pavimento, essas características ocorrem em função da execução da textura superficial, composição da sua macrotextura (FEHRL, 2006).

Segundo Alves *et al.*(2018), o ruído de circulação do tráfego pode ser reduzido devido a porosidade da camada de revestimento, em função da sua composição, o alto volume de vazios no revestimento do tipo CPA, por exemplo, permite a atenuação da geração sonora de parte do ruído produzido pelo atrito entre pneu e pavimento, ou seja, parte do ruído é dissipada para o interior dos vazios. O autor estudou os pavimentos do tipo CPA e o CA, com a superfície úmida e seca, relacionando a velocidade utilizada na via e o nível de ruído, como apresentado na Figura 20.

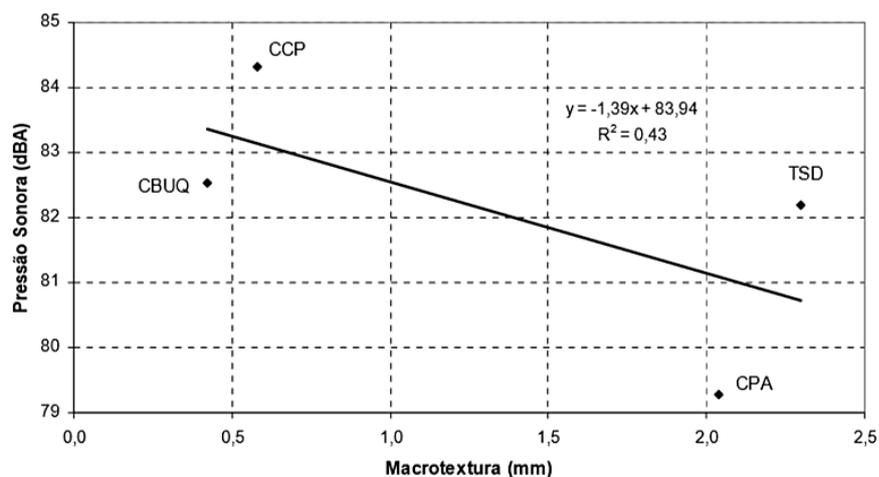
Figura 20 - Representação gráfica da evolução do nível de pressão sonora nas pistas seca e molhada.



Fonte: Alves *et al.* (2018).

A avaliação de ruído em relação à textura superficial do pavimento foi realizada por Specht *et al.* (2019), onde avaliaram diferentes rodovias com revestimentos distintos, sendo CAUQ - Concreto asfáltico usinado à quente, TSD - Tratamento superficial duplo, CCP - Concreto de cimento Portland e CPA - Camada porosa de atrito. Através do ensaio de mancha de areia, foi determinada a macrotextura dos revestimentos em questão, relacionando-as com a pressão sonora obtida através de velocidades entre 65 e 110 km/h. A Figura 21 representa a relação entre pressão sonora e macrotextura.

Figura 21 - Relação gráfica entre macrotextura e pressão sonora.



Fonte: Specht *et al.* (2019).

Observando a posição do revestimento do tipo CPA, têm-se uma maior macrotextura em comparação ao menor valor de pressão sonora. Desta forma, os autores

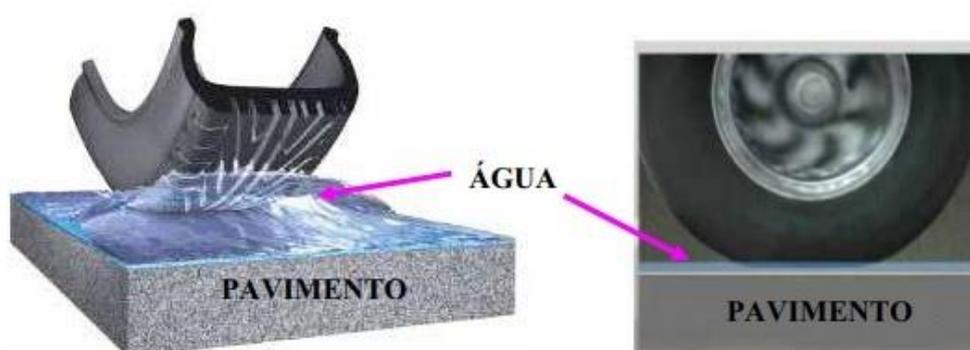
puderam concluir que quando o pavimento apresenta texturas maiores existe uma tendência de redução na geração e propagação do ruído causado pelo contato entre pneu e pavimento.

Por conseguinte, a textura do pavimento auxilia na frenagem, drenagem superficial, conforto ao dirigir, bem como na redução do ruído. Porém, a segurança é sempre o principal fator a ser considerado na execução do pavimento, portanto, priorizar um revestimento melhor em relação à derrapagem ou aderência pode desfavorecer quanto ao ruído. No entanto, podem existir situação em que todos os aspectos possam ser bem abordados (CALLAI, 2011).

### 2.3.3. Aquaplanagem

Segundo Peder (2017), a aquaplanagem, também denominada hidroplanagem, ocorre quando há falta de aderência entre pneu e pavimento, causado por uma lâmina d'água com espessura suficiente para impedir esse contato (Figura 22), podendo ocasionar ao motorista o descontrole do veículo. Desta forma, Silva (2008) afirma que a viscosidade e a massa do fluido afetam a capacidade de atrito entre pneu e pavimento.

Figura 22 - Fenômeno da aquaplanagem.



Fonte: Silva (2008).

O revestimento com um maior índice de vazios e pequena quantidade de agregados miúdos em sua composição apresenta uma granulometria aberta, como exemplo o revestimento do tipo CPA, citado anteriormente, e isso proporciona uma superfície mais rugosa, aumentando o coeficiente de atrito. Além disso, o elevado índice de vazios reduz os afeitos da aquaplanagem, pois a água proveniente da chuva percola pelo revestimento, evitando o acúmulo de água na superfície (BATEZINI, 2009).

Como já exposto, a macrotextura consiste nas saliências e no tamanho entre os agregados na superfície do pavimento, é sua composição que define os níveis de atrito e de vazios do revestimento, por conta disso, fornece canais de drenagem para a água precipitada.

Desta forma, um pavimento inundado opera utilizando esses vazios como canais de escape que auxiliam na drenagem superficial na via (MOUCE, 1993).

#### **2.4. Manutenção e limpeza dos pavimentos**

A manutenção consiste nos cuidados técnicos indispensáveis ao bom e contínuo funcionamento de uma rede de pavimentos. O seu objetivo inclui a proteção física dos materiais que constituem o pavimento, bem como o prolongamento de sua vida útil. Para tal, também podem ser realizados processos de restauração, caso seja necessário (OLIVEIRA, 2009).

A manutenção que ocorre nos pavimentos, dentre outros conceitos, pode ser classificada como preventiva e corretiva. Como especificado pela NBR 5462, a manutenção preventiva garante a qualidade de serviço, tendo como base técnicas de análises por meio de supervisão, já a manutenção corretiva tem o objetivo de recolocar um item para que cumpra sua função, ocorre quando deve-se corrigir um problema (ABNT, 1994).

Os picos e as depressões da textura representam a macrotextura, na qual proporciona o aumento no índice de vazios, por consequência, sua capacidade drenante, e a mesma que é avaliada no ensaio de mancha de areia. Quando a macrotextura é fechada o diâmetro de areia obtido através do ensaio é maior, isso ocorre porque os picos e depressões, ou vazios, estão preenchidos por contaminantes, sejam estes, óleo, areia e até borracha proveniente do desgaste de pneus. Quando o diâmetro de areia obtido através do ensaio é menor, caracteriza-se a macrotextura aberta, onde os vazios então limpos e são preenchidos pela areia durante o ensaio (OLIVEIRA *et al*, 2015; OLIVEIRA, 2009).

Desta forma, existe a necessidade da manutenção preventiva ou corretiva desses pavimentos após um certo período de utilização. Segundo a Federal Aviation Administration - FAA (1997), uma técnica econômica e ambientalmente limpa é a remoção dos contaminantes com uso de água de alta pressão, como mostrado na Figura 23, também chamado de hidrojateamento, que remove os depósitos da superfície de forma efetiva com mínimo tempo de execução, permitindo que as partículas indesejáveis sejam direcionadas para as laterais da pista.

Figura 23 - Técnicas de hidrojateamento (antes - A e depois - B).



Fonte: Oliveira *et al.* (2015).

De acordo com Oliveira (2009), os serviços de restauração se tornam mais comuns quando as conservações e prevenções não são feitas no decorrer da vida útil do pavimento. Esta situação causa custos desnecessários nos serviços de restauração, tendo em vista que poderiam ter sido evitados com as práticas regulares de restauração. Por conseguinte, a análise criteriosa dessas questões pode ser acompanhada por um gerenciamento de estudos, execução e manutenção dos pavimentos.

### 3. MÉTODOS DE PESQUISA

Este tópico especifica o método utilizado para a pesquisa, bem como suas etapas para coleta de dados, ensaios realizados em campo e modelos para análise dos resultados, os parâmetros utilizados para os ensaios e análises seguem a bibliografia estudada.

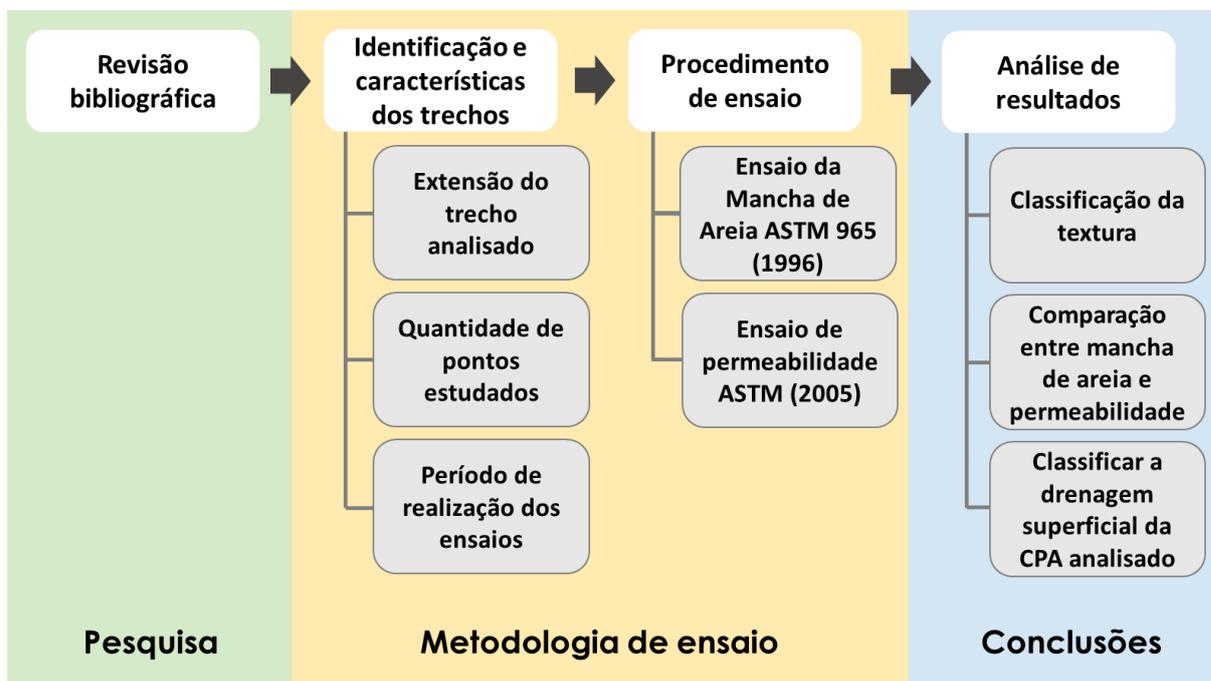
Inicialmente houve a especificação da linha de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho. Para tal, fora realizada uma pesquisa do tipo bibliográfica para embasar os assuntos considerados relevantes no estudo, tendo como base publicações acadêmicas diversas, como em trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, artigos científicos e documentos de agências regulamentadoras para a pavimentação.

Juntamente a esta etapa foi determinada a área de estudo, sendo as Avenidas Senador Virgílio Távora, Santos Dumont e Dom Luís, que apresentam o revestimento do tipo CPA, localizadas no município de Fortaleza, no estado do Ceará. A partir da visita ao local, podem-se identificar os trechos que apresentavam o CPA, bem como as características da via. Em sequência, são realizados os ensaios de Mancha de Areia e Permeabilidade, procedimentos estes recomendados pelas ASTM E 965-96 (1996) e ASTM E 2380-05 (2005). Após a análise dos resultados, pode-se classificar o desempenho da CPA com base na bibliografia estudada, caracterizando esta pesquisa como qualitativa e quantitativa, estudando as particularidades de cada via.

Após a realização das etapas mencionadas, é produzida uma análise e comparação entre os resultados encontrados, tendo em vista o desempenho da CPA e sua funcionalidade com base na drenagem superficial. Efetuando, desta forma, as devidas considerações a respeito dos resultados encontrados e discussões sobre eles.

Para melhor entendimento, as etapas, mencionadas anteriormente, estão dispostas por meio do fluxograma encontrado na Figura 24, descrevendo a relação entre as mesmas e o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 24 - Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir serão dispostos os métodos para escolha das áreas de estudos, os processos executivos e os materiais utilizados nos ensaios, bem como, os mecanismos para análise dos resultados.

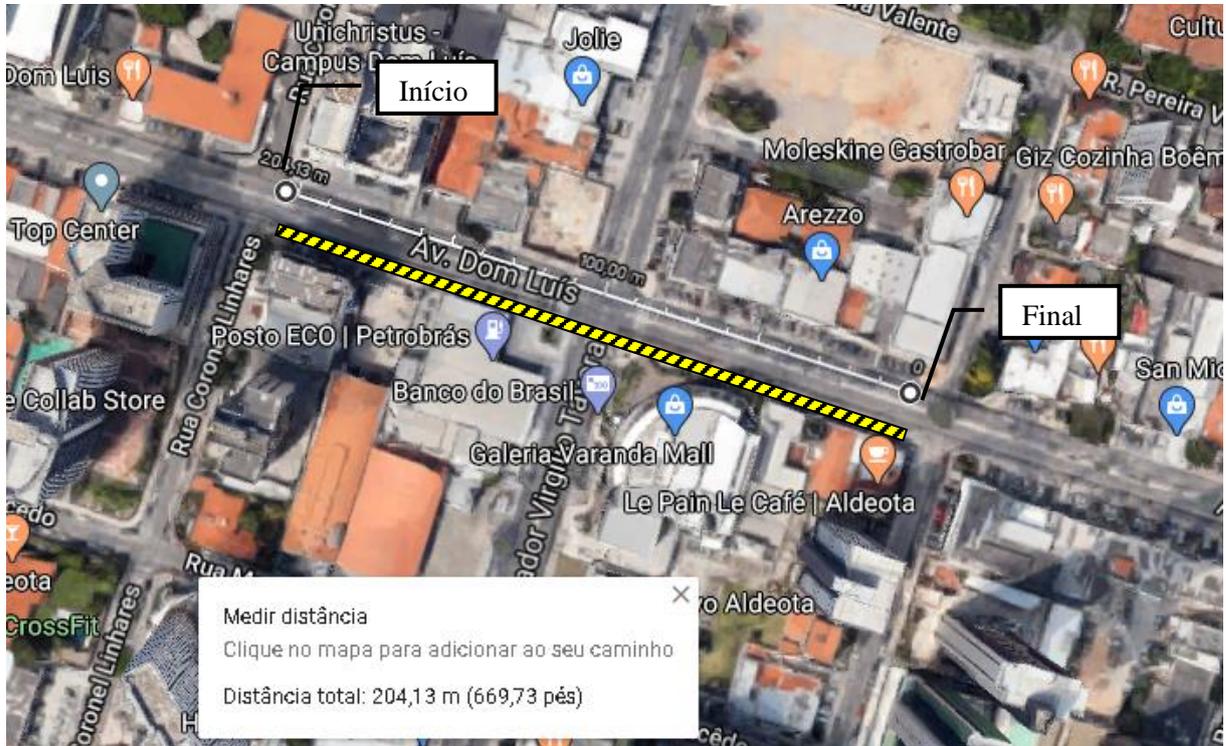
### 3.1. Determinação da área de estudo

As vias escolhidas para o desenvolvimento da pesquisa foram as Avenidas Dom Luís, Santos Dumont e Senador Virgílio Távora, em Fortaleza - CE, estas apresentam o revestimento do tipo CPA possuindo diferentes idades de execução e tempo de utilização.

Na primeira, Av. Dom Luís, o revestimento começou a ser aplicado em 2019 e foi concluído em janeiro de 2020, assumindo a extensão completa da via. O projeto se iniciou com o objetivo de dar acessibilidade e urbanização à Av. Dom Luís, sendo uma das vias mais movimentadas do bairro Aldeota em Fortaleza - CE, segundo a Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos – SCSP (2019), tendo em vista as movimentações de pedestres e veículos. Por meio do Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito de Fortaleza – Paitt (2015), o projeto desenvolvido no trecho conta com uma faixa exclusiva para ônibus e três faixas para outros veículos com cerca de 3,4 km, além de uma ciclofaixa em sua extensão. Buscou-se ainda a reforma das calçadas de passeio, itens de acessibilidade, como rampas e sinalização tátil, espaços de convivência, paisagismo, entre outras ações que melhoram os aspectos visuais e

funcionais da avenida. A Figura 25 mostra o trecho escolhido para a realização dos ensaios com uma extensão de, aproximadamente, 200 m.

Figura 25 - Trecho experimental da Av. Dom Luís



Fonte: Google Maps, 2020.

A segunda, Av. Santos Dumont, onde a conclusão da obra com uso de CPA ocorreu em dezembro de 2019, apresenta 3 faixas em um único sentido, no qual o sentido oposto acontece pelo acesso a vias paralelas, e uma ciclofaixa bidirecional. A mudança na pavimentação asfáltica advém de uma requalificação viária, seguindo o escopo do Paitt (2019) com obras da Secretaria Municipal de Infraestrutura - SEINF, esta reforma abrange drenagem, instalação de bocas de lobo, construção de novos passeios e paisagismo. A Figura 26 representa o trecho para execução dos ensaios, possuindo cerca de 200 m de extensão.

Figura 26 - Trecho experimental da Av. Santos Dumont



Fonte: Google Maps 2019.

A terceira, Av. Senador Virgílio Távora, foi executada em julho de 2018, apresenta o revestimento CPA em toda sua extensão, cerca de 2,5 km, possui duas faixas em cada sentido de tráfego, ciclofaixas nos dois sentidos e um canteiro central. De acordo com a SEINF (2018), este revestimento foi escolhido com o objetivo de aumentar a resistência e reduzir as fissuras e trincamentos no pavimento, bem como executá-lo com menor espessura, esperando que o desempenho se mantenha nos períodos chuvosos. O trecho para execução dos ensaios está ilustrado na Figura 27, apresentando em torno de 200 m de extensão.

Figura 27 - Trecho experimental da Av. Senador Virgílio Távora



Fonte: Google Maps (2019).

De acordo com as figuras apresentadas e a descrição dos trechos, é possível observar o início e final do trecho em que os ensaios foram realizados, sendo necessário um bloqueio parcial do tráfego em uma das faixas das avenidas. Por este motivo, procurou-se executar os ensaios no domingo, sendo o dia da semana em que a intensidade de veículos em circulação diminui significativamente.

### 3.2. Realização dos ensaios

Os ensaios foram realizados em janeiro de 2020, abrangendo especificamente as duas trilhas de roda de uma faixa de tráfego, local onde usualmente ocorre o contato entre pneu e pavimento, sendo o mais solicitado pelas cargas provenientes dos veículos. O trecho definido para a realização dos ensaios apresenta aproximadamente 200 m de extensão e os ensaios seguem os procedimentos normativos com os equipamentos especificados na Revisão Bibliográfica.

Considerando as exigências apresentadas nas normas, foram utilizados em média 10 pontos por trilha de roda, considerando interna e externa, para a realização do ensaio da

mancha de areia, totalizando 20 pontos estudados por avenida. Com exceção da Av. Dom Luís que apresentou 10 pontos estudados, com 5 pontos em cada trilha de roda, ocorrendo desta forma pois a aplicação do CPA era recente, portanto, havia poucos trechos com o revestimento concluído. Os pontos foram espalhados de forma a abranger o maior número de variedades de textura de uma única via.

A norma do ensaio de permeabilidade exige no mínimo 4 pontos espalhados aleatoriamente, logo, apenas o mínimo foi cumprido, devido ao fechamento de parte da via e interrupção do trânsito no local. No entanto, esses pontos foram identificados juntamente ao ensaio de mancha de areia para que fosse possível a comparação entre os resultados. Desta forma, para a correta execução de cada ensaio, foi considerada a seguinte ordem:

1º) Limpeza superficial e execução do 1º ensaio, Mancha de Areia;

2º) Execução do 2º ensaio, Permeabilidade, exatamente ao lado do 1º, nos pontos especificados.

Os ensaios ocorreram durante os turnos da manhã e da tarde, em dias ensolarados, sem a possibilidade de precipitações, pois, nestes casos, o ensaio deveria ser remarcado. É válido lembrar que os dois ensaios utilizados não são compatíveis para revestimento poroso, como é o caso da CPA. No entanto, é provável que se possa estabelecer uma relação e consideração entre os valores obtidos.

### 3.2.1. Ensaio da Mancha de Areia

De início, a superfície para o ensaio deve estar seca e limpa, evitando-se a influência do vento durante o ensaio com o auxílio de um anteparo de madeira, desta forma, a areia é despejada e espalhada com movimentos circulares com uso do disco espalhador, até que a areia preencha os espaços vazios do revestimento. Após esse processo, é feita a medição dos diâmetros no círculo formado, utilizando 4 medidas, a média entre esses valores será aplicada em uma equação disponibilizada pela ASTM E 965 (1996), para encontrar a altura média da mancha de areia (SOUSA, 2018; DAIBERT *et al.*, 2019). A Figura 28 representa o anteparo de madeira necessário para evitar influência do vento e o correto manuseio do material na execução do ensaio.

Figura 28 - Anteparo de madeira e procedimento de ensaio



Fonte: Sousa (2018); Peder (2017).

O anteparo é quadrado e segue as dimensões de 50 cm x 50 cm com 15 cm de altura, evitando desta forma a interferência do vento durante o ensaio. A Equação (1), utilizada para determinar o valor de HS, tem como base o volume conhecido de areia, especificado também em norma, e a fórmula da área de uma seção circular, fazendo uma aproximação ao formato circular da areia após seu espalhamento.

$$HS = \frac{4 \times V}{\pi \times Dm^2} = \frac{100.000}{\pi \times Dm^2} \quad (1)$$

Onde:

HS: profundidade média da macrotextura (mm)

V: volume de areia – 25.000 mm<sup>3</sup>

Dm: diâmetro médio da mancha de areia (mm)

### 3.2.2. Ensaio de Permeabilidade

O ensaio de Permeabilidade mede o tempo, com auxílio de um cronômetro, em que a camada consegue drenar determinado volume de água, seguindo a ASTM E 2308-05 (2005), que estabelece o procedimento correto para execução do ensaio e disponibiliza um modelo de equação que relaciona o ensaio da mancha de areia com o de permeabilidade.

Diante da análise bibliográfica, foi possível estabelecer outro parâmetro que relaciona os dois ensaios executados, sendo este proposto por Ferreira (2002), desta forma, as

formulações podem ser comparadas, tanto entre os valores do ensaio de permeabilidade, como sua relação com a HS de textura aberta, que caracteriza o revestimento do tipo CPA. De acordo com as equações (2) e (3) apresentadas, estabelecida pela ASTM E 2308-05 (2005) e por Ferreira (2002) respectivamente, é possível encontrar valores de permeabilidade do pavimento em questão, e analisá-los quanto ao seu desempenho.

$$MTD = \frac{3,114}{OFT} + 0,636 \quad (2)$$

Onde:

MTD: profundidade volumétrica (média) de textura (mm);

OFT: fluxo de saída - *outflow* (s).

$$Dren = 2,9848 \times HS^{-1,7473} \quad (3)$$

Onde:

Dren: drenabilidade / Permeabilidade (s)

HS: profundidade média da macrotextura (mm)

Como observado nas formulações, os valores de permeabilidade apresentam uma relação com os valores de altura média da mancha de areais, ensaio este realizado anteriormente, por este motivo, os pontos utilizados para o ensaio de mancha de areia são os mesmos utilizados para o ensaio de permeabilidade, sendo este último em menor quantidade.

A ASTM E 2308-05 (2005) especifica o número mínimo de 4 medições espaçadas aleatoriamente na via para o ensaio de permeabilidade, esses pontos foram identificados juntamente ao ensaio de mancha de areia para que fosse possível a comparação entre os resultados. No Apêndice B, encontram-se as imagens do drenômetro utilizado.

### 3.3. Análise e comparação de resultados

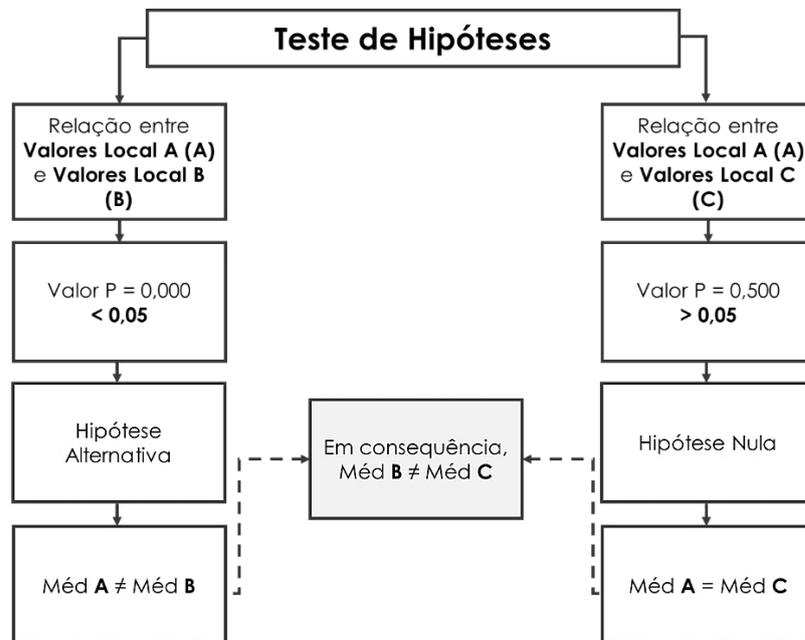
Os resultados verificados com valores de altura média da mancha de areia são comparados com a profundidade volumétrica de textura obtida, a partir do tempo em segundos, utilizando o drenômetro no ensaio de permeabilidade. Desta forma, são associados por meio de tabelas e gráficos no programa Excel da Microsoft e a correlação existente entre a textura e a

capacidade de escoamento superficial, expressa pelo coeficiente de tendência ( $R^2$ ), pode ser comparada àquela citada na bibliografia,

O programa Minitab 17 *Statistical Software* foi utilizado para comparação entre as médias de profundidade da macrot textura (HS) dos trechos analisados mediante o teste de hipóteses, tendo como base a relação entre o valor p, obtido através do programa, e o nível de significância, adotado igual a 0,05.

Dessa maneira, quando o valor p se mostra menor que o nível de significância, têm-se uma probabilidade que mede a evidência de uma hipótese alternativa, ou seja, as médias analisadas são diferentes. Em caso contrário, com valor  $p > 0,05$ , têm-se a alternativa nula e as médias são consideradas iguais. Essa relação tem melhor visualização por meio do fluxograma exposto na Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma do Teste de Hipóteses.



Fonte: Elaborado pela autora.

Como exemplificado, a média entre os valores do Local A e C são iguais, tendo em vista a hipótese nula apresentada anteriormente. Em consequência, a média do Local B apresenta-se diferente das demais.

Por fim, obtendo-se resultados semelhantes entre os ensaios, é possível aprovar o uso das equações normalizadas e expressas em bibliografias, que relacionam os dois ensaios feitos em campo, para o revestimento poroso estudado.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste tópico, apresentam-se os resultados obtidos através dos ensaios de mancha de areia (HS) e permeabilidade (MTD) em trechos de três avenidas localizadas em Fortaleza - CE, com o objetivo de relacionar os resultados dos ensaios entre si e ao desempenho do CPA em diferentes idades e período de utilização. Além disso, é discutida a avaliação do revestimento para o tipo de via em questão, tendo em vista os resultados obtidos e a comparação com trabalhos anteriores.

### **4.1. Resultados da altura média da mancha de areia**

Os resultados dos ensaios, foram obtidos através do ensaio da Mancha de Areia como especificado por norma, bem como sua análise quanto à textura superficial. Os pontos analisados são situados na trilha de roda da via, onde ocorre maior solicitação de carga através dos pneus dos automóveis. Vale ressaltar que o ensaio não foi realizado em dia chuvoso, as fotos apresentadas com o revestimento em condições de umidade são para apresentar o desempenho do CPA quando relacionado à existência de acúmulo de água na superfície.

A Figura 30 representa um trecho do ensaio executado na Av. Dom Luís, em que as setas representam os pontos na trilha de roda, onde o ensaio foi realizado, e a linha pontilhada mostra a projeção da divisão das faixas. A avenida ainda não apresentava sinalização horizontal pois o revestimento era muito recente.

Figura 30 – Ponto de execução do ensaio – Av. Dom Luís



Fonte: Elaborado pela autora.

A imagem demonstra a via úmida após um dia chuvoso, o que explica as manchas escuras no revestimento, explicitando a ausência de poças d'água na superfície do pavimento. A Figura 31 representa uma imagem da textura do revestimento da Av. Dom Luís seguida da demonstração de um dos diâmetros encontrados na realização do ensaio da mancha de areia. No apêndice A, encontram-se as imagens dos demais pontos estudados.

Figura 31 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Dom Luís

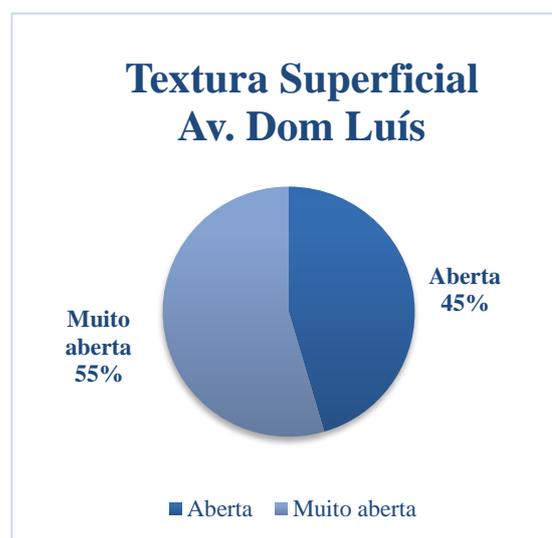


Fonte: Elaborado pela autora.

O ensaio de mancha de areia realizado na Av. Dom Luís tem seus resultados apresentados na Tabela 4, onde têm-se a média dos valores de HS, além do desvio padrão, coeficiente de variação e a classificação da textura superficial com auxílio gráfico.

Tabela 4 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Dom Luís

<b>AVENIDA DOM LUÍS</b>		
<b>Ponto</b>	<b>HS (mm)</b>	<b>Textura superficial</b>
<b>1</b>	1,10	Aberta
<b>2</b>	1,24	Muito aberta
<b>3</b>	1,19	Aberta
<b>4</b>	1,25	Muito aberta
<b>5</b>	1,30	Muito aberta
<b>6</b>	1,13	Aberta
<b>7</b>	1,45	Muito aberta
<b>8</b>	1,10	Aberta
<b>9</b>	1,56	Muito aberta
<b>10</b>	1,49	Muito aberta
<b>11</b>	1,17	Aberta
<b>Valor médio (mm)</b>		<b>1,27</b>
<b>Desvio Padrão (mm)</b>		<b>0,15</b>
<b>Coef. de Variação</b>		<b>12,1%</b>



Fonte: Elaborado pela autora.

Por ser uma avenida que apresentou um intervalo menor que duas semanas entre a aplicação do revestimento e o ensaio realizado, a média entre seus valores caracteriza seu revestimento com textura superficial muito aberta, com porcentagem de 55% para textura muito aberta e 45% para textura aberta, ou seja, sem a existência de colmatção e sem necessidade de manutenção para desobstrução dos seus vazios, enquadrando esse resultado à condição inicial (considerando o pavimento novo e sem utilização) do revestimento do tipo CPA.

O coeficiente de variação calculado, medida estatística que compara a variação dos dados com sua média, relacionando o desvio padrão e a média das dos valores de HS, pode apresentar o valor de 25% como parâmetro de homogeneidade para macrotextura, mencionado por Shimakura (2012), a depender, no entanto, das características que estão sendo analisadas. Desta forma, o coeficiente de variação da Av. Dom Luís foi de 12,1%, valor abaixo de 25%, o que pressupõe uma homogeneidade na textura do revestimento.

A Av. Santos Dumont está representada na Figura 32, do mesmo modo apresentado anteriormente, as setas representam os pontos de execução do ensaio e a linha pontilhada a divisão da faixa de veículos.

Figura 32 – Ponto de execução do ensaio – Av. Santos Dumont



Fonte: Elaborado pela autora.

Por sua vez, a textura superficial da Av. Santos Dumont está representada na Figura 33, seguida da ilustração do ensaio para obtenção da HS a partir do diâmetro, que foi exemplificado e é igual a 14,5 mm.

Figura 33 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Santos Dumont



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 5 mostra os resultados do ensaio de mancha de areia realizado na avenida Santos Dumont, onde têm-se a média de 21 valores de HS, juntamente com a variância, o desvio padrão, e a classificação da textura superficial com auxílio gráfico.

Tabela 5 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Santos Dumont

<b>AVENIDA SANTOS DUMONT</b>		
<b>Ponto</b>	<b>HS (mm)</b>	<b>Textura superficial</b>
1	1,45	Muito aberta
2	1,33	Muito aberta
3	1,60	Muito aberta
4	1,35	Muito aberta
5	1,35	Muito aberta
6	1,38	Muito aberta
7	1,48	Muito aberta
8	1,30	Muito aberta
9	1,45	Muito aberta
10	1,38	Muito aberta
11	1,42	Muito aberta
12	1,33	Muito aberta
13	1,22	Muito aberta
14	1,07	Aberta
15	1,05	Aberta
16	1,12	Aberta
17	1,27	Muito aberta
18	0,93	Aberta
19	1,17	Aberta
20	1,51	Muito aberta
21	1,30	Muito aberta
<b>Valor médio (mm)</b>		<b>1,31</b>
<b>Desvio Padrão (mm)</b>		<b>0,16</b>
<b>Coef. de Variação</b>		<b>12,4%</b>



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como na Av. Dom Luís, a classificação de textura superficial muito aberta ocorreu em maior grandeza quando comparada à porcentagem de pontos classificados como textura aberta, porém sua variação foi maior, onde a textura muito aberta apresentou 76% e a textura aberta apresentou 24%.

Como apresentado na tabela anterior, o valor médio de HS da Av. Santos Dumont foi de 1,31 mm, apresentando-se 3% maior do que o resultado da Av. Dom Luís, com 1,27 mm, por serem valores próximos, não demonstram muitas divergências quanto à capacidade de

infiltração da água precipitada. O coeficiente de variação foi de 12,4%, o que infere a característica de textura homogênea do revestimento.

Um dos trechos de realização do ensaio de mancha de areia na Av. Senador Virgílio Távora é demonstrado na Figura 34, as setas e a linha pontilhada ressaltam os pontos de realização do ensaio na trilha de roda do pavimento e a projeção da divisão das faixas. As manchas escuras na via são áreas ainda molhadas por conta da chuva na manhã no dia em que a imagem foi capturada (o ensaio não foi realizado no mesmo dia), não sendo possível identificar água acumulada na superfície, demonstrando o desempenho eficiente do revestimento do tipo CPA.

Figura 34 – Ponto de execução do ensaio – Av. Senador Virgílio Távora



Fonte: Elaborado pela autora.

As imagens apresentadas na Figura 35 demonstram uma textura visivelmente mais desgastada que as demais, representando o ensaio realizado na Av. Senador Virgílio Távora, aquela com maior tempo de utilização.

Figura 35 – Textura do revestimento e execução do ensaio – Av. Senador Virgílio Távora

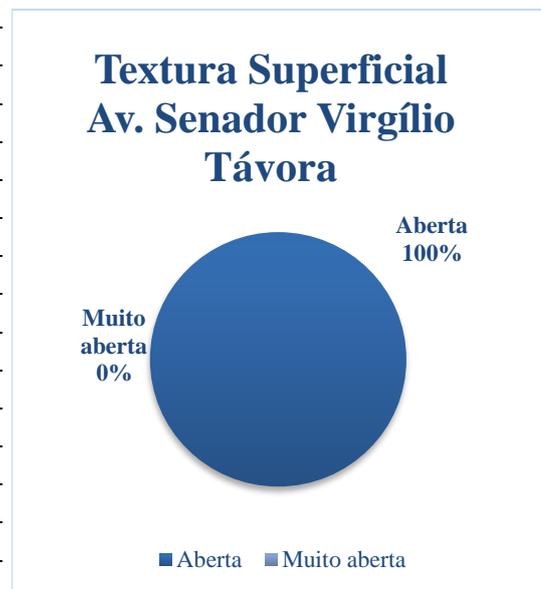


Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores de HS e a classificação da textura superficial com auxílio gráfico da Av. Senador Virgílio Távora estão apresentados na Tabela 6, constando o valor médio de altura da mancha de areia de 20 pontos.

Tabela 6 – Textura superficial e representação gráfica da Av. Senador Virgílio Távora

<b>AVENIDA SENADOR VIRGÍLIO TÁVORA</b>		
<b>Ponto</b>	<b>HS (mm)</b>	<b>Textura superficial</b>
1	0,90	Aberta
2	1,06	Aberta
3	1,04	Aberta
4	1,10	Aberta
5	1,06	Aberta
6	1,06	Aberta
7	1,15	Aberta
8	1,16	Aberta
9	1,17	Aberta
10	0,93	Aberta
11	0,94	Aberta
12	0,90	Aberta
13	0,87	Aberta
14	0,82	Aberta
15	0,93	Aberta
16	1,08	Aberta
17	0,96	Aberta
18	0,95	Aberta
19	0,93	Aberta
20	0,83	Aberta
<b>Valor médio (mm)</b>		<b>0,99</b>
<b>Desvio Padrão (mm)</b>		<b>0,11</b>
<b>Coef. de Variação</b>		<b>10,7%</b>



Fonte: Elaborado pela autora.

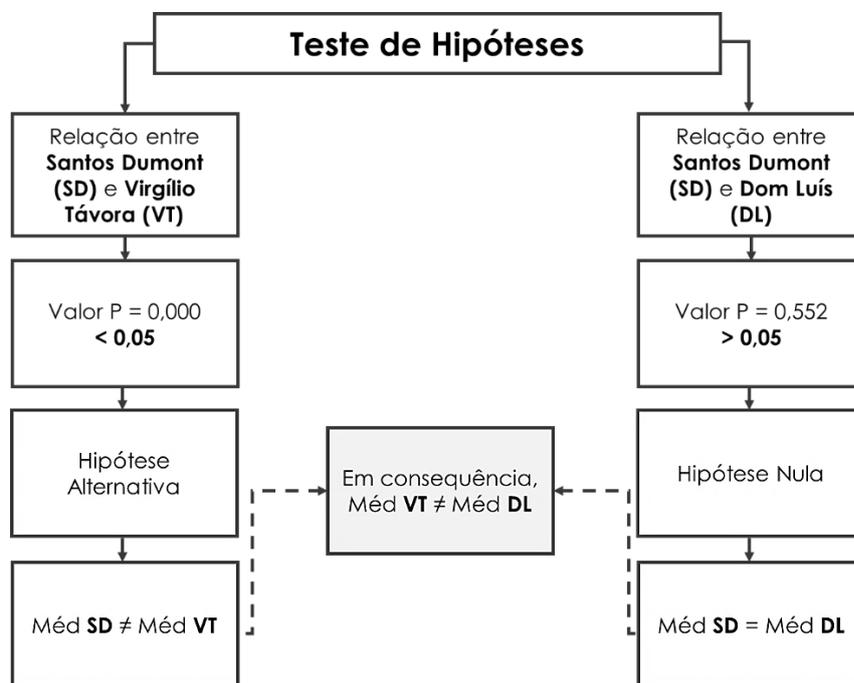
Em contrapartida, na Av. Senador Virgílio Távora foi verificada uma textura superficial aberta em sua totalidade. A via em questão foi executada aproximadamente 2 anos antes das demais, tendo maior tempo de uso e provável colmatação no revestimento, obstruindo seus vazios e reduzindo seu desempenho em relação à drenabilidade. Desta forma, o valor médio da mancha de areia foi de 0,99 mm.

Apesar da diferença entre o resultado desta com as demais vias, ela apresenta valor satisfatório de HS, na qual a CPA consegue desempenhar sua função de maneira eficiente. O cálculo do coeficiente de variação resultou em um valor de 10,7%, evidenciando a homogeneidade da textura do revestimento, assim como nas outras duas avenidas.

#### 4.1.1. Comparação entre hipóteses para as médias de profundidade da mancha de areia

Em complemento, as médias de HS também foram comparadas utilizando o teste de hipóteses por meio do programa Minitab 17 *Statistical Software*, como explicitado na metodologia deste trabalho. O fluxograma exposto na Figura 36 mostra a análise realizada.

Figura 36 – Fluxograma do Teste de Hipóteses.



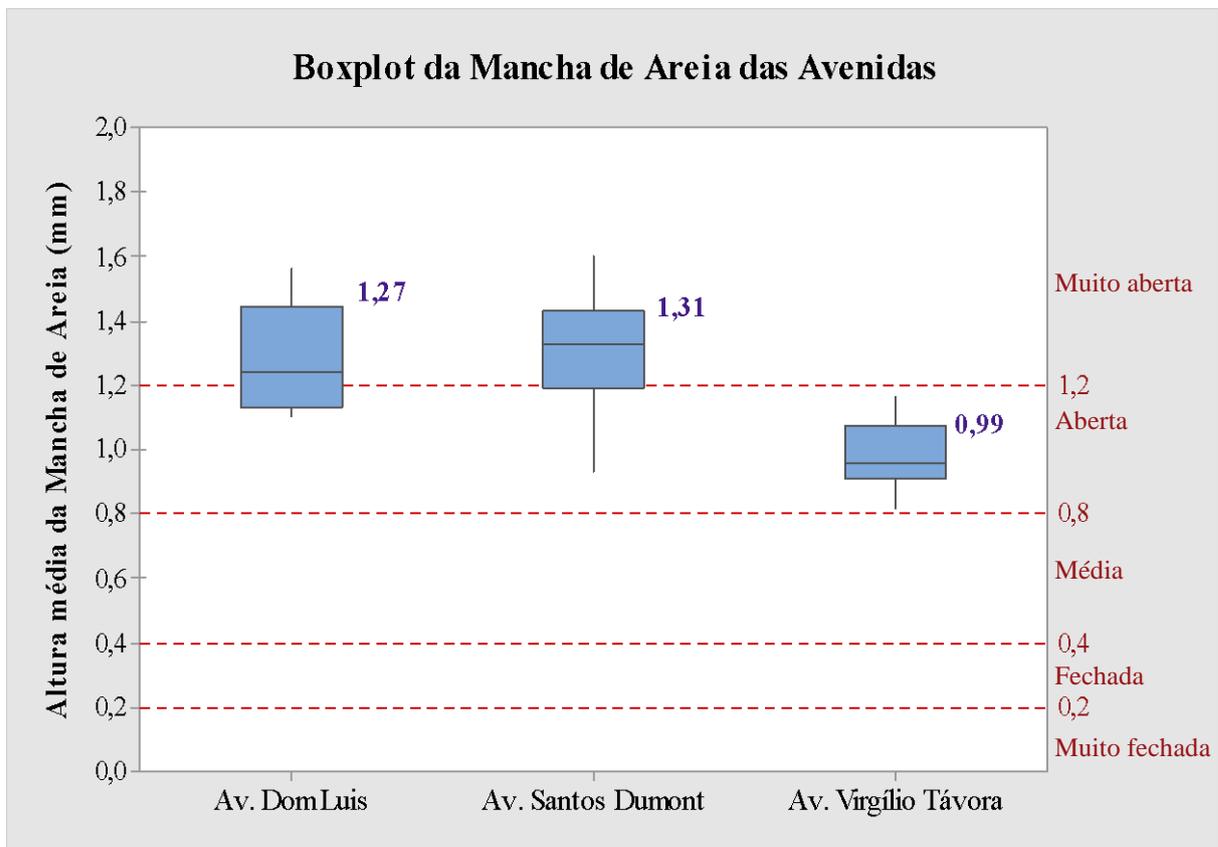
Fonte: Elaborado pela autora.

Desta forma, a média de HS analisada da Av. Dom Luís e Av. Santos Dumont são consideradas iguais, tendo em vista a pequena variação entre elas e a hipótese nula apresentada, e a média da Av. Senador Virgílio Távora é diferente das outras duas avenidas.

#### 4.1.2. Comparação entre valores de profundidade da mancha de areia

Para análise comparativa entre as avenidas foi utilizado o Gráfico 1, do tipo *Boxplot*, obtido através do programa *Minitab 17 Statistical Software*, que possibilita a visualização do valor médio entre as alturas médias de mancha de areia (valor destacado ao lado dos boxes na área do gráfico), bem como a mediana, a relação dos valores entre os intervalos de HS estabelecidos e a dispersão dos resultados do ensaio

Gráfico 1 – Comparação de HS entre as avenidas.



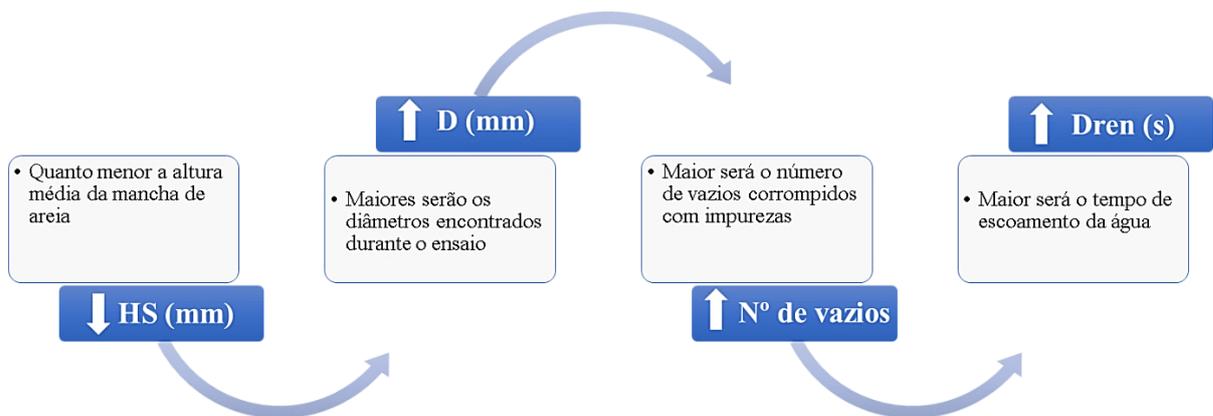
Fonte: Elaborado pela autora.

As médias de HS nas avenidas estão apresentadas junto aos seus boxes e a direita do gráfico está representado os intervalos de HS estabelecidos para caracterização da textura superficial do revestimento, como especificado na Tabela 2. Percebe-se ainda a predominância de valores acima de 1,2 mm para as Avenidas Dom Luís e Santos Dumont. Ademais, observa-se no gráfico *Boxplot* a diferença de tamanho dos boxes de cada avenida, quanto menor o tamanho da caixa, menor é a variação dos dados analisados, desta forma a Av. Senador Virgílio Távora possuiu a menor variação entre os seus dados quando comparado aos das demais avenidas.

#### 4.2. Análise comparativa entre profundidade da mancha de areia e drenabilidade

A partir dos resultados de HS foi possível analisar a permeabilidade dos pontos estudados através da formulação de drenabilidade (Dren), apresentada por Ferreira (2002), sendo aplicada em cada ponto das três avenidas. A relação existente entre esses valores é inversamente proporcional, pois quanto menor os valores de HS (mm), maior será o valor de Dren (s). Como pode ser observado na Figura 37, dá-se essa correlação porque menores valores de HS expressam maiores diâmetros obtidos com a mancha de areia, portanto, poros mais obstruídos por impurezas, possuindo um maior tempo no escoamento de água.

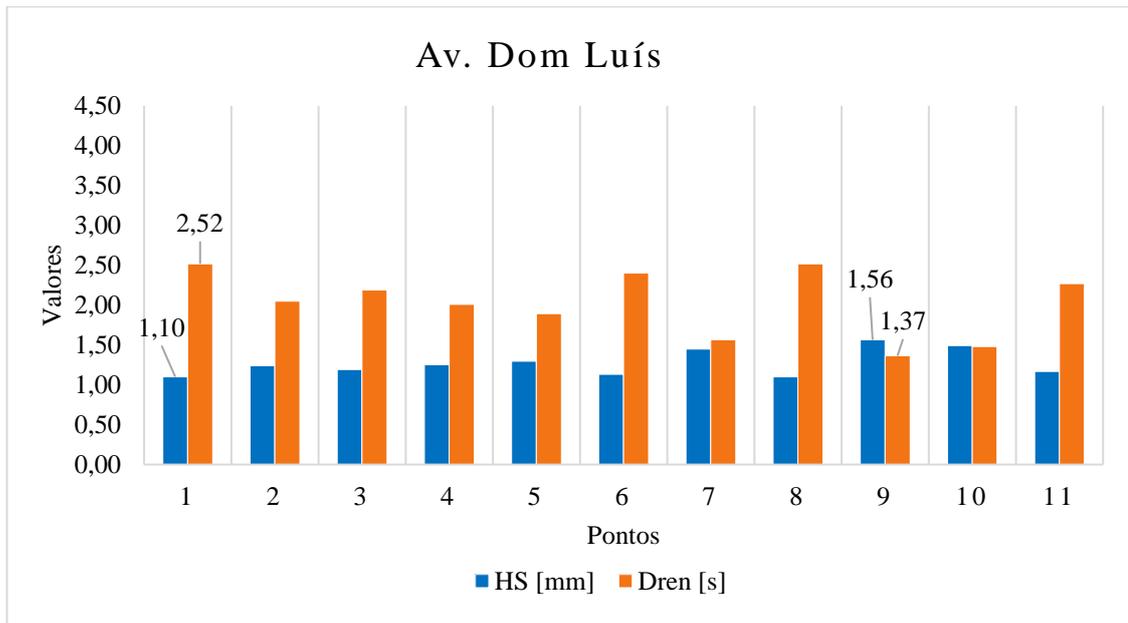
Figura 37 – Relação entre HS e Dren



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do Gráfico 2, com os valores de Dren obtidos através do ensaio de mancha de areia na Av. Dom Luís, observa-se que no Ponto 1 o menor valor de HS, 1,10 mm, está relacionado ao maior valor de Dren, 2,52 s. De maneira oposta ao resultado apresentado, no Ponto 9 têm-se o maior valor de HS, 1,56 mm, associado ao menor valor de Dren, de 1,37 s, sendo o tempo estimado para que a água pudesse escoar pelo revestimento.

Gráfico 2 – HS x Dren – Av. Dom Luís.

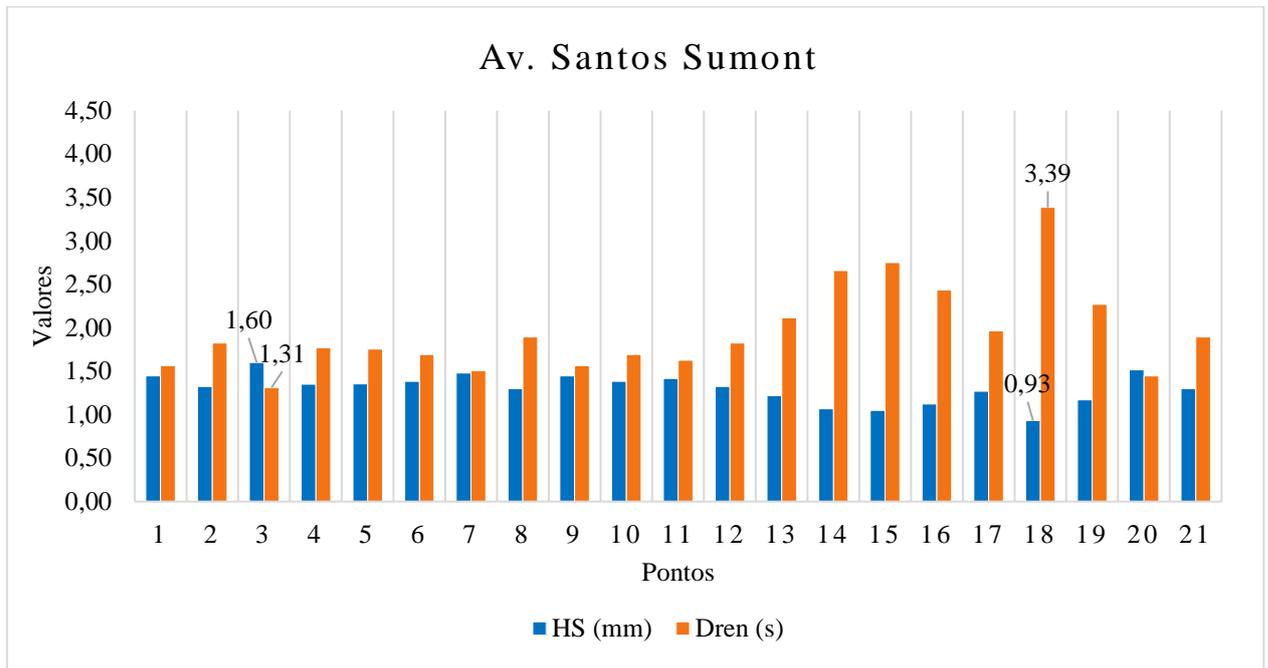


Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando o valor médio de HS da Av. Dom Luís, de 1,27 mm, e a partir dos dados apresentados no gráfico anterior, é possível obter um tempo médio de escoamento de água na superfície do revestimento aplicado na Av. Dom Luís de Dren méd = 2,02 s.

A relação entre HS e Dren da Av. Santos Dumont está exposta no Gráfico 3, onde segue a proporcionalidade observada na Figura 37, no qual o Ponto 18 apresenta o menor valor de HS, com 0,93 mm, associado ao maior valor de Dren de 3,39 s. Verificando a relação contrária nos valores do Ponto 3, onde HS tem seu maior valor igual a 1,60 mm e Dren com 1,31 s.

Gráfico 3 – HS x Dren – Av. Santos Dumont.

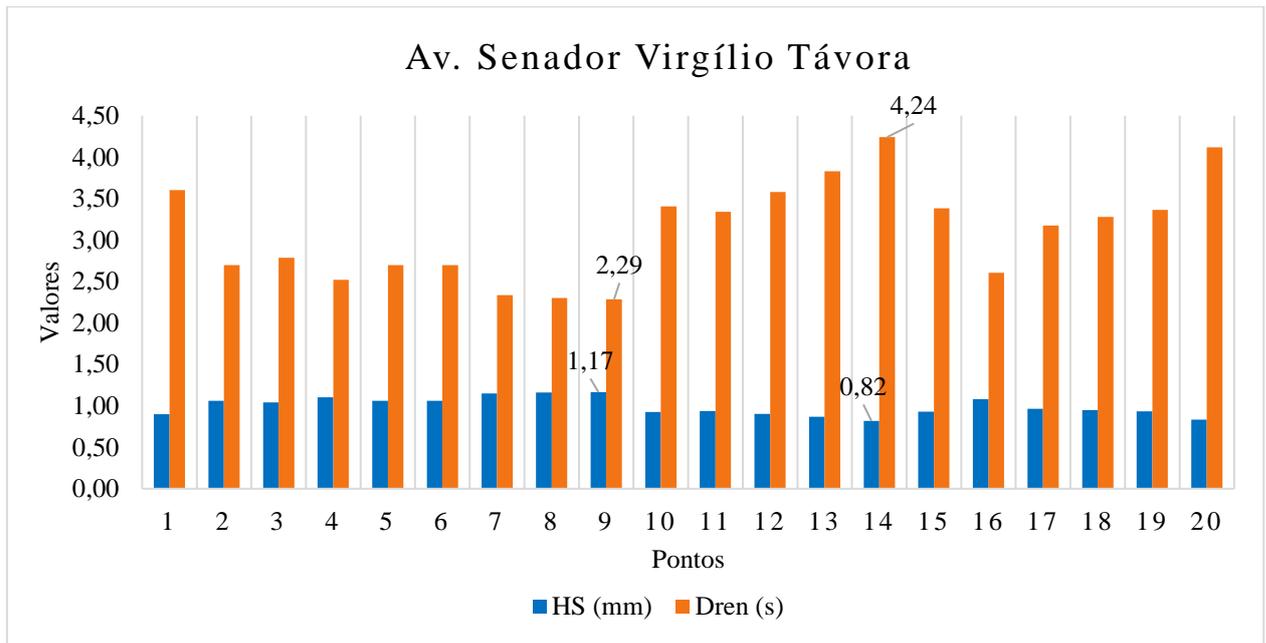


Fonte: Elaborado pela autora.

Com a média de HS sendo de 1,31 mm, a média de drenabilidade da Av. Santos Dumont é de Dren méd = 1,95 s, sendo aproximadamente 3% menor do que a média do tempo de escoamento superficial apresentada na Av. Dom Luís.

Os resultados da Av. Senador Virgílio Távora, como demonstrado no Gráfico 4, se apresentaram diferentes das demais avenidas, visto que sua textura é a única classificada como aberta, evidentemente, sem excluir a funcionalidade do revestimento do tipo CPA. O seu menor valor de HS, de 0,82 mm, apresentado no Ponto 14, está associado ao maior valor de Dren, de 4,24 s, constando o maior valor de drenabilidade entre as três avenidas. Já o maior valor de altura média, de 1,17 mm, apresenta Dren igual a 2,29 s, indicados no Ponto 9.

Gráfico 4 – HS x Dren – Av. Senador Virgílio Távora.



A média dos valores de HS da Av. Senador Virgílio Távora é de 0,99 mm, e a Dren méd = 3,11 s, aproximadamente 37% maior do que a média de drenabilidade da Av. Santos Dumont, apresentando assim um desempenho muito inferior quando relacionado à velocidade de escoamento superficial.

O valor de menor tempo de drenabilidade, de 2,29 s, da Av. Senador Virgílio Távora, se assemelha ao maior valor de drenabilidade, de 2,52 s, da Av. Dom Luís, ou seja, os extremos de melhor capacidade drenante no revestimento podem ser justificados pelo tempo de utilização da via, o maior desgaste superficial e a necessidade de manutenção e limpeza, pois estes fatores podem vir a impedir a infiltração da água pelos vazios da CPA.

#### 4.3. Resultados do ensaio de Permeabilidade

De acordo com a formulação apresentada na revisão bibliográfica deste trabalho, na qual foi concebida para um revestimento convencional de CAUQ, um comparativo pode ser feito relacionando os valores obtidos através do drenômetro (OFT), com a altura média da mancha de areia (HS), apresentados no Quadro 2. O drenômetro foi utilizado para medir a vazão de água percolada nos vazios existentes no revestimento, no caso deste trabalho, do tipo CPA, obtendo o valor de profundidade volumétrica de textura (MTD), em mm, possibilitando a comparação deste último com a HS.

Quadro 2 - Valores obtidos a partir do drenômetro – MTD x HS

Av. Dom Luis				Av. Santos Dumont				Av. Senador Virgílio Távora			
Ponto	OFT (s)	MTD (mm)	HS (mm)	Ponto	OFT (s)	MTD (mm)	HS (mm)	Ponto	OFT (s)	MTD (mm)	HS (mm)
2	4,35	1,35	1,24	3	2,42	1,92	1,60	4	3,54	1,52	1,10
4	2,76	1,76	1,25	5	2,50	1,88	1,35	7	3,12	1,63	1,15
7	3,39	1,55	1,45	14	2,65	1,81	1,07	12	3,66	1,49	0,90
10	2,50	1,88	1,49	16	3,14	1,63	1,12	18	4,67	1,30	0,95
<b>Média</b>		1,64	1,36	<b>Média</b>		1,81	1,29	<b>Média</b>		1,48	1,03
<b>Desvio Padrão</b>		0,20	0,11	<b>Desvio Padrão</b>		0,11	0,21	<b>Desvio Padrão</b>		0,12	0,10
<b>Coef. Variação</b>		12%	8%	<b>Coef. Variação</b>		6%	16%	<b>Coef. Variação</b>		8%	10%

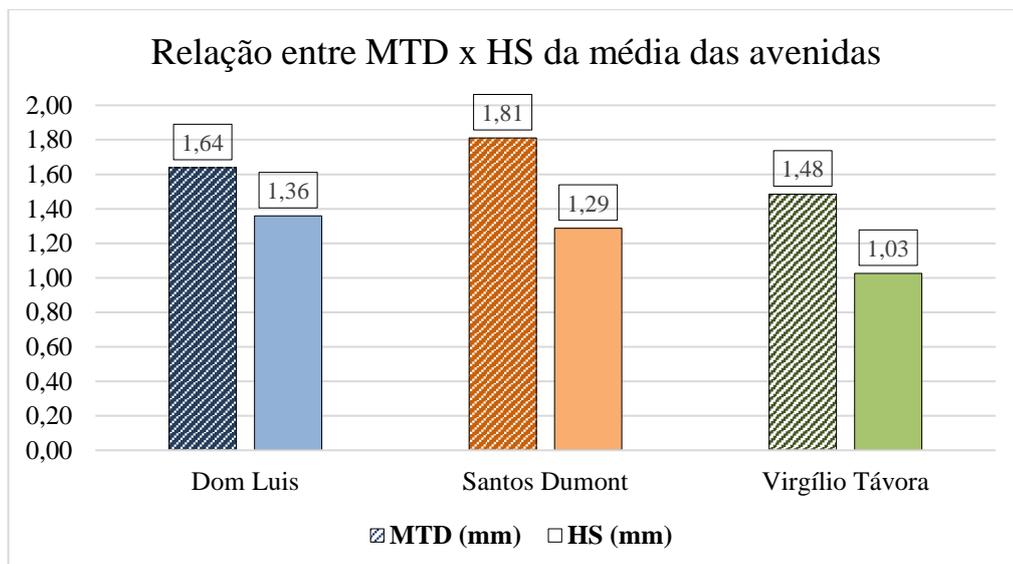
Fonte: Elaborado pela autora.

O local específico para o ensaio com o drenômetro foi correspondente a alguns pontos de execução do ensaio de mancha de areia, portando, o ponto indicado na tabela é aquele equivalente ao HS apresentado.

A relação entre as médias de MTD e HS da Av. Dom Luís demonstram uma diferença de 17%, sendo menor do que na Av. Santos Dumont, que apresentou uma diferença de 29% entre os valores. A Av. Senador Virgílio Távora apresentou a maior diferença, com 30%, observando uma grande variação entre MTD e HS para as três avenidas. Por outro lado, a partir do coeficiente de variação (CV), observa-se que os dados são homogêneos.

O Gráfico 5 demonstra a relação entre as médias dos valores de MTD e HS apresentados na tabela anterior.

Gráfico 5 – Relação entre MTD e HS



Fonte: Elaborado pela autora.

Tecnicamente os valores médios entre MTD e HS devem apresentar uma pequena variação entre si, pois objetivam encontrar o mesmo resultado, isto é, a profundidade média de areia nos vazios. No entanto, os ensaios dependem do operador e de sua maneira de execução, além disso, como especificado pela ASTM (2005), não são recomendados para pavimentos com maior número de vazios, podendo apresentar resultados não condizentes com a realidade. Desta forma, os valores de altura média obtidos a partir do drenômetro se apresentaram maiores por conta das condições do ensaio, tendo em vista a superfície porosa em que foi executado.

A ASTM (2005) afirma que o ensaio com uso do drenômetro é uma medição da textura da superfície e não é responsável pelo fluxo de água que decorre através dos poros do revestimento, principalmente em superfícies altamente porosas, isto posto, não convém correlacionar os valores de HS e MTD no revestimento do tipo CPA.

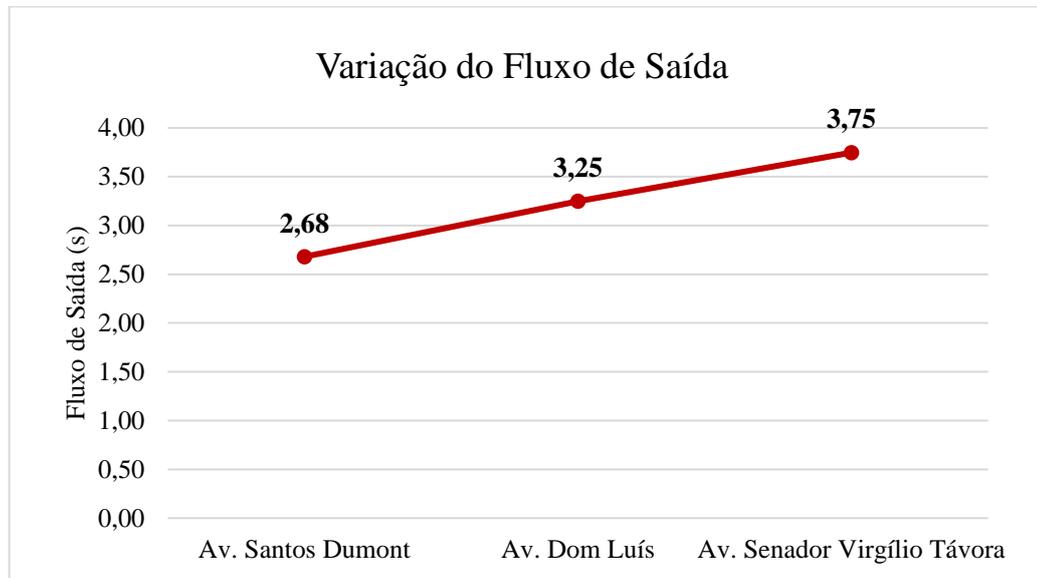
É provável que os resultados de HS manifestem maior veracidade, apesar de que é aconselhável para intervalos entre 0,5 mm e 1,2 mm, uma vez que são efetuados diretamente no revestimento, obtendo o resultado da altura de areia por meio de formulações matemáticas, assim, as únicas variáveis existentes são os diâmetros encontrados. Todavia, embora os valores de MTD também sejam provenientes de formulações, estes apresentam outras variáveis que podem modificar os resultados, visto que deriva da vazão obtida através do drenômetro e de valores pré estabelecidos na fórmula disponibilizada pela ASTM (2005).

Por conseguinte, a ASTM E 2380 (2005) afirma que o ensaio com uso do drenômetro é uma medição da textura da superfície e não é responsável pelo fluxo de água que decorre através dos poros do revestimento, principalmente em superfícies altamente porosas, isto posto, não convém correlacionar os valores de HS e MTD no revestimento do tipo CPA.

#### *4.3.1. Comparação e análise da capacidade drenante*

A partir do Gráfico 6, com as médias dos valores de fluxo de saída de cada avenida foi possível observar a variação da capacidade drenante do revestimento no período estudado. A relação entre o valor de OFT e a infiltração de águas através dos poros do revestimento ocorre de forma inversa, tendo em vista que o ensaio não é responsável por este fluxo.

Gráfico 6 – Capacidade Drenante do Pavimento



Fonte: Elaborado pela autora.

A ASTM (2005) pondera que um tempo de escape mais rápido indica que pode existir uma menor quantidade de água entre o pneu e o pavimento, ou seja, parte dessa água infiltra no revestimento deixando a superfície livre, portanto, mais atrito disponível para o pneu. Logo, quanto mais água flui pela abertura do equipamento (na qual mede-se o tempo com o cronômetro), menos água atravessa os vazios do revestimento, certamente devido algum tipo de obstrução.

Como demonstrado no Gráfico 6, houve um aumento do tempo de OFT para o revestimento da Av. Senador Virgílio Távora, indicando menor percolação de água através dos vazios da CPA. Portanto, os valores demonstram uma redução da capacidade drenante para a Av. Senador Virgílio Távora, quando comparada à Av. Santos Dumont, após cerca de 2 anos em serviço. Vale ressaltar, que a Av. Senador Virgílio Távora é a mais antiga entre as vias estudadas, além disso, não passou por nenhum tipo de manutenção ou limpeza destinada a recompor a textura do pavimento.

Para mais, o ensaio permite alcançar os valores de capacidade real de drenagem em pavimentos recém executados, assim, mesmo em revestimento poroso, os valores de OFT obtidos para as Avenidas Dom Luís e Santos Dumont possivelmente revelam a capacidade de drenagem da CPA aplicada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou a macrotextura do revestimento do tipo CPA nas vias estudadas por meio da análise e comparação entre os ensaios de mancha de areia e permeabilidade, alcançando a classificação da textura e o desempenho da via em relação à drenagem superficial. Desta forma, se baseou nos seguintes objetivos específicos:

- I) Classificar a macrotextura e a permeabilidade do pavimento do tipo CPA por meio do ensaio de mancha de areia e ensaio de drenabilidade;
- II) Verificar a correlação existente entre os resultados obtidos com os dois ensaios;
- III) Analisar a altura média da mancha de areia e a capacidade de infiltração de água entre pavimentos com diferentes idades de execução e de uso do revestimento;
- IV) Comparar o desempenho do CPA relacionado a drenagem superficial nos pavimentos estudados;

Com base no que foi exposto, o trabalho seguiu as metas apresentadas para cada etapa de avaliação de resultados, visando auxiliar no desenvolvimento de mecanismos para a classificação da textura de um revestimento do tipo CPA, assim como o reconhecimento de sua capacidade de escoamento superficial.

Dito isso, os valores de altura média da mancha de areia (HS) da Av. Senador Virgílio Távora, inferiores aos das demais avenidas, são justificados pelo tempo de utilização da via, a qual apresenta revestimento desgastado e seus vazios obstruídos. Com os dados apresentados neste trabalho, as condições da via não prejudicam sua funcionalidade de drenagem superficial, mas os efeitos de aplicação de cargas provenientes dos veículos certamente aumentarão com o passar dos anos, além do acúmulo de impurezas, detritos ou materiais oriundos do desgaste dos pneus, influenciando na estrutura do revestimento e exigindo a limpeza e a manutenção corretiva da superfície.

Por outro lado, deve-se lembrar que a validação do ensaio da mancha de areia ocorre dentro no intervalo de 0,5 mm e 1,2 mm de HS, para um revestimento sem grandes vazios na superfície. No entanto, tendo em vista que um revestimento do tipo Camada Porosa de Atrito – CPA deve apresentar seu valor médio de  $HS \geq 0,8$  mm, por se tratar de uma superfície porosa, as três avenidas estudadas apresentaram resultados satisfatórios quanto à macrotextura, classificadas entre textura aberta a muito aberta.

Uma importante análise que auxiliou na verificação da mancha de areia foi o teste de hipóteses, que permitiu a consideração de igualdade entre as médias de HS das Avenidas Dom Luís e Santos Dumont. Tal afirmação se compara à proximidade dos períodos de execução do revestimento entre elas, ou seja, as duas apresentam textura nas condições iniciais do revestimento, sendo assim uma superfície nova, sem tempo de uso em serviço e sem necessidade de manutenção ou limpeza.

Os valores de drenabilidade encontrados por meio da HS apresentaram-se coerentes quando relacionado ao funcionamento da CPA, no qual o menor valor da profundidade média da mancha de areia resulta em um maior tempo de escoamento superficial. Tendo em vista os valores de drenabilidade encontrados de 2,02s, 1,95s e 3,11s, para as Avenidas Dom Luís, Santos Dumont e Senador Virgílio Távora respectivamente, percebe-se que aquela com revestimento mais antigo e textura mais desgastada e obstruída por impurezas apresenta um maior tempo de escoamento.

Os resultados obtidos a partir do drenômetro, apesar de uma visível variação, apresentaram homogeneidade em seus dados para as três avenidas estudadas, característica fundamentada pelas baixas porcentagens do coeficiente de variação (CV), o qual relaciona o desvio padrão sobre a média dos valores de profundidade volumétrica de textura (MTD). No entanto, não há eficácia em correlacionar os valores de MTD e HS devido à inadequação dos ensaios para pavimentos com maior número de vazios, no caso, a CPA. Porém, como apresentado nas formulações de cada ensaio, os valores obtidos a partir da mancha de areia apresentam menos variáveis que podem interferir no resultado, tornando-o supostamente mais preciso, quando relacionado ao MTD, para a avaliação da macrotextura da CPA.

Ademais, os ensaios são influenciados pelo operador, sendo assim suscetíveis a variedades na execução, o que pode explicar, aliado a elevada porosidade do revestimento, os altos valores obtidos de MTD. De certa forma, os valores de fluxo de saída (OFT) provenientes do ensaio com o drenômetro podem vir a fornecer a capacidade drenante real do revestimento, mesmo que não seja adequado para uma CPA. Por conseguinte, foi constatada uma redução da capacidade drenante para a Av. Senador Virgílio Távora quando comparada a Av. Santos Dumont, tendo em vista seu maior tempo em serviço e possível desgaste do revestimento. Assim, com uma maior quantidade de pontos estudados, essa capacidade poderia ser comprovada para um revestimento poroso.

De modo geral, todas as avenidas apresentaram um valor de macrotextura condizente para um revestimento do tipo drenante, no caso, CPA, possuindo um bom funcionamento quanto à diminuição do escoamento superficial e aos efeitos da aquaplanagem, auxiliando na

segurança e no conforto proporcionado pelo pavimento e reduzindo o número de acidentes em períodos chuvosos.

Desta forma, para trabalhos futuros, considera-se válida a execução dos dois ensaios no revestimento do tipo CPA com grande variedade de amostras, podendo embasar os resultados de forma a encontrar um parâmetro de drenabilidade para revestimentos porosos, e assim analisar a capacidade drenante ideal. Por consequência, a pesquisa forneceria a possibilidade de comparação entre a capacidade drenante e a classificação da macrotextura do revestimento. Além disso, a análise da macrotextura por meio do Processamento Digital de Imagens é de grande relevância, possibilitando a comparação entre a porcentagem de vazios na textura e o estudo da sua capacidade drenante. Para tanto, é pertinente a verificação da melhoria em relação a segurança utilizando a análise comparativa entre o número de acidentes antes e depois da aplicação do revestimento do tipo CPA.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Alessandro *et al.* Estudo acústico de tráfego rodoviário rodante sobre pavimentos em concreto asfáltico e com camada porosa de atrito na rodovia BR 158/RS. **Transportes**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.47-62, 28 dez. 2018. Lepidus Tecnologia.  
<http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v26i4.1410>.

APS, Márcia. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI (International Friction Index) para revestimentos asfálticos**. 2006. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11122006-144825/pt-br.php>. Acesso em: 26 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Melhores Práticas – Pavimento Intertravado Permeável**. São Paulo: ABCP, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 25 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 16504**: Misturas asfálticas - Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria - Método da mancha de areia. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 37 p.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E2380-05, Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter, **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2005.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E965-96, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, **ASTM International**, Pennsylvania, Estados Unidos, 1996.

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

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos permeáveis para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/publico/Dissertacao\\_Rafael\\_Batezin.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/publico/Dissertacao_Rafael_Batezin.pdf). Acesso em: 12 set. 2019.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010. 504 p.

CALLAI, Sérgio Copetti. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São

Paulo, 2011. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011-171244/publico/Dissertacao\\_Sergio\\_Callai.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011-171244/publico/Dissertacao_Sergio_Callai.pdf). Acesso em: 05 set. 2019.

DAIBERT, Raphael Ferreira *et al.* **Estudo da aplicação de camada porosa de atrito (CPA) para redução de acidentes em dias chuvosos em trecho experimental.** In: 9º Congresso Rodoviário Português, 2019, Portugal. Conference Paper. Portugal, 2019. p. 1 - 10.

Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. **DNER-ES 386/99: Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito.** Rio de Janeiro: DNER, 1999.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos:** DNIT. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006a. 310 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Pavimentação:** DNIT. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006b. 274 p.

FAA, Federal Aviation Administration. Measurement, construction and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces. Advisory Circular – **AC 150/5320-12C.** FAA, 1997 United States Department of Transportation. Washington, DC.

FEHRL. Silva. **Guidance Manual for the Implamentation of low -noise road surfaces.** FEHRL. Bélgica, Bruxelas: 2006. 318 p.

FERREIRA, Patrícia Nunes. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis.** 2002. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/83763>. Acesso em: 27 set. 2019.

FONTENELE, Pedro Siqueira. **Avaliação da macrotextura de camada porosa de atrito em serviço por processamento digital de imagens.** 2019. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

FORTALEZA. Prefeitura de Fortaleza. **Plano de Ações Imediatas de Transporte e Trânsito – PAITT.** 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/20333673-Paitt-plano-de-aco-es-imed-iatas-de-transporte-e-transito-coletiva-de-imprensa-16-de-julho-de-2015.html>. Acesso em: 26 set. 2019.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. **Prefeitura de Fortaleza realiza obras de urbanização e acessibilidade na Avenida Dom Luís.** 2019. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-realiza-obras-de-urbanizacao-e-acessibilidade-na-avenida-dom-Luis>. Acesso em: 10 jan. 2020.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. Secretaria Municipal da Infraestrutura. **Prefeitura realiza intervenções na extensão do Binário da Avenida Santos Dumont.** 2019. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-realiza-intervencoes-na-extensao-do-binario-da-avenida-santos-dumont>>. Acesso em: 08 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Prefeitura de Fortaleza. Secretaria Municipal da Infraestrutura. **Prefeitura de Fortaleza realiza obras de recapeamento asfáltico na Av. Senador Virgílio Távora.** 2018.

Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-realiza-obras-de-recapamento-asfaltico-na-av-senador-virgilio-tavora>>. Acesso em: 10 set. 2019.

HAAS, Ralph; HUDSON, W. Ronald; FALLS, Lynne Cowe. **Pavement Assent Management**. Canada: Scrivener Publishing, 2015. 428 p.

HÖLTZ, Fabiano da Costa. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>. Acesso em: 11 set. 2019.

ICETRAN, Instituto de Certificação e Estudos de Trânsito e. **Aquaplanagem: como evitar e reagir a ela?** 2019. 1 fotografia. Disponível em: <<https://icetran.com.br/blog/aquaplanagem-como-evitar-e-reagir-a-ela/>>. Acesso em: 08 set. 2019.

JÚNIOR, José Antonio A. **Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil**. 7. ed. São Paulo: Sinicesp, 2012. 6 p.

KOOHMISHI, Mehdi; SHAFABAKHSH, Gholamali. **Drainage potential of reservoir course of porous pavement for various particle size distributions of aggregate**. Transportation Geotechnics (2018). doi: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.07.002>.

LUGÃO, Wilson Gandini. **Análise da aderência entre pneu e pavimento com camada porosa de atrito no aeroporto internacional Tancredo Neves - MG**. 2010. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/805/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 ago. 2019.

LUGO, Alvarez Alex E.; ORTIZ, Reyes Oscar J.; MIRÓ, Rodrigo. **A review of the characterization and evaluation of permeable friction course mixtures** *Inginiere*. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 22, núm. 4, octubre, 2014, pp. 469-482.

MARCHIONI, Mariana L.; MAYOR, Arcindo Vaquero y. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável**. São Paulo: ABCP, 2013. Prática Recomendada PR-3.

MARCHIONI, Mariana. **Porous surfaces for permeable pavement: clogging and filtration mechanisms**. 2018. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Politecnico di Milano, Milão, 2018.

MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30215/000778679.pdf?sequence>. Acesso em: 05 set. 2019.

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

OLIVEIRA, Aléxia Grassuri Barreto de. **Estudos preliminares de mistura asfáltica do tipo CBUQ estocável para uso em pavimentação no estado de Goiás.** 2017. 67 f. 2 fotografia. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDOS\\_PRELIMINARES\\_DE\\_MISTURA\\_A\\_SF%C3%81LTICA\\_DO\\_TIPO\\_CBUQ\\_ESTOC%C3%81VEL\\_PRA\\_USO\\_EM\\_PAVIMENTA%C3%87%C3%83O\\_NO\\_ESTADO\\_DE\\_GOI%C3%81S.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDOS_PRELIMINARES_DE_MISTURA_A_SF%C3%81LTICA_DO_TIPO_CBUQ_ESTOC%C3%81VEL_PRA_USO_EM_PAVIMENTA%C3%87%C3%83O_NO_ESTADO_DE_GOI%C3%81S.pdf). Acesso em: 30 set. 2019.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de *et al.* A evolução da sustentabilidade na prática da remoção de borracha acumulada em pistas de pouso e decolagem. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 72., 2015, Fortaleza. **Anais.** Fortaleza: SOEA, 2015. p. 1 - 4.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. **Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: estudo de caso do aeroporto internacional de fortaleza.** 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4866/1/2009\\_dis\\_fhloiveira.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4866/1/2009_dis_fhloiveira.pdf). Acesso em: 10 out. 2019.

ONO, Bruno Watanabe; BALBO, José Tadeu; CARGNIN, Andréia. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Transportes**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.90-101, 29 out. 2017. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1314>.

PEDER, Marlon Alexandre de. **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico de um trecho de rodovia localizada no noroeste do estado do Paraná.** 2017. 48 f. TCC (Bacharelado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8039/1/macrotexturapavimentoasfaltico.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

PINTO, Salomão; PINTO, Issac Eduardo. **Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos.** Rio de Janeiro: LTC, 2015. 731 p.

RODRIGUES FILHO, Oswaldo Sansone. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários - estudo de caso do aeroporto internacional de São Paulo/Congonhas.** 2006. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01122006-142419/publico/OswaldoSansoneRodriguesFilho.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2019.

ROSSI, Ana Carolina. **Etapas de uma obra de pavimentação e dimensionamento de pavimento para uma via na Ilha do Fundão.** 2017. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019646.pdf>. Acesso em: 01 set. 2019.

SHIMAKURA, Silvia. **Introdução à probabilidade e aplicação em testes diagnósticos**. 2012. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/~silvia/CE055/>. Acesso em: 07 fev. 2020.

SILVA, Carlos Eduardo del Ben Dias da. **Estudo da permeabilidade de misturas asfálticas de graduação aberta**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258209/1/Silva\\_CarlosEduardoDelBenda\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258209/1/Silva_CarlosEduardoDelBenda_M.pdf). Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVA, João Paulo Souza. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3470/1/Dissert\\_JoaoPauloSouzaSilva.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3470/1/Dissert_JoaoPauloSouzaSilva.pdf). Acesso em: 09 out. 2019.

SOUSA, Elisa da Silva. **Verificação do parâmetro de macrotextura de pavimentos em serviço por meio do processamento digital de imagens**. 2018. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40414/1/2018\\_tcc\\_essousa.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40414/1/2018_tcc_essousa.pdf). Acesso em: 17 nov. 2019.

SPECHT, Luciano Pivoto *et al.* **Avaliação do ruído causado pelo tráfego de veículos em diferentes rodovias**. 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/21702396/Avalia%C3%A7%C3%A3o\\_Do\\_Ru%C3%ADdo\\_Causado\\_Pelo\\_Tr%C3%A1fego\\_De\\_Ve%C3%ADculos\\_Em\\_Diferentes\\_Rodovias](https://www.academia.edu/21702396/Avalia%C3%A7%C3%A3o_Do_Ru%C3%ADdo_Causado_Pelo_Tr%C3%A1fego_De_Ve%C3%ADculos_Em_Diferentes_Rodovias). Acesso em: 23 ago. 2019.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH JÚNIOR, Felipe Issa. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 241 p.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Elementos de drenagem urbana utilizando concreto permeável**. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/vitrinetecnologica/maquinas-e-equipamentos/elementos-de-drenagem-urbana-utilizando-concreto-permeavel/>. Acesso em: 08 set. 2019.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao\\_Afonso\\_Luis\\_Correa\\_de\\_Virgiliis.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf). Acesso em: 18 jul. 2019.

**APÊNDICE A – IMAGENS DO ENSAIO DA MANCHA DE AREIA COM A  
PROFUNDIDADE MÉDIA DE CADA PONTO**

Avenida Dom Luís

**Ponto 1**



HS = 1,10 mm

**Ponto 2**



HS = 1,24 mm

**Ponto 3**



HS = 1,19 mm

**Ponto 4**



HS = 1,25 mm

**Ponto 5**



HS = 1,30 mm

**Ponto 6**



HS = 1,13 mm

**Ponto 7**



HS = 1,45 mm

**Ponto 8**



HS = 1,10 mm

**Ponto 9**



HS = 1,56 mm

**Ponto 10**



HS = 1,49 mm

**Ponto 11**



HS = 1,17 mm

Fonte: Elaborado pela autora.

**Avenida Santos Dumont**

**Ponto 1**



HS = 1,45 mm

**Ponto 2**



HS = 1,33 mm

**Ponto 3**



HS = 1,60 mm

**Ponto 4**



HS = 1,35 mm

**Ponto 5**



HS = 1,35 mm

**Ponto 6**



HS = 1,38 mm

**Ponto 7**



HS = 1,48 mm

**Ponto 8**



HS = 1,30 mm

**Ponto 9**



HS = 1,45 mm

**Ponto 10**



HS = 1,38 mm

**Ponto 11**



HS = 1,42 mm

**Ponto 12**



HS = 1,33 mm

**Ponto 13**



HS = 1,22 mm

**Ponto 14**



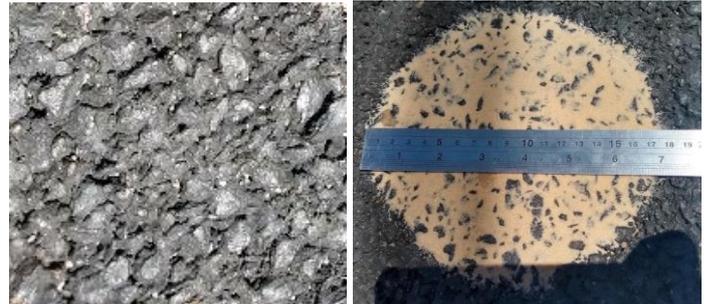
HS = 1,07 mm

**Ponto 15**



HS = 1,05 mm

**Ponto 16**



HS = 1,12 mm

**Ponto 17**



HS = 1,27 mm

**Ponto 18**



HS = 0,93 mm

**Ponto 19**



HS = 1,17 mm

**Ponto 20**



HS = 1,51 mm

**Ponto 21**



HS = 1,30 mm

Fonte: Elaborado pela autora.

Avenida Senador Virgílio Távora

**Ponto 1**



HS = 0,90 mm

**Ponto 2**



HS = 1,06 mm

**Ponto 3**



HS = 1,04 mm

**Ponto 4**



HS = 1,10 mm

**Ponto 5**



HS = 1,06 mm

**Ponto 6**



HS = 1,06 mm

**Ponto 7**



HS = 1,15 mm

**Ponto 8**



HS = 1,16 mm

**Ponto 9**



HS = 1,17 mm

**Ponto 10**



HS = 0,93 mm

**Ponto 11**



HS = 0,94 mm

**Ponto 12**



HS = 0,90 mm

**Ponto 13**



HS = 0,87 mm

**Ponto 14**



HS = 0,82 mm

**Ponto 15**



HS = 0,93 mm

**Ponto 16**



HS = 1,08 mm

**Ponto 17**



HS = 0,96 mm

**Ponto 18**



HS = 0,95 mm

**Ponto 19**



HS = 0,93 mm

**Ponto 20**



HS = 0,83 mm

Fonte: Elaborado pela autora.

**APÊNDICE B – IMAGENS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE**

## Drenômetro



Fonte: Elaborado pela autora.